

ENGINEER



international scientific journal

SPECIAL ISSUE

E-ISSN

3030-3893

ISSN

3060-5172



SLIB.UZ
Scientific Library of Uzbekistan



A bridge between science and innovation



**TOSHKENT DAVLAT
TRANSPORT UNIVERSITETI**

Tashkent state
transport university



ENGINEER

A bridge between science and innovation

E-ISSN: 3030-3893

ISSN: 3060-5172

SPECIAL ISSUE

16-iyun, 2025



engineer.tstu.uz

**“QURILISHDA YASHIL IQTISODIYOT, SUV VA ATROF-MUHITNI ASRASH
TENDENSIYALARI, EKOLOGIK MUAMMOLAR VA INNOVATSION
YECHIMLAR” MAVZUSIDAGI RESPUBLIKA MIQYOSIDAGI
ILMIY-AMALIY KONFERENSIYA
TASHKILIY QO‘MITASI**

1. Abdurahmonov O.K. – O‘zbekiston Respublikasi Prezidenti Administratsiyasi ijtimoiy rivojlantirish departament rahbari, Toshkent davlat transport universiteti rektori
2. Gulamov A.A – Toshkent davlat transport universiteti prorektori
3. Shaumarov S.S – Toshkent davlat transport universiteti prorektori
4. Suvonqulov A.X. – O‘zsuvta’minoti AJ raisi
5. Xamzayev A.X. – O‘zbekiston ekologik partiyasi raisi
6. Maksumov N.E. – O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi huzuridagi Qurilish va uy-joy kommunal xo‘jaligi sohasida nazorat qilish inspeksiyasi boshlig‘i o‘rinbosari
7. Baratov D.X. – Toshkent davlat transport universiteti prorektori
8. Turayev B. X – Toshkent davlat transport universiteti prorektori
9. Norkulov S.T. – Toshkent davlat transport universiteti prorektori
10. Adilxodjayev A.E. – Universitetdagi istiqbolli va strategik vazifalarni amalga oshirish masalalari bo‘yicha rektor maslahatchisi
11. Negmatov S.S. – “Fan va taraqqiyot” DUK ilmiy rahbari, O‘zbekiston Respublikasi Fanlar Akademiyasi Akademigi
12. Abed N.S. – “Fan va taraqqiyot” DUK raisi
13. Merganov A.M – Ilmiy tadqiqotlar, innovatsiyalar va ilmiy-pedagogik kadrlar tayyorlash bo‘limi boshlig‘i
14. Ibadullayev A. – Muhandislik kommunikatsiyalari va tizimlari kafedrasini professori
15. Rizayev A. N. – Muhandislik kommunikatsiyalari va tizimlari kafedrasini professori
16. Xalilova R.X. – Muhandislik kommunikatsiyalari va tizimlari kafedrasini professori
17. Babayev A.R. – “Qurilish muhandisligi” fakulteti dekani
18. Boboxodjayev R.X – Tahririy nashriyot va poligrafiya bo‘limi boshlig‘i
19. Talipov M.M – Ilmiy nashrlar bilan ishlash bo‘limi boshlig‘i
20. Maxamadjonova Sh.I. - Matbuot xizmati kontent-menedjeri
21. Umarov U.V. – Muhandislik kommunikatsiyalari va tizimlari kafedrasini mudiri
22. Eshmamatova D.B. – Oliy matematika kafedrasini mudiri
23. Muxammadiyev N.R. – Bino va sanoat inshootlari qurilishi kafedrasini mudiri
24. Tursunov N.Q. – Materialshunoslik va mashinasozlik kafedrasini mudiri
25. Shermuxammedov U.Z. – Ko‘priklar va tonnellar kafedrasini mudiri
26. Lesov Q.S. – Temir yo‘l muhandisligi kafedrasini mudiri
27. Pirnazarov G‘.F. – Amaliy mexanika kafedrasini mudiri
28. Teshabayeva E.U. – Tabiiy fanlar kafedrasini professori
29. Chorshanbiyev Umar Ravshan o‘g‘li – Muhandislik kommunikatsiyalari va tizimlari kafedrasini dotsent v.b.
30. Obidjonov Axror Jo‘raboy o‘g‘li – Muhandislik kommunikatsiyalari va tizimlari kafedrasini assistenti



I-SHO'BA: SUV TA'MINOTI VA EKOLOGIK MUAMMOLAR, SUVNI TOZALASH VA SAQLASH TIZIMLARINI YARATISHNING INNOVATSION YECHIMLARI

Study of siltation intensity of water reservoir

D. Allayorova¹, M. Ikramova¹

¹Scientific Research Institute of Irrigation and Water Problems, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: Reservoirs play an important role in providing water for agriculture and generating energy. After the reservoirs are filled, morphometric changes occur in the reservoir area during operation. As the reservoir fills, the flow rate decreases, resulting in accumulation of suspended sediments and bottom sediments in the stream. Large sediments are concentrated in the upper part, while fine sediments are distributed in the middle and lower parts as the flow velocity decreases, and the size of the mud fractions gradually decreases towards the dam. The article analyses the dynamics of turbidity during the operation of the reservoir using the example of the TMGU O'zan reservoir. The volume of turbidity in 1981-2001 was approximately 1145 million tons, and by 2021 it reached 1744 million tons. Considering the average density of the settling turbidity, today 790 million m³ of the volume is filled with turbidity, which means that 35% of the volume of the O'zan reservoir is filled with turbidity.

Keywords: reservoir, O'zan reservoir, efficiency, sediment, operational regime, useful volume

1. Introduction

One of the main ways to regulate river flow in the world is to build reservoirs and large water intake structures. Reservoirs are used worldwide to provide reliable water supply, hydroelectric power, and flood control services [1]. China, the USA, Canada, Germany, Australia and other developed countries pay special attention in this regard (Fig.1).



Fig. 1. Top 10 countries studying reservoir problems

Scientists are looking for ways to increase the service life of reservoirs, prevent a decrease in their capacity, reduce water losses, and constantly monitor changes in reservoirs due to hydrodynamic processes. Currently, the economic sectors of the Republic of Uzbekistan use an average of 50-55 km³ of water per year, of which 20-22 km³ are under the control of 55 large and several small reservoirs [2]. Reservoirs play an important role in providing water for agriculture and energy in our republic [3], [4]. After the reservoirs are filled, morphometric changes occur in the reservoir bed during operation. As a result of siltation of the upper part of reservoirs, its useful volume decreases and affects economic efficiency [5], [6], [7]. Such phenomena are mainly observed in the upper reaches of reservoirs, in water accumulation areas and in flooded river beds, and especially in the area of hydroelectric power plant pipelines, canal intakes and downstream water discharge facilities [8], [9]. Despite the development of the theory of flow formation, there are still many unresolved problems in the mechanisms of occurrence of many phenomena and the laws of flow distribution. Scientists are constantly conducting research to

find solutions to these problems. Scientists such as I.I. Levi, S.T. Altunin, G.I. Shamov, M.A. Velikanov, A.V. Karashev, A.N. Gostunsky, K.I. Rossinsky, I.A. Kuzmin, M.A. Mostkov, I.A. Moldovanov, I.A. Shneer, V.G. Sanoyan, V.S. Lapshenkov worked on the study of the process of silt deposition in the upper reaches, on the calculation of the silt volume using methods based on the data of field research, on the determination of the silt volume based on the movement of the flow between the weirs and on improving the balance method [10].

As a result of blocking the river flow with the help of a dam and the creation of a reservoir, the flow rate decreases, so suspended sediments and bottom sediments in the stream accumulate in the reservoir [11]. Large sediments are concentrated in the upper part, and fine sediments are distributed in the middle and lower parts with a decrease in flow velocity, and the size of the silt fractions gradually decreases towards the dam. As a result, continuous turbidity of the reservoir occurs. This leads to a decrease in the reservoir capacity and flow control potential, and, as a result, to a decrease in the ability to provide consumers with water in a timely manner and in the required amount.

The lifespan of a reservoir can be calculated in years, decades, and hundreds of years, depending on the reservoir volumes and the annual turbidity rate. When calculating the turbidity of reservoirs, data on the turbidity of the stream, mechanical composition, water flow, reservoir parameters, and sediment mass density are used. There are two cases when calculating the turbidity of a reservoir: 1) data are obtained from the results of discharge and sediment monitoring; 2) the case when no observations have been made and the results are not available (in this case, the main data on the turbidity of the stream are hydrological records) [2], [11], [12].

2. Materials and methods

The Tuyamuyun Reservoir is a large hydraulic structure located in the Khazorasp district of the Khorezm region of



the Republic of Uzbekistan, built in the Tuyamuyun Gorge, downstream of the Amu Darya River, and serves to seasonally adjust the water of the Amu Darya River for irrigation and energy purposes (Figure 2).

The reservoir belongs to the 1st class of hydraulic structures, with a total volume of 7.800 billion m³. The Tuyamuyun hydro-electric complex includes 4 reservoirs, in particular, the O'zan (channel) (2340 million m³), Kaparas (960 million m³), Sultansanjar (2690 million m³) and Kushbulak (1810 million m³) reservoirs.

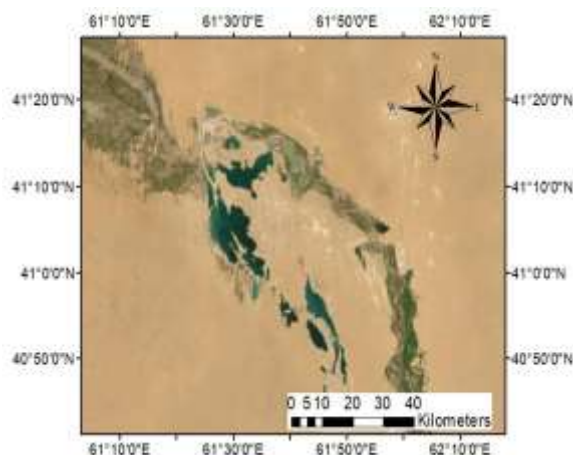


Fig. 2. Space image of Tuyamuyun hydrocomplex

The reservoirs are interconnected, and the O'zan reservoir performs the main control function, i.e., the function of collecting the water, raising its level, and directing the flow to other reservoirs. The maximum difference in the upper and lower reaches reaches 18-24 m. The full characteristics of the O'zan reservoir are given in Table 1.

Table 1

Full characteristics of the O'zan reservoir

Parameters		O'zan Reservoir
Total volume, mln. m ³		2340
Useful volume, mln. m ³		2070
Water surface area at NPWL, km ²		303
NPWL, m		130
DL, m		120
Length, km		102
Width, km	maximum	11
	average	4
Depth at NPWL, m	maximum	20
	average	7,7
Depth at DL, m	maximum	10
	average	2,8

The studies on the speed of silting and effective working mode of the Tuyamuyun Hydroponic O'zan Reservoir used generally accepted methods in hydraulics and hydrology, and mathematical statistical methods were used to process the data of the monitoring results on flow and sediments.

The watery part of the reservoir was measured using an acoustic doppler profile SonTek S5 and HD-MAX echo sounder, and the non-water area was measured using a LEICA 250M digital leveling device. All measurement data is stored in a database.

3. Results and discussion

Field measurements of siltation of the O'zan reservoir were carried out annually by the Tashkent Central Asian Research Institute of Irrigation (CARII) expedition until 2002, and in recent years, measurements of the reservoir capacity have been carried out by the Bathymetric Center (in 2008) and Scientific-Research Institute of Irrigation and Water Problems (SRIIWP) (in 2021). The siltation volume in 1981-2001 was approximately 950-1000 million m³ (Fig. 3).

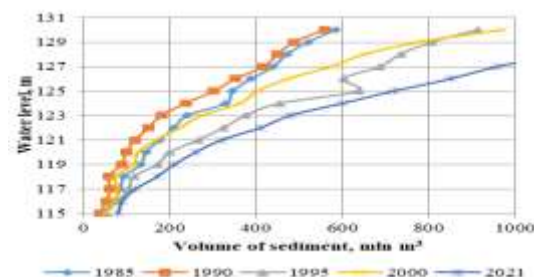


Fig. 3. Dynamics of reservoir silting

According to the collected research materials, the intensity of silting of the O'zan reservoir is observed in July-August, when the water level is above 125 m. The lowest process is observed in February-March [1].

After the Tuyamuyun hydrocomplex was put into operation, monitoring of the siltation process of the reservoir was organized. In this regard, 36 measuring stations were established in the reservoir basin 73.5 km long from the dam and systematic measurements were carried out. In the first years of operation, the flow turbidity at the outlet of the reservoir was very high (> 95%) and the volume density of sediments was approximately 1.12 tons/m³. By 1996, the dead volume of the reservoir was completely covered with silt. Part of the effluent and sediments began to flow downstream, that is, the second period of silting of the reservoir began.

Only after this period did the effects of sediment transport and the washing of previously deposited silt downstream in the reservoir begin to be felt (Fig. 4). Over the past 2-3 years, erosion processes in the basin have accelerated, which has a significant positive effect on the useful volume of the reservoir.

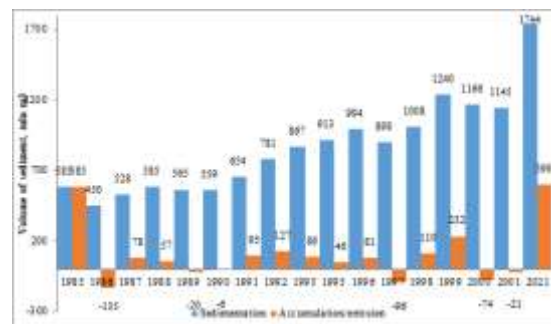


Fig. 4. Dynamics of siltation of the O'zan reservoir

The average long-term discharge of the Amu Darya at the entrance to the O'zan reservoir was 61.8 million m³ in 1982-91. According to the 1987 report, the total volume of turbidity in the reservoir was 528 million m³, and by 1988 it was 608 million m³, of which 117 million m³ was dead volume. As a result of compaction of sediments accumulated

in the low-water years of 2000 and 2001, as well as very low water levels, sediment washing and a decrease in the volume of turbidity by 51 million m³ occurred (Fig. 4).

The efficiency of the reservoir regime of the Tuyamuyun hydrocomplex depends on the operating regime of the O'zan reservoir. The main task of the reservoir operational regime in years of low water is to collect the required volume of water, maximize the use of available capacity, and rationally distribute water resources for irrigation purposes in conditions of water deficit.

The main reservoirs in the region were built and commissioned in 1956-80. However, regular monitoring of the turbidity of these reservoirs is not carried out, since measuring the capacity of reservoirs is a complex process and requires a lot of money. In the O'zan reservoir of the Tuyamuyun hydrocomplex, sedimentation of silt in the river flow, as well as other solid particles settling to the bottom of the basin (sand brought by the wind from the coastal zone, coastal erosion, etc.) leads to a steady decrease in the reservoir's ability to control the flow. Among the rivers of Central Asia, the Amu Darya River ranks fifth in terms of turbidity, and as it approaches Tuyamuyun, the characteristics of turbid sediments change: in years of low water, 30...40 million tons, in years of average water, 70...90 million tons, and in years of high water, up to 150...170 million tons. In years of average water, the total volume of suspended sediments in the Darganata River basin is 81.5 million tons, in years of high water, the turbid sediment flow is 129.7 million tons, and during the flood period - 122 million tons).

4. Conclusion

The decrease in the water capacity of the O'zan reservoir as a result of siltation of the useful volume has led to a deterioration in the water supply for Uzbekistan and Turkmenistan. It can be seen from the above data that, if the filling of the reservoir with water began in 1981, then the process of siltation and a decrease in the accumulation capacity also began. As a result of more than 40 years of operation of the reservoir, its project characteristics have undergone significant changes. The volume of siltation in 1981-2001 was approximately 1145 million tons. The sediment entering the O'zan reservoir reached its highest level in 1999 (232 million tons), while in the following two years, as a result of the flushing process, 95 million tons of siltation fell into the lower reaches. Over the past 20 years, the amount of siltation accumulating in the O'zan reservoir has continued to increase, and by 2021 this figure reached 1744 million tons. If the average density of the settling turbidity is considered to be 2.2 t/m³, then today 790 million m³ of the volume is filled with turbidity, which means that 35% of the volume of the O'zan reservoir is filled with turbidity. As a result, the efficiency of the dam has decreased, the supply of water to the irrigation canals, as well as to the three reservoirs located downstream, is insufficient, and the hydroelectric power station in the complex has partially failed.

References

- [1] Greg S. Adsorption, specific surface area, porosity (M. Ikramova, A. Khodjiev, I. Akhmedkhodjaeva, and D. Allayorova, "The Tuyamuyun Hydro Complex O'zan

Reservoir Siltation Dynamics," Int. J. Adv. Res. Sci. Eng. Technol., vol. 11, no. 3, pp. 21572–21577, Mar. 2024.

- [2] M. Ikramova, Hydrology of reservoirs 2019.

- [3] Decree of the President of the Republic of Uzbekistan No. UF-6079 "On approval of the "Digital Uzbekistan - 2030" strategy and measures for its effective implementation."

- [4] Decree of the President of the Republic of Uzbekistan No. PF-6024 dated July 10, 2020, "On approval of the Concept of the Development of Water Management in the Republic of Uzbekistan for 2020-2030."

- [5] M. Ikramova, "Estimation of sediment loads: the Tuyamuyun reservoir on Amudarya River," Eur. Sci. Rev., pp. 199–202, 2016.

- [6] E. Oladipo, "Managing the Flow of Water from Reservoirs," GRIN Verl., p. 14, 2016.

- [7] R. Hotchkiss and X. Huang, "Hydrosuction Sediment-Removal Systems (HSRS): Principles and Field Test," J. Hydraul. Eng., vol. 121, no. 6, pp. 479–89, 1995.

- [8] O. Olsson, M. Ikramova, and A. Sorokin, "Modeling scenarios to identify a combined sediment-water management strategy for the large reservoirs of the Tuyamuyun hydro-complex," Irrig. Drain. Syst., vol. 5, no. 1, 2011.

- [9] T. Sumi, and K. Sameh Ahmed, "Integrated Management of Reservoir Sediment Routing by Flushing, Replenishing, and Bypassing Sediments in Japanese River Basins," Int. Symp. Ecohydrol. Kyoto, pp. 831–38., 2010.

- [10] M. Ikramova, "Regulirovanie stoka reki Amudarya kompleksom vodokhranilishch Tuyamuyunskogo hydronozla," in Warsaw: RS Global Sp. z O.O., 2021, p. 78.

- [11] C. T. Altunin, Vodozabornye uzly i vodokhranilishcha. Kolos, Moscow, 1964.

- [12] M. Ikramova, "The Amudarya flow management by the Tuyamuyun Hydro Complex," Wars. RS Glob. Spz, p. 78, 2021, doi: 10.31435/rsglobal/032.

Information about the author

Ikramova Malika Rakhimberdievna	Doctor of technical sciences, professor, Scientific Research Institute of Irrigation and Water Problems e-mail: allayorova.2701@gmail.com https://orcid.org/0000-0001-5360-8536
Allayorova Dilbar Sobidjon kizi	Tashkent State TranSMWrt University, PhD, Associate Professor e-mail: allayorova.2701@gmail.com https://orcid.org/0009-0002-4371-1403

Biological purification of drinking water using hydrobionts

Z.T. Yerkebaev¹, M.K. Aliev²

¹Samarkand State University of Architecture and Civil Engineering, Samarkand, Uzbekistan

²Navoi State Mining and Technological University, Navoi, Uzbekistan

Abstract:

This article presents an analysis of a series of experiments conducted to study the accumulation of chloroform by algae. The accumulation capacity of the natural biocenosis for retaining mineral, organic, and biological pollutants was examined. The first series of experiments was preliminary and did not yield clear results regarding the accumulation of chloroform by phytoplankton. The second series showed that the most intensive accumulation occurs during the initial hours of contact between chloroform and algae. In contrast, the third series demonstrated that no decrease in chloroform concentration was observed during the first hours, and accumulation occurred between the fourth and seventh days. The studies also revealed that the most active accumulation of chloroform happens during the initial hours of the first day. The higher the initial concentration of chloroform in water, the more intensively it is absorbed by algae. The results of these experiments suggest that the biouptake process can be recommended as an important stage in the preliminary purification of water and for practical application at drinking water treatment stations.

Keywords:

chloroform, biocenoses, algae, bioabsorption, drinking water treatment

Биологическая очистка питьевой воды гидробионтами

Еркебаев Ж.Т.¹, Алиев М.К.¹

¹Самаркандский государственный архитектурно-строительный университет, Узбекистан

²Навоийский государственный горно-технологический университет, Навои, Узбекистан

Аннотация:

В статье представлен анализ экспериментов по сбору хлороформа с помощью водорослей. Изучена накопительная способность природного биоценоза по улавливанию минеральных, органических и биологических загрязнителей. Первый эксперимент был проведен в тестовом режиме и не дал точных результатов по накоплению хлороформа фитопланктоном. Вторая серия экспериментов показала, что в первые часы контакта хлороформа с водорослями процесс накопления протекает наиболее активно. Третий эксперимент, напротив, показал, что в первые часы снижения содержания хлороформа не наблюдалось, и процесс накопления происходит в период с четвертого по седьмой день. Исследования по накоплению хлороформа также показали, что наиболее активный процесс накопления происходит в первые часы первого дня. Чем выше концентрация исходного хлороформа в воде, тем интенсивнее он поглощается водорослями. Результаты вышеуказанных экспериментов показывают возможность рекомендации процесса биопоглощения как важного этапа на этапе предварительной очистки воды и практического применения на станциях питьевой воды.

Ключевые слова:

хлороформ, биоценозы, водоросли, биоформация, приготовление питьевой воды

1. Введение

В последние годы нашим правительством был принят ряд резолюций, направленных, прежде всего, на улучшение санитарных условий водоемов. Эти решения предназначены для производства и реализации ряда мероприятий. Очень большие требования предъявляются к степени подготовки питьевой воды и очистки сточной воды, которая выбрасывается в водоемы. В современном обществе человека окружает большое количество благ, созданных для улучшения повседневной жизни. Их основой послужили достижения успехов в области очистки питьевой воды с помощью гидробионтов. Аккумуляция хлороформа с помощью гидробионтов изучена в многих литературах, /1-4/. По аккумуляции хлороформа было проведено пять серий опытов. Первая серия длилась трое суток, отбор проб на анализ вели через три часа, первые сутки и через трое суток. Пробы готовились следующим образом. В природную воду добавляли чистую культуру водоросли

p. Scenedesmus, тщательно перемешивали и разливали в 4 колбы. Первая колба служила контролем, а во вторую, третью и четвертую добавляли хлороформ в концентрациях соответственно: ПДК/5=0,02 мг/л; ПДК=0,1 мг/л; 5ПДК=0,5 мг/л. Содержание колб тщательно перемешивали и ставили в освещенное место. Отбор проб вели через 3 часа, 1 сутки и через трое суток. В начале и в конце серии в пробах проверяли pH среды.

На рис.1 представлены осредненные значения по пять серий опытов. Первая серия была пробная, она не дала ясных результатов по аккумуляции хлороформа фитопланктоном.

Т.к. хлороформ летуч, необходимо было исследования проводить в условиях исключающих его потери. Необходимо также было учесть самопроизвольный распад хлороформа. Учитывая все это, в дальнейшем исследования по аккумуляции хлороформа фитопланктоном проводились в колбах с притертыми пробками, дополнительно были введены

контрольные колбы с хлороформом без добавления водорослей.

Вторая серия велась в течение 7 суток. Опыты второй серии вели в 5 колбах. В три колбы с водорослями добавляли хлороформ в концентрациях соответственно в 1-ю, 2-ю и 3-ю колбы: $C_1 = \text{ПДК} = 0,1$ мг/л, $C_2 = 5\text{ПДК} = 0,5$ мг/л, $C_3 = 25\text{ПДК} = 2,5$ мг/л. 2 колбы были контрольными: одна – с водорослями без хлороформа, другая – с хлороформом без водорослей. Отбор проб на анализ хлороформа проводили через 3 часа, 1 сут., 3 сут., и 7 суток. pH замерялось во всех пробах, за исключением контрольной пробы с хлороформом, в начале серии, на третий и седьмые сутки. В контрольной пробе с водорослями хлороформ не проверялся, так же на протяжении всей 1-й серии не был обнаружен. Здесь проверялось только pH.

Опыты второй серии показали, что аккумуляция хлороформа фитопланктоном энергичнее всего идет в первые часы, так через три часа после начала второй серии во второй колбе концентрация хлороформа снизилась с 0,1 до 0,053 мг/л; в третьей колбе – с 0,5 до 0,324 мг/л и больше всего снижение хлороформа произошло в четвертой колбе с 2,5 мг/л до 0,175 мг/л (на 93%). Затем концентрация хлороформа растет во всех трех колбах, а после первых суток снова наблюдается постепенное снижение хлороформа. В конце опыта – через семь суток во второй колбе с концентрацией хлороформа 0,5 мг/л снижение последнего произошло на 40 %, а в третьей колбе – с концентрацией 2,5 мг/л содержание хлороформа уменьшилось на 38,4 %.

В контрольной колбе с хлороформом после первых суток наблюдалось постепенное снижение хлороформа, в конце опыта концентрация его снизилась с 2,5 мг/л до 2,06 мг/л. pH во всех исследуемых пробах повышалась.

Вторая серия опытов показала, что наиболее интенсивно аккумуляция происходит в первые часы контакта хлороформа с водорослями.

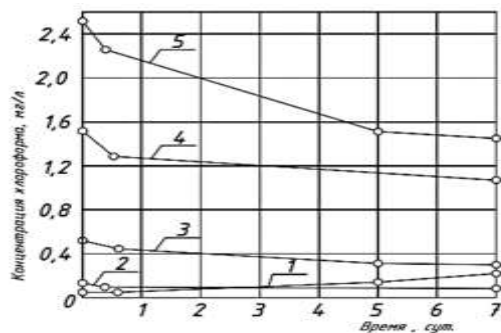


Рис. 1. Изменение концентрации хлороформа в процессе аккумуляции водорослями

Третья серия опытов длилась также 7 суток. Опыты вели в шести колбах. В трех колбах была природная вода с водорослями р. Scenedesmus и хлороформом в тех же концентрациях, что и предыдущей серии. Три колбы были контрольными без водорослей: первая контрольная колба с концентрацией хлороформа $C_1 = 0,1$ мг/л, вторая – с концентрацией хлороформа $C_2 = 0,5$ мг/л, третья – с концентрацией хлороформа $C_3 = 2,5$ мг/л. Отбор проб проводили через три часа, четыре суток и семь суток.

1-контрольные водоросли; 2-начальная концентрация хлороформа $C_1 = 0,1$ мг/л; 3- $C_2 = 0,5$ мг/л, 4- $C_3 = 1,5$ мг/л, 5- $C_4 = 2,5$ мг/л.

Из рис.1 видно, что аккумуляция хлороформа водорослями в 1-й колбе с начальной концентрацией 0,1 мг/л равнялась 25%; во второй колбе с начальной концентрацией 0,5 мг/л равнялась 48%, в третьей колбе с начальной концентрацией 2,5 мг/л равнялась 47,2%. Через 7 суток в третьей колбе водоросли аккумулировали 50,8% хлороформа. В контрольных колбах с хлороформом, где не было водорослей с четвертых по седьмые сутки тоже наблюдалось уменьшение концентрация хлороформа: в первой контрольной колбе с концентрацией 0,1 мг/л на 15%; во второй контрольной колбе с концентрацией 0,5 мг/л на 44%; в третьей колбе с концентрацией 2,5 мг/л на 43,27%.

2. Выводы

По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

- третья серия в противоположность второй, показало, что в первые часы не наблюдается снижение хлороформа и аккумуляция идет с четвертых на седьмые сутки.

- в контрольных колбах происходит самораспад хлороформа, возрастающий с увеличением исходной концентрации.

В четвертой серии опыты проводили в четырех колбах. Во второй колбы с водорослями и природной водой хлороформ добавлялся в концентрациях 0,5 мг/л и 2,5 мг/л и 2 колбы были контрольными. Одна контрольная колба с концентрацией хлороформа 0,5 мг/л, другая – с концентрацией хлороформа 2,5 мг/л. Отбор проб вели через 3 часа, 1 сутки, 6 суток и причем пробы с водорослями не фильтровались.

В первой колбе с водорослями, с начальной концентрации хлороформа 0,5 мг/л наблюдается динамика снижения хлороформа: через три часа водоросли аккумулировали 16%, через сутки 26%, а через 6 суток – 50% хлороформа. Во второй колбе с водорослями, куда было внесено 2,5 мг/л хлороформа, через три часа аккумуляция не наблюдалась, через сутки водоросли начали поглощать хлороформ и концентрация его снизилась на 20%, а через 6 суток – на 49,2%.

В контрольных колбах распад хлороформа начался после первых суток: в контрольной колбе с концентрацией 0,5 мг/л на 26%; с концентрацией 2,5 мг/л на 3,6%.

Через 6 суток в контрольной колбе с концентрацией 0,5 мг/л содержание хлороформа осталось на том же уровне, что и после первых суток, другой же контрольной колбе концентрация хлороформа снизилась на 20%.

В пятой серии опыты проводили в трех колбах. В две колбы с водорослями добавляли хлороформ в концентрациях 0,1 мг/л и 0,5 мг/л и одна колба была контрольная с хлороформом с концентрацией 0,5 мг/л. пробы с водорослями не фильтровались.

Исследования пятой серии показали, что водоросли

не аккумулируют хлороформ из воды, где концентрация его 0,1 мг/л ни через 3 часа, ни спустя 4 суток. Через 11 суток концентрация хлороформа в этой же колбе снижается на 70%. Наоборот, во второй колбе с водорослями, с концентрацией хлороформа 0,5 мг/л, наблюдается его аккумуляция: через 3 часа – на 28%, через 4 суток – на 50%, а через 11 суток – на 72%.

Исследования по аккумуляции хлороформа также показали, что наиболее энергичная аккумуляция наблюдается в первые часы первых суток. Чем больше исходная концентрация его в воде, тем интенсивнее он поглощается водорослями.

Результаты проведенных выше опытов показывают рекомендовать процесс биопоглощения как важный этап предварительной очистки воды и для практического применения на станциях подготовки питьевой воды.

Использованная литература / References

[1] Житенёв Б.Н., Гуринович А.Д. Очистка воды от стойких органических примесей окислительными технологиями. Брест: Издательство БрГТУ, 2019 г 180 стр.

[2] Вайссер Т. Биологические очистные сооружения. Немецкое качество, реализованное в России / Т. Вайссер, М. Чеботаева // Экология и охрана труда. — 2012. — № 7/8. — С. 35-37.

[3] Кузнецов А.Е. Прикладная экобиотехнология. В 2-х т. / А.Е. Кузнецов, Я.Б. Градова, С.В. Лушников и др. - М.: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2010. - Т. 1. - 629 с.

[4] Влияние точки ввода хлора на хлорпоглощаемость воды и образования хлороформа Текст. / В.В.Гончарук, В.Ф.Вакуленко, Г.А.Захалыко // Химия и технология воды. - 1998. - Т. 20. - № 4. - 121 - 124.

Информация об авторах

**Еркебаев
Жанибек
Турабекович**

Самаркандский
государственный
архитектурно-строительный
университет г. Самарканд

**Алиев Махмуд
Куватович**

Навоийский государственный
горно-технологический
университет г.Навои, доцент,
к.т.н.

Adsorption of benzene vapors in oil waste-based adsorbents

N.T. Khudaiberganova¹, A.N. Rizaev¹, G.R. Rikhsikhodzhaeva¹

¹Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: The article studies the optimal conditions for obtaining effective adsorbents based on coke, adsorption of benzene vapors on activated adsorbents. It was found that benzene vapors in the resulting adsorbents are tightly bound by the formation of ~ 10% adsorbate π -complex in KA (coke-asphalt) during adsorption-desorption. Adsorption of benzene in KA is characterized by its excess compared to other adsorbents, the presence of cracks in different layers of the adsorbent and high porosity compared to other adsorbents. According to the results of adsorption of benzene vapors in adsorbents, these adsorbents can be used in various fields, which makes it possible to some extent to satisfy the need of our Republic for adsorbents.

Keywords: coke, benzene, adsorbent, adsorbate, adsorption, desorption, isotherm, monolayer capacity, specific surface area

Адсорбция паров бензола в адсорбентах на основе нефтяных отходов

Худайберганова Н.Т.¹, Ризаев А.Н.¹, Рихсикходжаева Г.Р.¹

¹ Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация: В статье изучены оптимальные условия получения эффективных адсорбентов на основе кокса, адсорбция паров бензола на активированных адсорбентах. Установлено, что пары бензола в полученных адсорбентах прочно связаны образованием ~ 10% адсорбатного π -комплекса в КА (кокс-асфальт) при адсорбции-десорбции. Адсорбция бензола в КА характеризуется его избытком по сравнению с другими адсорбентами, наличием трещин в различных слоях адсорбента и высокой пористостью по сравнению с другими адсорбентами. Согласно результатам адсорбции паров бензола в адсорбентах, эти адсорбенты можно использовать в различных областях, что дает возможность в некоторой степени удовлетворить потребность нашей Республики в адсорбентах.

Ключевые слова: кокс, бензол, адсорбент, адсорбат, адсорбция, десорбция, изотерма, ёмкость монослоя, удельная поверхность

1. Введение

В настоящее время, в связи с бурным развитием промышленных отраслей в мире и расширением областей применения адсорбционных процессов, получение дешевых адсорбентов, полученных на основе местного сырья и промышленных отходов, является одной из актуальных проблем [1]. Известно, что активированные угольные адсорбенты получают из различного углеродсодержащего сырья: бурого и каменного угля [2], древесины и целлюлозы [3.], торфа [4], жидких и газообразных углеводородов [5], синтетических полимеров [6], растительных отходов [7] и других видов сырья (сухого, битумного, автомобильных шин, поливинилхлорида и других синтетических полимеров).

Также подробно изучены пиролиз древесных отходов в бескислородной среде с получением активированного угля и активация с использованием водяного пара [8], ортофосфорной кислоты [9]. В настоящее время технология получения углеродных адсорбентов из природного или синтетического сырья активированные паро-газовым методом включает в себя два вида процесса: карбонизация (пиролиз) сырья и высокотемпературная активация окислительно-восстановительным веществом, чаще используется водяной пар [10]. В качестве окислительных материалов

так же использоваться карбонат ангидрид, кислород и инертный газ.

В нефтеперерабатывающем заводе при крекинге образовывается в большом количестве кокс, гудрон и асфальт. На основе кокса, гудрона и асфальта можно получить эффективные активированные адсорбенты и полученные адсорбенты, также можно использовать для очистки промышленных сточных вод.

2. Методика исследования

Кокс, измельченный до размера 10 нм, подвергли карбонизации без доступа воздуха при температуре 800°C в течение 4 часов получен образец К-1, образец К-1 активирован водяным паром без доступа воздуха при температуре 800°C получен образец К-2, к измельченному коксу в массовом соотношении 1:1 добавлен гудрон и асфальт (кокс-гудрон (КГ), кокс-асфальт (КА)), в течение 6 часов композиция отстаивалась, затем образцы подверглись сушке при температуре 400°C в течение 2 часов и активации водяным паром без доступа воздуха при температуре 800°C в течение 4 часов. Изучены адсорбционные свойства полученных образцов по адсорбции паров бензола.

Бензол, выбранный в качестве адсорбата, очищали в вакууме, до установления давления насыщенного пара



над замороженным образцом бензола, соответствующего таковым табличным значениям.

Изотермы адсорбции паров бензола активированными угольными адсорбентами были изучены на приборе МАК-BEN-BAKRA с использованием чувствительного кварцевого спирального устройства Макбена [12]. Перед измерением адсорбции паров бензола в адсорбентах каждую адсорбцию вакуумировали до остаточного давления $1,33 \times 10^{-3}$ Па и нагревали при 473 К в течение 8 часов, после чего получили изотермы адсорбции.

3. Результаты исследования

Изотермы адсорбции в изученных системах показали, что образец К-1 по отношению к К-2 в 2,5, к КГ в 3,3, к КА в 4,2 раза увеличивается. Так же изотермы адсорбции в изученных системах показали, что образец КА характеризует наибольшее поглощение паров бензола. В адсорбентах наблюдалось, что величина адсорбции резко возрастает от нулевого значения относительного давления до $P/P_s \approx 0,2$ и приближается к состоянию насыщения в диапазоне $P/P_s \approx 0,8-1$. Гистерезис в изотермах в сочетании с линиями десорбции и адсорбции образует адсорбционные кольца в диапазоне удельного относительного давления ($P/P_s \approx 0,1-0,2$). Исходя из этого, можно сделать вывод, что при более высоких удельных давлениях адсорбция сопровождается капиллярной конденсацией (рис. 1).

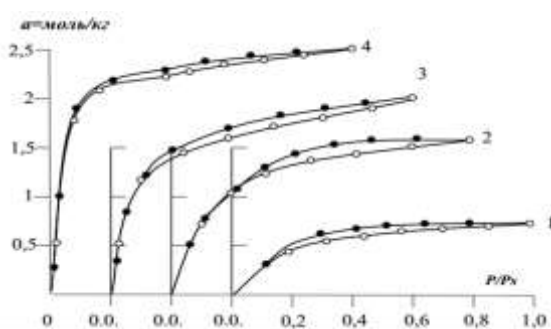


Рис. 1. Изотермы адсорбции паров бензола на образцах К-1 (1), К-2 (2), КГ (3), КА (4)

Уравнение изотермы адсорбции БЭТ широко используется для определения величины ёмкости монослоя (α_m), удельной поверхности (S) и адсорбции насыщения (α_s). Образец КА показал наилучший результат по удельной поверхности и объёму насыщения в отличие от других образцов. Основная часть молекул бензола в адсорбентах находится в монослое и составляет: в К-1 - 55%, в К-2 - 51%, в КГ - 50%, в КА - 57%, а также удельная поверхность (S) в КА по сравнению с К-1 самая высокая, т.е. в 4,3 раза больше (Таблица 1).

Таблица 1
Структурно-сорбционные показатели по адсорбции паров бензола на адсорбентах, активированных в различных условиях на основе кокса

№	Адсорбенты	Ёмкость монослоя α_m , моль/кг	Удельная поверхность, S м ² /г	Адсорбция насыщения, α_s , моль/кг
1	К-1	0.33	80	0.6
2	К-2	0.76	183	1.5
3	КГ	1.0	240.8	2
4	КА	1.43	344.1	2.5

Высокая адсорбционная способность образца КА объясняется тем, что при смешивании асфальта с коксом асфальт проникает в структуру кокса, при его нагревании образуются дополнительные поры, а при активации водяным паром аморфные атомы углерода в коксе выходят наружу. В то же время, в начальных случаях адсорбции на КА ее эффективность по сравнению с другими адсорбентами обусловлена количеством щелевых пор между слоями в результате изменений структуры адсорбента, а также электронной природой и взаимодействием молекул бензола.

Объемы адсорбции, определенные при различном относительном давлении (P/P_s) на основе изотерм адсорбции бензола в полученных адсорбентах, приведены в таблице ниже (таблица 2).

Таблица 2
Объемные показатели пористости в адсорбентах, активированных в различных условиях на основе кокса

№	Адсорбенты	Объём микропор $W_0 \cdot 10^3$, м ³ /кг	Объём мезопор $W_{me} \cdot 10^3$, м ³ /кг	Объём насыщения $V_s \cdot 10^3$, м ³ /кг
1	К-1	0.05	0.03	0.053
2	К-2	0.13	0.003	0.133
3	К-3	0.16	0.016	0.176
4	К-4	0.21	0.012	0.222

Используя уравнение теории насыщения микропор, было обнаружено, что объем микропор образца К-2 в 2,6 раза больше, чем К-1, в 3,2 раза в КГ и в 4,2 раза больше, чем в КА.

4. Заключение

Было обнаружено, что адсорбент КА, полученный на основе кокса и асфальта, обладает свойством устойчивого связывания благодаря тому, что в процессе адсорбции связывается ~10% π -комплексов молекул бензола. Адсорбция бензола в КА характеризуется его избытком по сравнению с другими адсорбентами, наличием трещин в различных слоях адсорбента и высокой пористостью по сравнению с другими адсорбентами. Согласно результатам адсорбции паров бензола в адсорбентах, эти адсорбенты можно использовать в различных областях, что дает возможность в некоторой степени удовлетворить потребность нашей Республики в адсорбентах.

Использованная литература / References

- [1] Govindaraj, A. and Rao, C.N.R., in Carbon Nanotech-nology, Liming Dai, Ed., Amsterdam: Elsevier, 2006, ch.
- [2] Viswanathan, B. Methods of activation and specific applications of carbon materials / B.Viswanathan, P.Indra Neel, T.K.Varadarajan // Indian Institute of Technology Madras. - 2009. - p. 160.
- [3] Саврасова Ю.А. Углеродные адсорбенты на основе лигноцеллюлозных материалов / Ю.А.Саврасова, Н.И.Богданович, Н.А.Макаревич, М.Г.Белецкая // Лесной журнал. - 2012. - №1. - с. 107-112.

[4] Masakatsu M. Rapid microwave pyrolysis of wood / M.Masakatsu, K.Harumi, T.Shikenobu, T.Kenji, A.Koji // J.Chem. Eng. Jap. – 2000. – vol. 33, iss. 2. – PP. 299-302.

[5] Uraki Y. Preparation of activated carbon from peat / Y.Uraki, Y.Tomai, M.Ogawa, S.Gaman, S.Tokura // BioResources. – 2009. - №4 (1) – PP. 205-213.

[6] Mingbo Wu. Preparation of porous carbons from petroleum coke by different activation methods / Wu Mingbo, Qingfang Zha, Jieshan Qiu, Xia Han, Yansheng Guo, Zhaofeng Li, Aijun Yuan, Xin Sun // Fuel. – 2005. – 84, 14-15. – p. 1992 – 1997.

[7] Juma M. Pyrolysis and combustion of scrap tire / M.Juma, Z.Koreňová, J.Markoš, J.Annus, L.Jelemenský // Petroleum & Coal. – 2006. - 48(1). – p. 15-26.

[8] Чесноков Н.В. Углеродные адсорбенты из гидролизного лигнина для очистки сточных вод от органических примесей / А.О.Еремина, В.В.Головина, Н.В.Чесноков, Б.Н.Кузнецов // Journal of Siberian Federal University; Chemistry. – 2011.– №1 (4) с. 100-107.

[9] Покровская Е.Н., Никифорова Т.П., Маковский Ю.А. // 1-я Всерос. конф. по полимерным материалам пониженной горючести: Тез. докл. Волгоград. 1995. С. 105- 107.

[10] Богданович Н.И. Синтез углеродных адсорбентов из лигноцеллюлозных материалов термохимической активации с NaOH / Н.И.Богданович, Г.В.Добеле, Ю.А.Саврасова // Акт. проблемы теории адс-ции, пор-ти и адс. селек-ти: материалы XIV Всерос. симпозиума с участием иностранных ученых. 26 – 30 апреля 2010 г. – Москва – Клязьма. - 2010. - С. 68.

[11] Кельцев Н.В. Основы адсорбционной техники. - М.: Химия, 1996. – 592 с.

[12] Rakov, E.G., Usp. Khim., 2000, vol. 69, no. 1, p. 4

Информация об авторах

Худайберганава Н.Т	Ташкентский государственный транспортный университет PhD, доцент и.о., e-mail: khmt90@mail.ru ORCID: 0009-0009-3365-5146
Ризаев А.Н	Ташкентский государственный транспортный университет, д.т.н., профессор e-mail: mr.rizaev.58@mail.ru ORCID: 0000-0002-9125-3788
Рихсходжаева Г.Р	Ташкентский государственный транспортный университет, PhD, доцент e-mail: gulchexrarr@gmail.com ORCID: 0000-0003-2438-1939



Development of a quality management system for housing and communal services (HCS)

U. Bahramov¹, Sh. Esanmurodov¹, N. Khakimova¹

¹Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: The article examines the methods of quality management of housing and communal services, which is a set of measures, methods and means aimed at preserving and developing the housing stock, increasing the level of safe and comfortable living of the population in apartment buildings, and developing quality standards for the provision of housing and communal services to the population. Thus, the quality standards of housing and communal services should be characterized by the final parameters of the service. The "consumer" does not care how and as a result of what actions certain technical, economic and statistical indicators of the standard are achieved. At the same time, the "consumer" is interested in the sustainable and stable quality of services that are provided to him under the contract

Keywords: Housing and communal services, management systems, customer, efficiency monitoring, funds, consumer solvency, energy resources, tariffs, elevator, doors, management efficiency.

1. Introduction

Currently, the urgent task of all branches of government is to assist housing and communal services enterprises in creating a quality management system, the purpose of which is to improve the efficiency of enterprises in terms of the manageability of all processes in the production and provision of housing and communal services. In other words, the implementation of a quality management system for housing and communal services will increase the transparency of interaction between government levels, streamline the activities of the Municipal Customer, General Customer and executors of the municipal order for the provision of high-quality services to the population, and improve the efficiency of contractual relations in this area.

The quality management system for housing and communal services is a set of measures, methods and tools aimed at preserving and developing the housing stock, increasing the level of safe and comfortable living of the population in apartment buildings, and developing quality standards for the provision of housing and communal services to the population [1].

2. Materials and Methods

An effective quality system must meet the needs and expectations of the consumer and protect the interests of the service provider. Quality and consumer satisfaction are the most important criteria for the provision of housing and communal services in the context of economically determined tariff growth. Failure to achieve the goals in the area of housing and communal services quality entails adverse consequences for the consumer, the contractor and society as a whole [2].

In connection with the above, it can be concluded that it is relevant to develop a housing and communal services quality management system that provides for a set of indicators and evaluation criteria, on the basis of which it is possible to monitor the effectiveness of individual areas of reforming the industry.

The indicators of the quality of housing and communal services are assessed dynamically and allow us to draw a

conclusion about how the quality of the services provided is improving and costs are reducing for both the provider and the customer (for example, saving money, energy, etc.)

The organizational and economic indicators of the quality of housing and communal services include:

1) The level of satisfaction of residents with the quality and efficiency of housing and communal services (determined by the change in the number of complaints filed by the population, requests for troubleshooting, and appeals by residents to higher authorities over a certain period of time).

2) Change in the level of solvency of consumers of housing and communal services, characterized by the absence of debt for payment of services received (there is a connection with the level of satisfaction of residents with the quality of housing and communal services).

3) Change in the level of trust of citizens in management companies, which is reflected in the term of the concluded agreement for the management of an apartment building.

4) Changes in the accident rate, expressed in the number of accidents in an apartment building and adjacent utility networks over time (this indicator is especially indicative for checking the effectiveness of introducing innovations in the field of safety into the building management and maintenance process: vandal-proof coatings for elevators, doors, attic floors and access to utility rooms, shatterproof windows on stairwells, sensor lighting and video surveillance, etc.). The main financial and economic indicators of the quality of services for housing and communal services enterprises are such as "profitability" of production, "cost price" of products, the size of tariffs for housing and communal services, "profit" of a housing and communal services enterprise, the amount of tax deductions.

3. Results and Discussion

Technical and economic indicators of improving the quality of housing and communal services based on innovations are:

1) Change in the condition of the housing stock and adjacent utility networks, as well as the condition of the adjacent territory in dynamics (assessment of objects on a scale: new (from 1 to 3 years), relatively new (from 4 to 7 years), average depreciation (from 8 to 25 years), high depreciation (from 26 to 40 years), dilapidated (over 40

years) and emergency). Innovations will be highly effective, after the implementation of which, in relation to a specific house, its condition will be assessed as excellent at a greater age.

2) Change in the technical condition of equipment, utility networks and production capacities of the housing and communal services supplier in dynamics.

3) The level of uninterrupted service and compliance with standards of the services provided.

4) Change in the speed (time) and quality of application fulfillment after the implementation of the innovation.

The environmental indicators of the quality of housing and communal services include:

1) Dynamic changes in the quality (color, taste, chemical composition) of water supplied to homes.

2) Dynamics of the number and frequency of sick citizens - water consumers.

3) Dynamic changes in the level of pollution of the environment and nearby territories (emissions of harmful substances into the soil, atmosphere, discharge of toxic waste into water, etc.) (before and after the introduction of innovation).

The economic efficiency of quality management of housing and communal services can also be expressed by the following criteria:

- the ratio of the reduction in costs of housing and communal services enterprises from the introduction of innovations in the production process of housing and communal services (over a period of time) to the costs of their purchase;

- the dynamics of profits of housing and communal services enterprises from services provided, etc.

The social efficiency of quality management of housing and communal services consists in: increasing the level of solvency of the population (consumers of housing and communal services); increasing the level of comfort and quality of life of the population.

The proposed quality management system for housing and communal services is aimed at increasing the efficiency of using existing resources and opportunities, ensuring the real attractiveness of the industry for investors, creating conditions for sustainable functioning of the housing and communal services sector with mandatory improvement in the quality of provided housing and communal services, and clearly assigning functions and tasks between the participants that are necessary for their implementation.

The distinctive features of the quality management system for housing and communal services are:

- high quality and environmental safety of housing and communal services;
- consumer satisfaction with the quality of housing and communal services;
- promptness and accuracy of information exchange between government agencies, producers and consumers of services.

Within the framework of the developed system, it is possible to formulate specific tasks, the implementation of which ensures an improvement in the quality of housing and communal services: replacement of equipment at housing and communal services enterprises that has exhausted its resource with modern equipment; increasing thermal insulation of buildings and networks; reducing energy consumption of housing and communal services enterprises for their own needs; increasing the competitiveness of the services provided; improving the working conditions of employees of housing and communal services enterprises,

conducting additional training for personnel; reducing harmful emissions into the environment; widespread use of the system of accounting and quality control of raw materials and services provided; promoting energy-saving activities of energy consumers by housing and communal services producers.

The development and implementation of a quality management system consists of the following successive stages:

a) defining the needs and expectations of customers and other interested parties;

b) developing the organization's quality policy and objectives;

c) establishing processes and assigning responsibilities to those responsible for achieving quality objectives;

d) establishing and defining the necessary resources and providing them to achieve quality objectives;

e) developing methods and indicators for evaluating the results and effectiveness of each process;

e) practical application of these methods and indicators to determine the effectiveness and efficiency of each process;

h) developing and implementing a process for improving the effectiveness of the quality management system.

A housing and communal services organization implementing a quality management system for housing and communal services creates confidence in the capabilities of its processes and the quality of its services, and provides a basis for their continuous improvement. This can lead to increased satisfaction of customers and other interested parties and the success of housing and communal services organizations.

The proposed quality management system for housing and communal services can serve as a guide for housing and communal services organizations. It defines and specifies the desired results, and promotes the optimal use of resources. Achieving the goals in quality management of services will have a positive impact on the quality of the latter, the efficiency of work, financial indicators and, consequently, on the satisfaction and confidence of stakeholders.

To summarize the chapter, it should be noted that housing and communal services are the most important component of the life support system of the population. Achieving the appropriate quality of housing and communal services is the most important goal of the functioning of an organization that is part of the housing and communal services system. In turn, achieving the quality of housing and communal services should be combined with the optimization of costs for their provision, which is due to the monopoly position of organizations operating in the housing and communal services market.

Moreover, the quality of housing and communal services is the result of the interaction of government bodies, enterprises and organizations of the housing and communal complex, despite the fact that the role of the "performer" of housing and communal services is played by housing and maintenance organizations that provide services directly to the "consumer" [3].

4. Conclusions

Thus, the quality standards of housing and communal services should be characterized by the final parameters of



the service. The "consumer" does not care how and as a result of what actions certain technical, economic and statistical indicators of the standard are achieved. At the same time, the "consumer" is interested in the sustainable and stable quality of services that are provided to him under the contract.

References

- [1] V. Yodgarov, D. Butunov "Uy-zhoy communal h̄yžhaligi iqtisodiyoti va boshkaruvi" Darslik. Toshkent. "Noshir" nashriyoti. 2012 yil, 118-bet.
- [2] Baxramov U. Ichki suv ta'minoti va kanalizatsiya. O'quv qo'llanma. Toshkent. Ziyo Nur. 2019. 130bet
- [3] B.B. Mardonov "Khizmat kursatish sohasi va aholi bandligi" Monograph. Tashkent. "Fan" nashriyoti. 2013 yil..
- [4] Rakov, E.G., Usp. Khim., 2000, vol. 69, no. 1, p.

Information about the authors

Bahramov U.	Professor of the Department of Engineering Communications and Systems, Tashkent State Transport University e-mail: bahramov_umarhod@mail.ru
Esanmurodov Sh.	Postgraduate Student of the Department of Engineering Communications and Systems, Tashkent State Transport University, e-mail: shakhbozjonesanmurodov@gmail.com
Khakimova N.	Independent researcher of the Department of Engineering Communications and Systems, Tashkent State Transport University Email: xakimovan1980@mail.ru

Feature of river flows in the riverbed

A. Arifjanov¹, F. Babajanov¹, J. Donoboev¹

¹Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers National Research University, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: In the article, the fractional and chemical composition of the river flow in the "Sokhsoy" riverbed was studied and the possibilities of their use were analyzed. In the study of this process, the fractional and chemical composition of fluids moving along with water in the channel and the change of their share in water along the length of the channel were considered as the main factors. Particles with a diameter of 1.0 - 0.05 mm and 0.05 - 0.001 mm make up the main part of the fractional composition of suspended solids in the river, and their average total share in the entrance of the river is 22.64% of particles of 1.0 - 0.05 mm and 5.78% in the exit part, 0.05 - 0.001 mm particles are found to be 3.48% in the inlet part and 5.78% in the outlet part. It was studied that the chemical composition of the river discharges has a special feature, and that the crop fields are rich in sources of nutrients necessary for plant development. On the basis of the obtained results, conclusions were given that it is possible to regulate the amount of chemical compounds by controlling the distribution of river flows in the river. river, stream, river flow, fractional composition of flow, chemical composition of flow

Keywords: river, stream, river flow, fractional composition of flow, chemical composition of flow

Daryo o'zanida daryo oqizqlarining xususiyati

Arifjanov A.¹, Babajanov F.¹, Donoboev J.¹

¹Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti Milliy tadqiqot universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Maqolada "So'xsoy" o'zani oqimi tarkibidagi daryo oqizqlarining fraksion va kimyoviy tarkibi o'rganilgan hamda ulardan foydalanish imkoniyatlari tahlil qilingan. Ushbu jarayonni o'rganishda o'zanda suv bilan birga harakatlanayotgan oqizqlarning fraksion va kimyoviy tarkibi va ularning suvdagi ulushining o'zan uzunligi bo'ylab o'zgarishi asosiy omil sifatida qaralgan. O'zanda muallaq oqizqlarning fraksion tarkibining asosiy qismini 1,0 - 0,05 mm va 0,05 - 0,001 mm diametrdagi zarrachalar tashkil etib, ularning o'rta hisobdagi umumiy ulushi o'zanning kirish qismida 1,0 - 0,05 mm zarrachalar 22,64% ni va chiqish qismida 5,78% ni, 0,05 - 0,001 mm zarrachalar kirish qismida 3,48% ni va chiqish qismida 5,78% ni tashkil etishi aniqlangan. Daryo oqizqlarining kimyoviy tarkibi ham alohida xususiyatga ega ekanligi, ekin dalalari o'simlik rivoji uchun kerakli ozuqa manbalariga boyligi o'rganildi. Olingan natijalar asosida o'zanda daryo oqizqlarining taqsimotini boshqarish orqali kimyoviy birikmalarning ham miqdorini tartibga solish mumkinligi bo'yicha xulosalar berilgan

Kalit so'zlar: daryo, o'zan, daryo oqizqlari, oqizqlarning fraksion tarkibi, oqizqlarning kimyoviy tarkibi

1. Kirish

Suv resurslarining tarkibiy qismi bo'lgan daryo oqizqlarining daryo o'zanida, kanalda, gidrotexnik inshootlarda va ekin maydonlaridagi harakati tabiatdagi global aylanishlarning bir turi sifatida hisoblanadi. Hidrologik tadqiqotlar bo'yicha faqat Amudaryo o'zanining o'zida yil davomida juda katta miqdorda (246 mln. t/yil) daryo oqizqlari harakatini kuzatish mumkin [1,2,3,4]. Respublikaning Amudaryo, Sirdaryo, Zarafshon havzasi kabi suv manbalarida suv bilan birgalikda tarkibi o'simlik uchun foydali mineral o'g'itlarga boy bo'lgan juda katta miqdordagi daryo oqizqlari magistral kanallarga, magistral kanallardan ichki kanallar va ekin maydonlariga uzatiladi. Yuqorida bayon etilganidek, hozirda mineral o'g'itlarga boy daryo oqizqlarini ekin maydoniga uzatishning asosiy vositasi faqat suv oqimi bo'lib qolmoqda.

Amudaryo, Sirdaryo, Zarafshon va boshqa daryolar havzalari Respublikamizga daryolar keltirib yotqizgan unumdor ill (gil) yotqizqlar ustida joylashgandir. Shuning

uchun ham o'lkamiz yerlari juda unumdorligi bilan ajralib turgan [5,6,7,8,9].

Mamlakatimiz xalq xo'jaligining barcha tarmoqlarini suv resurslari bilan uzluksiz, belgilangan miqdorda ta'minlash uchun, hozirgi kunda qishloq va suv xo'jaligi tasarrufida 900 ta dan ortiq sug'orish tarmoqlari mavjud bo'lib, shundan 400 tasi yirik inshootlardir. Sug'orish tarmoqlarining umumiy uzunligi 196 ming km dan ortiq bo'lib asosiy qismining o'zani tabiiy tuproqdan tashkil topgan. Oxirgi yillardagi ilmiy tadqiqotlardan ma'lum bo'lmoqdaki, irrigatsiya tizimlari havza boshqarmalariga qarashli ko'pgina sug'orish kanallari va gidrotexnik inshootlardan samarali foydalanilishiga daryo oqizqlarining salbiy ta'siri yaqqol namoyon bo'lmoqda.

Daryo oqizqlari harakatini va tarkibiy qismini o'rganish, irrigatsion ahamiyatini baholash bo'yicha tadqiqotchilar uzoq yillardan beri shug'ullanadilar. Hozirgi kunga kelib turbulent oqimdagi oqizqlarning harakat modelini ifodalash, fraksion va kimyoviy tarkibini baholash bo'yicha bir qator ilmiy ishlar bajarilgan.



Daryo oqiziq-lari deb tog' jinslari, tuproq va organik qoldiqlar yemirilishi natijasida hosil bo'lgan, suv oqimi bilan o'zanlarga, ko'l va suv omborlariga, dengizlarga uzatiladigan qattiq zarrachalarga aytiladi. Daryo oqiziq-lari suv oqimi ta'sirida mexanik va sifat o'zgarishlariga uchraydi va saralanadi. Daryo oqiziq-lari har xil o'lchamga va shaklga ega bo'lib, oqiziq-larning ushbu xarakteristikalarini ularning o'zanlardagi harakati va taqsimotiga katta ta'sir ko'rsatadi [10,11].

Daryo oqiziq-larini tavsiflashda ularni tub va muallaq oqiziq-larga ajratadilar. Odatda o'zan tashkil etuvchi oqiziq-lar deb yirik o'lchamli tub oqiziq-larga aytiladi. Transizit oqiziq-lar deb suv bilan birga harakatlanadigan mayda zarrachalar, ko'p hollarda muallaq oqiziq-larga aytiladi [12,13]. Shuni ham alohida qayd etish lozimki, ba'zi bir hollarda jumladan daryolarning quyi qismida, suv omborlarda, kanallarda, o'zanning shakllanishiga muallaq oqiziq-lar ham sabab bo'lishi mumkin [14,15].

Tub oqiziq-lar o'zan tubiga yaqin harakatlanadilar va ular harakati davriy xarakterga ega. Oqim gidravlik parametrlari o'zgarishi bilan tub oqiziq-lar oqimining yuqori qatlamlariga ko'tarilishi va muallaq oqiziq-lar maydonini hosil qilishlari mumkin. Muallaq oqiziq-lar oqimining barcha qatlamlarida, o'zan tubi va erkin sirt oralig'ida muallaq holatda harakatlanadi. Ularning muallaq harakati oqimning turbulentlik darajasi va oqiziq zarrachalarining o'lchamlari bilan bog'liqdir.

Daryo oqiziq-larining fraksion va kimyoviy tarkibini "daryo, kanal, ekin maydoni" tizimi bo'yicha taqsimoti dinamikasini amalga oshirish orqali masalaning to'laonli yechimini izlash lozim bo'ladi. Yuqorida qayd etilganidek, daryo oqiziq-larining "daryo, kanal, ekin maydoni" tizimida boshqarishda daryo oqiziq-larini gidromexanik va oqimning gidrodinamik parametrlarini inobatga olish lozim. Olib borilgan ilmiy amaliy ishlarning muhim ahamiyati shundaki, oqiziq-larni fraksion tarkibining kimyoviy tarkibga bog'liq ravishda boshqarish mumkin [16,17,18].

2. Material va metodlar

Tadqiqot ob'yektining "Daryo" qismida So'x daryosining "So'xsoy" o'zani tanlab olindi. So'x daryosida qurilgan gidrotexnika inshootlar bo'g'ini Sariqo'rg'on suv taqsimlash bosh inshooti 1947 - yilda qurilgan bo'lib, asosiy vazifasi sel va suv toshqinlarini oldini olish, daryo suv oqimini boshqarish (rostlash) va turli iqtisodiyot tarmoqlari: gidroenergetika, suv ta'minoti, suv transporti, irrigatsiya (sug'orish), baliqchilik va xokazo suv iste'molchilarga suvni taqsimlab berish maqsadida foydalaniladi [1,4,7].



1-rasm. Tadqiqot ob'yektining sxemasi

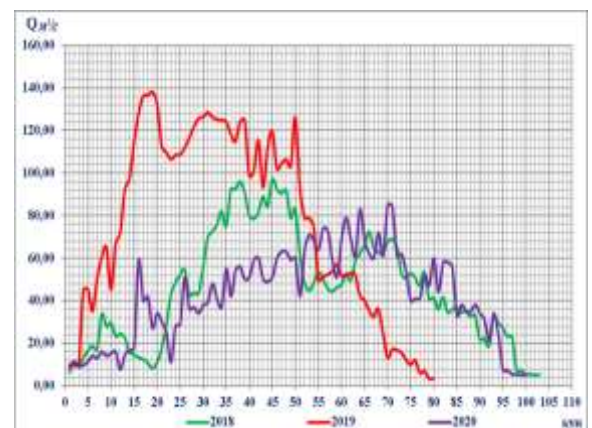
1- "So'xsoy" o'zani, 2-"Dastarxon" kanali, 3-"Chap qirg'oq" kanali, 4-tashlama "Naymansoy", 5-"O'ng qirg'oq" tindirgichi, 6-"Qo'qon" gidrouzeli, 7-"O'ng qirg'oq" kanali.

"So'xsoy" o'zani maksimal suv sarfi 250 m³/s tashkil etadi. Uzunligi 9400 m, o'rtacha nishabligi 0,01 m. "So'xsoy" oqimi tarkibi ekin maydonlari uchun kerakli bo'lgan juda ko'p minerallarga boy hisoblanadi.

"So'xsoy" o'zani etagida "Qo'qon gidrouzeli" va "O'ng Qirg'oq" tindirgichi barpo etilgan. "So'xsoy" o'zanidan to'g'ridan-to'g'ri "Dastarxon" va "Chap qirg'oq" kanallariga suv taqsimlanadi. "Chap qirg'oq" kanali orqali "Katta Farg'ona kanali"ga 18 m³/s miqdorida suv quyiladi [2,5,8]. Daryo cho'kindilarni mexanik tarkibini aniqlash. Tabiiy dala sharoitidagi tadqiqotlarda quyidagi ishlar amalga oshirildi.

Dala tadqiqotlarining dastlabki bosqichida daryo oqiziq-larining "daryo-kanal" tizimida taqsimoti jarayonlari bo'yicha izlanishlar olib borildi. "So'xsoy" o'zanida oqimning gidravlik va geometrik parametrlarini o'lchash maqsadida tajriba uchastkasida xarakterli to'qqizta stvor tanlab olindi. Oqim keltirayotgan oqiziq miqdorini aniqlash uchun hajmiy o'lchov metodi qo'llandi va batimetrlar yordamida namunalari olib laboratoriya sharoitida tahlil etib borildi. Har bir stvor suv satxini va nishabligini o'lchash reykalari va boshqa zarur o'lchov asboblari bilan jihozlandi [6,7,9].

Bir necha yillar davomida to'plangan ma'lumotlar tahlilidan ma'lum bo'lmoqdaki 2018 yilda maksimal suv sarflari 8 - iyuldan 17 - avgust oralig'ida o'zgarishi kuzatildi, bunda maksimal suvning sarfi =96,97 m³/s tashkil etdi. 2019 yilda maksimal suv sarflari 7 - iyuldan 15 - avgust oralig'ida o'zgarishi kuzatildi, bunda maksimal suvning sarfi =138 m³/s tashkil qildi. 2020 yilda maksimal suv sarflari 10 - avgustdan 30 - avgust oralig'ida o'zgarishi kuzatildi bunda maksimal suvning sarfi = 85 m³/s tashkil [92; 76-77-b., 93; 24-27-b., 94; 223-226-b.] etdi (2-rasm).



2-rasm. "So'xsoy" o'zanida yillar davomida suv sarfining o'zgarishi

Grafikdan yillar davomida "So'xsoy" o'zanida suvning maksimal sarfining va kelish vaqtining o'zgarishini kuzatishimiz mumkin. "So'xsoy" o'zanida muallaq oqiziq-lar sarfini aniqlashda maxsus o'lchov qurilmasi batometr orqali o'lchov ishlari olib borildi.

Olib borilgan izlanishlar natijasida "So'xsoy" o'zani oqimi tarkibidagi oqiziq-lar taqsimoti vaqt davomida, o'zan uzunligi bo'yicha va suv sarfiga mos ravishda o'zgaruvchan ekanligi aniqlandi. Aniqlangan natijalarga ko'ra, daryo o'zanidagi suv sarfining maksimal qiymatida muallaq

oqiziqalar miqdori $S=5,6$ g/l ni tashkil etdi. Natijalar 2.3-rasmda keltirilgan.



3-rasm. "So'xsoy" o'zani oqimi tarkibidagi oqiziqalar taqsimoti dinamikasi

"So'xsoy" o'zanining fraksion tarkibi tahlil etilganda, $d=0,5-1,00$ mm o'lchamdagi zarrachalarning miqdori kirish, ya'ni PK-12, o'rta qismi PK-62 va PK-92 stvorlarda farqi biroz oshgani aniqlandi. "So'xsoy" o'zanining uzunligi PK-92 stvorida yakunlanib, tindirgichga kirib boradi.

3. Tadqiqot natijalari tahlili

Tahlil natijalariga ko'ra, "So'xsoy" o'zanining maksimal suv sarfi vaqtida oqim tarkibidagi oqiziqalar miqdori PK-12 da $S=5,6$ g/l, PK-62 da $S=5,3$ g/l va PK-92 da $S=5,1$ g/l ni tashkil qildi.

Daryo oqiziqalarining tarkibiy qismini tadqiqotlarida "So'xsoy" o'zanining fraksion tarkibi o'rganildi va har bir stvorida daryo oqiziqalarining harakatlari tahlil qilib borildi. "So'xsoy" o'zani oqimi tarkibidagi oqiziqalarning fraksion tarkibini aniqlash bo'yicha tadqiqotlar suv sarfining uch hil holatida, ya'ni, maksimal, o'rta, minimal qiymatlarida olib borildi. Maksimal suv sarfi davrida "So'xsoy" o'zani oqimi tarkibidagi oqiziqalarning fraksion tarkibini aniqlash maqsadida, turli stvorlardan olingan namunalar laboratoriya sharoitida tahlil etildi. Tahlil natijalariga ko'ra, "So'xsoy" o'zaniga kirish qismida oqiziqalar miqdori $S=5,6$ g/l bo'lib, fraksion tarkibiga ko'ra $d=1$ mm dan kichik bo'lgan o'lchamlardan tashkil topgan. Tahlil natijalari quyidagi jadval va rasmlarda keltirilgan.

1-jadval

"So'xsoy" o'zanida muallaq oqiziqalarining fraksion tarkibi

O'lchami	Namuna olish nuqtasi		
	PK-12	PK-62	PK-92
1,0-0,5 mm	22,64	27,65	14,25
0,5-0,25 mm	23,65	21,10	14,94
0,25-0,10 mm	19,87	20,31	13,87
0,10-0,05 mm	11,27	9,82	13,21
0,05-0,01 mm	7,95	6,87	12,35
0,01-0,005 mm	5,36	4,25	11,25
0,005-0,001 mm	3,48	4,66	10,26
0,001 mm>	5,78	3,34	9,87

4. Xulosa

Sug'oriladigan tuproqlarning mexanik tarkibi uning hosil bo'lishida muallaq oqiziqalarning qatnashish darajasiga bog'liq ravishda o'zgaradi. Bu o'zgarishlar ko'pchilik hollarda ijobiy xususiyatga ega bo'ladi. Daryo oqiziqalaridan

samarali foydalanishda va boshqarishda oqim harakati qonuniyatlari, oqiziqalar taqsimoti dinamikasi hamda ularning fraksion va kimyoviy tarkibiga alohida e'tibor qilish lozimligini ko'rsatmoqda.

Ayrim gidrotexniklar inshootlardan foydalanishda irrigatsion kanallarni tozalash manfaatlaridan kelib chiqqan holda daryo oqiziqalarini tindirgichlarda ushlab qolish va ularning dalalarga tushishiga yo'l qo'ymaslik kerak, deb hisoblaydilar. Biroq boshqacha nuqtai-nazar ham mavjud. Daryo oqiziqalarning nimadan iboratligini ko'rib chiqish, ularni boshqarish va ularni sug'oriladigan dalalarga maqsadga muvofiq tarzda taqsimlashni o'rganish to'g'riroq bo'ladi. Bugungi kunda ushbu jarayon tabiiy holda sodir bo'ladi; ekin maydonlarining rivoji uchun zarur bo'lgan mayda fraksiyalar ko'pincha yo'qotiladi yoki zarur bo'lgan joyda to'planmaydi.

Foydalanilgan adabiyotlar / References

- [1] Arifjanov A.M., Juraev Sh.Sh., Samiyev L.N., Ibragimova Z.I., Babajanov F.K. Determination of Filtration Strength and Initial Filtration Gradient in Soil Constructions. (IF - 0,4 Scopus Jour of Adv. Research in Dynamical & Control Systems), Vol. 12, 04-Special Issue, 2020.
- [2] Babajanov F.K., Atakulov D.E. Evaluation of the hydraulic and morfometric connections of the riverbed with using // (IF - 0,5 Scopus IOP Conference Series: Materials Science and Engineering), Vol. 869, July 2020. – P. 161681.
- [3] Samiyev L.N., Allayorov D.SH., Atakulov D.E., Babajanov F.K. The influence of sedimentation reservoir on hydraulic parameters of irrigation canals. // (IF - 0,5 Scopus Materials Science and Engineering, International Scientific Conference Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering). Tashkent. Vol. 883, April 2020. – P. 161842.
- [4] Liu C., Walling D. E., He Y. The International Sediment Initiative case studies of sediment problems in river basins and their management. International Journal of Sediment Research. Elsevier, 33(2), 2018.Pp. 216–219.
- [5] Raveendra K. Design of Irrigation Canals. Planning and Evaluation of Irrigation Projects, Elsevier, Academic Press, 2017. Pp. 283–318.
- [6] Walling, D. E. The sediment delivery problem, Journal of Hydrology. Elsevier, 65(1–3), 1983. Pp.209–237.
- [7] L. Jurik, M. Zelenakova, T. Kaletova, A. Arifjanov. Smal Water Reservoirs: Sources of Water for Irrigation. Water resources in Slovakia: Part 1. Elsevier, 2019.
- [8] Kaletova, T., Arifjanov, A., Samiyev, L., Babajanov, F. Importance of river sediments in soil fertility, Journal of Water and Land Development, 2022, Pp. 21–26.
- [9] Samiyev L.N., Ibragimova Z.I., Allayorov D.Sh., Babajanov F.K. Tindirgich ish rejiminig magistral kanalning gidravlik parametrlariga ta'siri. // Irrigatsiya va melioratsiya jurnali. №2(16). 2019.-24-276.
- [10] Arifjanov A.M., Apakxo'jaeva T.U., Dusan Huska Sediment movement mode in rivers of Uzbekistan-Environmental Aspects // Acta horticulturae et regiecturae №13. 2018
- [11] Klyukanova I.A. 1971. Suspended sediments of the Amudaryo and their irrigation importance. Moscow: Nauka, 1971,120 p.

[12] Abu Alyants S.X. 1981. Stable and transitional regimes in artificial channels. L.:Gidrometeoizdat. 1981. 232 p.

[13] Arifjanov A.M., Samiyev L.N., Otaxonov M.Yu., Babajanov F.K. Tindirgichlar ish rejimining kanallarni loyqa bosishdan himoyalashga ta'siri // Irrigatsiya va melioratsiya jurnali. Toshkent, 2019. Maxsus son. B. 86-89.

[14] Samiyev L.N., Babajanov F.K., Atakulov D.E. Daryo oqizqlari fraksion tarkibining taqsimoti // Agro ILM jurnali. Toshkent, 2020. №3 (66)-son. B. 63-64.

[15] Wild, Thomas B. Loucks, Daniel P. Annandale, George W. Journal: Journal of Open Research Software. 2019, Doi 10.5334/jors.261

[16] Kui Huang, Zhenyu Mu, Xuanyu Shi, Xueshan Ai, Jiajun Guo & Jie Ding. Comparative Study on Real-Time Economic Operation Algorithm of Three Gorges Hydropower Station. Lecture Notes in Civil Engineering book series 2023, volume 336

[17] Cobaner, M., Haktanir, T., Kisi, O., 2008. Water Resource Manage, vol. 22, 757-774. 7 E3S Web of Conferences 538, 03010 (2024)

[18] Xoshimov S., Atakulov D., Yalgashev O., Komilov S., & Boykulov, J. (2023). Evaluation of sedimentation of water reservoirs with modern technologies. Paper presented at the E3S Web of Conferences, 365

Mualliflar haqida ma'lumot

Arifjanov Aybek Muxamedjanovich	t.f.d., professor Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti Milliy tadqiqot universiteti, Tel.: (71)-237-19-71 e-mail: www.obi-life@mail.ru ORCID: 0000-0003-2599-4892
Babajanov Farruxbek Karimovich	t.f.f.d., dotsent (PhD) Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti-Milliy tadqiqot universiteti, Tel.: (71)-237-19-71 e-mail: babajanovf86@mail.ru ORCID: 0000-0001-7669-5687
Donoboev Jumaniyoz Javlon o'g'li	tayanch doktorant, Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti-Milliy tadqiqot universiteti Tel.: (71)-237-19-71 e-mail: j.donoboyev@tiame.uz

Compositional analysis of treated wastewater at the Termez city wastewater treatment plant

J.L. Shukurov¹, O.K. Yunusov¹, S.S. Omandavlatov², O.Sh. Ochildiev²

¹Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan

²Termiz State University of engineering and agrotechnologies, Termez, Uzbekistan

Abstract: Water is the main resource that ensures the continuation of life. Rapid population growth, industrialization, urbanization and widespread agricultural expansion have led to the production of contaminated wastewater. Millions of people die every year from diseases caused by drinking water contaminated with harmful microorganisms. 80% of child deaths and diseases worldwide are associated with poor water quality. The environment is seriously threatened by these pollutants. Removing harmful substances from wastewater is a major problem. Traditional treatment methods allow only 30-40% purification of contaminated water. In our research work, samples were taken from a depth of 20 cm from the outlet of relatively purified wastewater into an open water body to conduct a chemical analysis of sewage wastewater from three-stage treatment processes at the Termez city wastewater treatment plant of Surkhondaryo Water Supply A/J. The samples were tested in the laboratory of the Surkhondaryo Regional Department of Ecology, Environmental Protection and Climate Change. The results were analyzed and compared with the state standards for the discharge of wastewater into open water bodies.

Keywords: Wastewater treatment plant, wastewater analysis, pH indicator, state standard, oils, solids, KBBE, KBKE, petroleum products.

Termiz shahar oqova suvlarni tozalash inshootida tozalangan oqova suvning tarkibiy tahlili

Shukurov J.L.¹, Yunusov O.Q.¹, Omandavlatov S.S.², Ochildiyev O.Sh.²

¹Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, O'zbekiston

²Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti, Termiz, O'zbekiston

Annotatsiya: Suv hayotni davomiyligini ta'minlovchi asosiy resursdir. Aholining tez o'sishi, sanoatlashtirishning o'sishi, urbanizatsiya va qishloq xo'jaligining keng tarqalishi mavjud ifloslangan oqova suvlarni ishlab chiqarishga olib keldi. Har yiliga millionlab odamlar zararli mikroorganizmlar bilan ifloslangan ichimlik suvi sabab bo'lgan kasalliklardan vafot etadi. Dunyo bo'ylab bolalar o'limi va kasalliklarning 80% yomon suv sifati bilan bog'liq. Atrof-muhit bu ifloslantiruvchi moddalar tomonidan jiddiy xavf ostida. Zararli moddalarni chiqindi suvdan olib tashlash muhim muammo hisoblanadi. An'anaviy tozalash usullari ifloslangan suvni faqat 30-40% tozalash imkonini beradi. Tadqiqot ishimizda Surxondaryo suv taminoti A/J ga qarashli, Termiz shahar oqova suvlarni tozalash inshootida uch bosqichda tozalash jarayonlaridan chiqayotgan kanalizatsiya oqova suvlarining kimyoviy tahlilini olib borish uchun nisbatan tozalangan oqova suvning ochiq suv havzasiga chiquvchi qimidan 20 sm chuqurlikda namunalar olindi. Olingan namunalar Ekologiya, atrof-muhitni muhofaza qilish va iqlim o'zgarishi Surxondaryo viloyati boshqarmasi huzuridagi laboratoriyada eksperimentlar olib borildi. Olingan natijalar oqova suvni ochiq suv havzasiga quyish uchun ruhsat etilgan davlat standartlaridagi me'yor ko'rsatkichlari bilan taqqoslanib tahlil qilindi.

Kalit so'zlar: Oqova suv tozalash inshooti, oqova suv tahlili, pH ko'rsatkich, davlat standarti, yog'lar, qattiq moddalar, KBBE, KBKE, neft mahsulotlari.

1. Kirish

Oqova suvlarning tarkibi va xossalari bo'yicha ruxsatnomalar, texnik reglamentlar, tashkiliy standartlar bilan belgilangan yoki tegishli deklaratsiyaga kiritilgan standartlarga muvofiqligini tasdiqlash va baholash jarayoni Surxondaryo suv ta'minoti A/J ga qarashli Termiz shahar oqova suv tozalash inshootida o'rganish ishlari olib borildi. Tozalash inshooti 9.30 gektar maydonda joylashgan. Suv tozalash inshootining sutkalik suv tozalash hajmi 25 000 m³ bo'lib, bugungi kunda 23 000 m³ suv tozalanib amudaryo ochiq suv havzasiga oqizib yuborilmoqda. Oqova suv

tozalash inshootida oqova suvlar 4 xil usullar yordamida tozalash jarayonlari olib boriladi. Jumladan: mexanik usulida 2x4 mm li panjaralar hamda qumtutgichlar (10 000 m³/sutka)dan, biologik tozalash usulida esa aerotenklarda (25 000 m³/sutka) 75 % li faol loyqa qo'llaniladi va kimyoviy usulda gipoxlorid eritmasi yoki kukun xolatidagi xlor soatiga 7 kg miqdorida qo'shilgan holda tozalash ishlari olib boriladi, undan so'ng oqova suvlar biologik havzalarga yuboriladi u yerda oqova suvlar qamishzorlar, suv o'tlari yordamida tabiiy usulda tozalanadi. Ushbu tozalash jarayonlaridan so'ng oqova suvlar Amudaryo ochiq suv havzasiga oqizib yuboriladi.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Surxondaryo suv ta'minoti A/J ga qarashli Termiz shahar oqova suv tozalash inshootida tozalangan oqova suvlarning tarkibiy jihatdan monitoring olib borish jarayonida quyidagi metodlardan foydalanildi.

Oqova suvlardan namunani olishda GOST 17.1.5.04 talablariga muvofiq laboratoriya idishlaridan foydalanildi, namunani laboratoriya tekshiruviga qadar GOST 31861-2012 talablariga muvofiq saqlandi.

1-jadval

Namunalarni saqlash yo'riqnomasi

№	Namuna tarkibi	Namuna idishlari	Namunani saqlash va saqlash vaqti
1	pH ko'rsatkich	Shisha idishlarda amalga oshirildi	Saqlash temperaturasi 2-5 C° gacha 24 soat ichida aniqlandi.
2	KBKE (kislorodga bo'lgan biokimyoviy ehtiyoj)	Shisha idishlarda amalga oshirildi	Saqlash temperaturasi 2-5 C° Namuna 24 soat ichida aniqlandi
3	KBKE (kislorodga bo'lgan kimyoviy ehtiyoj)	Shisha idishlarda amalga oshirildi	Sulfat kislotasi bilan kislotalash pH 2 dan past, 2-5 C° gacha sovutish va qorong'i joyda saqlandi

4	To'xtatilgan qattiq moddalar	Shisha idishlarda amalga oshirildi	Namuna 24 soat ichida aniqlandi
5	Sulfatlar	Shisha idishlarda aniqlandi	Namuna 24 soat ichida aniqlandi

Tadqiqot uchun [PND F 12.15.1-08](#) Oqava suvlarni tahlil qilish uchun namuna olish bo'yicha ko'rsatmasidagi oqava suvlarning tarkibi va xossalari bo'yicha ruxsatnomalar, texnik reglamentlar, tashkiliy standartlar bilan belgilangan yoki tegishli deklaratsiyaga kiritilgan standartlarga muvofiqligini tasdiqlash va baholash maqsadida namunalar olindi. Oqova suvlarni tozalash inshootidan namunalar ko'rsatmaning 4-bandiga muvofiq va GOST 51592-2000 me'yoriy hujjatlar yordamida amalga oshirildi.

Laboratoriya ishlari Ion meter (PXSJ-216F), jihozi yordamida GOST 32385-2013 talablariga muvofiq suvning qattiqligi (Mg^{+2} , Ca^{+2}), pH ko'rsatkichi va tarkibidagi NO_3 ionlari aniqlandi.

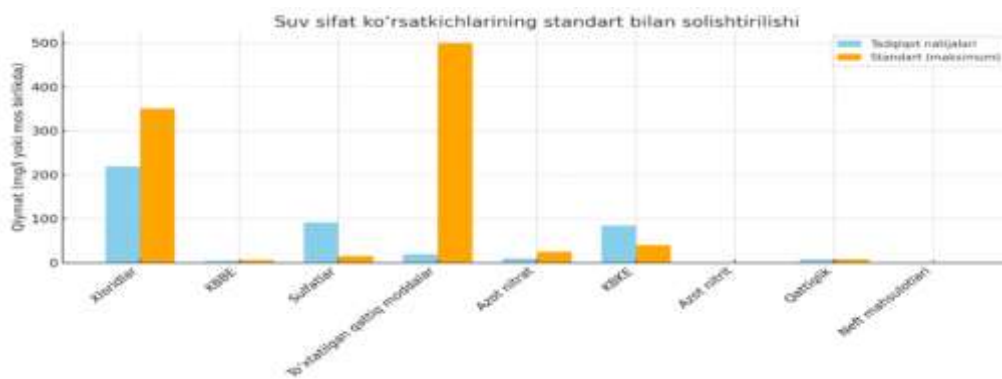
Oqova suv tarkibidagi tuzlarning qoldiqlarini va suvning kimyoviy kislorodga ehtiyojini (ISO 15705: 2002) Spektrofotometr (UV755YK) qurilmasida aniqlandi.

3. Natija va muhokamalar

Tadqiqot natijalari (1-jadval) O'z RH 84.3.5: 2004, 18-jadval Shahar va sanoat oqova suvlari aralashmasini tozalash uchun texnik jihatdan erishiladigan ko'rsatkich bilan solishtirilganda quyidagi ifloslantiruvchi moddalar normadan ortiqcha ekanligi aniqlandi.

2-jadval

Tarkibiy qismlar	Xloridlar	KBKE	Sulfatlar	To'xtatilgan qattiq moddalar	Azot nitrat	KBKE	Azot nitrit	Qattiqlik	Neft mahsulotlari
Tadqiqot natijalari	219	4.1	92	18.7	9.4	84.3	0.02	7	0.29
O'z RH 84.3.5:2004 standarti	0-350	3-6	0-15	0-500	0-25	0-40	0-0.5	7-7.1	0-0.3



1-rasm. Suv sifat ko'rsatkichlarini standart bilan solishtirish

Quyidagi diagramma suv sifatining asosiy ko'rsatkichlari bo'yicha tadqiqot natijalari va O'z RH 84.3.5:2004 standartlari bilan taqqoslanishini ko'rsatadi:

4. Xulosa va takliflar

Termiz oqova suvlarni tozalash inshootidagi tozalangan oqova suvlar ustida olib borilgan laboratoriya natijalari shuni ko'rsatdiki; Oqova suvlar tarkibida qattiq

zarrachalar, neft mahsulotlari, xloridlar, azot nitrit, azot nitrat, sulfat, KBKE, suvning qattiqligi va pH ko'rsatkichlari aniqlandi. "O'z RH 84.3.6:2004- Tabiatni muhofaza qilish. Texnik jihatdan erishiladigan oqava suvlarni tozalash ko'rsatkichlarini hisobga olgan holda ifloslantiruvchi moddalarni suv havzalariga tushirishni tartibga solish bo'yicha ko'rsatma"da oqova suvlardagi moddalarning me'yor talablaridan ortiqcha ifloslantiruvchi moddalar aniqlandi. Ushbu oqova suv tarkibida ifloslantiruvchi ingridientlar me'yor darajasidan ko'pligi sababli yashil hududlarni sug'orishda yaroqsizligi xulosa qilindi. Keyingi tadqiqotlarimiz ushbu ifloslantiruvchi moddalarni tozalashga qaratiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar / References

- [1] Ghayda Yaseen Al-Kindi*, Shaimaa Taleb Alnasrawyl Tetracycline Remove from Synthetic Wastewater by Using Several Methods // J. Ecol. Eng. 2022; 23(5):137-148 <https://doi.org/10.12911/22998993/146999>
- [2] Adem Dreshaj., Albona Shala., Mimoza Hyseni., Bedri Millaku., Arian Gashi. Analysis of the Impact of Industrial Waste on River Water Quality Towards Using the Dynamics of Land Quality // J.Ecol.Eng. 2022; 23(4):191-196. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/146676>
- [3] Ю.Ю.Люре. Справочник по аналитической химии – Москва "Химия"-1989 г. С.446.
- [4] G'afforova Shaxlo, Omandavlatov Sirojiddin "Lak bo'yoq korxonalarida hosil bo'lgan oqova suvlarni kompleks hosil qiluvchi ionitlar yordamida tozalash" SANOATDA RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR jurnali 2024 Volme 2
- [5] Babayev Asqar Ruzibadalovich, Omandavlatov Sirojiddin Sodiql o'g'li "CHOOSING AND IMPROVING THE EFFICIENT METHOD OF TREATMENT OF WASTEWATER OF THE TERMIZ LOCOMOTIVE DEPOT" 1 -jild № 9
- [6] Erjigitova K. K., Zhuginisov T. I., Duysengaliyev E. S. BIOLOGICAL DIVERSITY OF LONGHORNED BEETLES (COLEOPTERA, CERAMBYCIDAE) //Eurasian Journal of Technology and Innovation. – 2024.
- [7] Kato, S., Kansha, Y. Comprehensive review of industrial wastewater treatment techniques. *Environ Sci Pollut Res* 31, 51064–51097 (2024).
- [8] Zou C, Liang J, Jiang W, Guan Y, Zhang Y (2018) Adsorption behavior of magnetic bentonite for removing Hg(II) from aqueous solutions. *RSC Adv* 8:27587.

[9] He, J., Hu, Z., Zhu, X. *et al.* Enhanced photocatalytic treatment of oilfield wastewater using TiO₂/MoS₂ nanocomposites prepared via sol-gel and hydrothermal methods. *Reac Kinet Mech Cat* 138, 1153–1174 (2025)

[10] Ye, J., Ren, G., Liu, L. *et al.* Wastewater denitrification driven by mechanical energy through cellular piezo-sensitization. *Nat Water* 2, 531–540 (2024).

[11] A. Aicher, M. Boermel, J. Londong, S. Beier Vertical green system for gray water treatment: Analysis of the VertiKKA-module in a field test

[12] M. Antikainen, K. Valkokari A framework for sustainable circular business model innovation *Technol. Innov. Manag. Rev.*, 6 (7) (2016),

[13] T. Asano Water from (waste)water – the dependable water resource (The 2001 Stockholm Water Prize Laureate Lecture) *Water Sci. Technol.*, 45 (8) (2002)

[14] C Berggren, T Magnusson, D Sushandoyo Transitions on pathways revisited: Established firms as multi-level actors in the heavy vehicle industry *Research Policy*, 44 (5) (2014)

[15] Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. Capacity building for ecological sanitation: Concepts for ecologically sustainable sanitation in formal and continuing education. Paris; 2006.

[16] Dewulf K. Play it forward: a game-based tool for sustainable product and business model innovation in the fuzzy front end. In: 6th EMSU conferences, Proceedings; 25.-29. Oktober 2010;

Mualliflar haqida ma'lumot

Shukurov Jurabek Lolayevich Toshkent davlat texnika universiteti
E-mail: jshukurov7777@gmail.com
ORCID: 0009-0006-3780-5808

Omandavlatov Sirojiddin Sodiql o'g'li Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti
E-mail: omandavlatovsirojiddin96@gmail.com
ORCID: 0009-0009-2975-3931

Ochildiyev Otabek Shodiyevich Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti
E-mail: otabek_uzmei@mail.ru
ORCID: 0000-0002-9573-5979

Yunusov Obidjon Qodirovich Toshkent davlat texnika universiteti
E-mail: yunusoff.obidjon@yandex.ru



Improving the methods of alternative design of water supply and distribution systems

U. Bakhramov¹, U.V. Umarov¹, K.R. Kuvondikov¹

¹Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekiston

Abstract:

This article presents methods of alternative design taking into account the calculation of the optimal mode of operation of water supply and distribution systems at the stage of operational management, since this makes it possible to develop a measure to save electricity required to create the pump pressure at which the need for water is met. As a rule, of the many options for water supply modes, the option with the minimum dispersion is the optimal one in terms of electricity costs. It is possible that the principle of stabilizing the pump pressure over time should also be used in the operational management of water supply and distribution systems, since in this case the amount of operating costs is minimized. If this principle receives a theoretical justification, it will significantly simplify the calculations for distributing loads between pumping stations of water supply and distribution systems. In this case, it will be possible not to carry out cumbersome and labor-intensive calculations associated with calculating for determining the cost of electricity for each option

Keywords:

Theories and methods of calculating systems, pumping stations, optimal operating mode, distribution function, regulating volumes of tanks, water supply mode, operating costs, dispersion, operating organizations, water supply systems, projects

1. Introduction

The current state of the theory and methodology for calculating water supply systems is such that it does not allow, based on data on water demand, forecasting load fluctuations, etc., to calculate the optimal operating mode of the system structures either at the operational management stage or during their design. At the same time, the need to solve this problem is very great, especially in modern conditions, when it is important to develop measures to save electricity spent on supplying water to consumers. Therefore, the problems of optimizing the operating modes of water supply system structures have to be solved only by comparing options. It should be taken into account that each new option for water supply modes requires almost the entire volume of design calculations. In this regard, in design practice, various options for water supply modes are very rarely considered and economically assessed, although the work of leading research institutes shows [1,4] that by optimizing these modes, specific energy costs (kv h / m²) can be reduced by 15-20%.

2. Materials and Methods

Changing the water supply modes of the pumping stations of the water supply and distribution (SD) systems is possible only when these systems have regulating capacities. Otherwise, the water supply modes must fully correspond to the water consumption modes, i.e. fully compensate for any random changes in loads at consumers of the SD systems. At present, Building codes and regulations 02.04.02-97 provides for the determination of regulating capacity volumes of capacities based on data on hourly consumption schedules. The result of many years of practice in using these recommendations is that the capacities available in cities are essentially not used for the main purpose - regulating hourly unevenness. since their volumes are small and operating organizations seek to use these capacities only as emergency ones.

In the works of the research institute [2,5], an attempt was made to develop new methods for determining regulating capacities. One of these methods takes into account that the regulating daily volume required to compensate for load fluctuations (under the condition of uniform operation of the head structures of the water supply system recommended by Building codes and regulations 02.04.02-97 is a random variable distributed according to a law very close to normal. Analysis of the distribution functions of these random variables showed that the probability of exceeding the volumes calculated according to the recommendations of Building codes and regulations is very high and amounts to 0.3-0.4. This predetermines the insufficiency of the volumes of the tanks under construction for the purposes of regulating hourly unevenness of water consumption. In this regard, it is proposed to determine the regulating volumes of the tanks so that the probability of exceeding their calculated values is 0.005.

3. Results and Discussion

In this case, possible daily excesses during the operation of the SD system will be very rare (2 times a year) and, most importantly, insignificant, no more than 5% of the calculated values of the regulating volumes, i.e. they can be easily compensated for by the emergency water reserves always available in the tanks (these rare excesses can be considered a kind of accident).

Values of tank volumes for regulating hourly unevenness (W_{hour}) in shares of daily water consumption depending on the hourly unevenness coefficient K are shown in Table 1.

Table 1

K	W _q	K	W _q	K	W _q
1,10	0,05	1,35	0,15	1,70	0,26
1,15	0,07	1,40	0,17	1,80	0,29
1,20	0,09	1,45	0,18	1,90	0,31
1,25	0,11	1,50	0,20	2,00	0,34
1,3	0,13	1,60	0,23	2,50	0,44

The given values of W_{hr} exceed those currently accepted in the practice of designing water supply systems in large cities by 40-60%. In addition to the volumes for regulating hourly unevenness, the volumes intended to compensate for the daily unevenness of water consumption (W_{day}) are of interest. Such capacities are not yet used for water supply systems in large cities, although analysis shows their high economic efficiency.

Based on data on actual daily consumption in several large cities of the republic (for 3-4 years), a formula was obtained for determining W_{day} in shares of average daily water consumption - depending on the ratio of the maximum productivity of the head structures of the water supply system Q_{gd}

Q to the maximum daily water consumption Q^{max} :

$$\frac{W_{day}}{Q_{day}} = \frac{0,007}{(Q_{h.b.})/Q_{day}^{max}}$$

At $Q_{h.b.} = Q_{day}^{max}$ size $W_{day} = 0$ and capacities for regulating daily unevenness are not needed. With other ratios $Q_{f.c.}$ and Q_{day}^{max} using this formula, you can determine the value of W_{sut} and, by calculating the costs of constructing tanks and head structures, find the minimum value of these costs. Calculations have shown that for large cities, W_{day} can be about 10-20 % $\overline{Q_{day}}$.

At the same time, the cost of the system is reduced by 3-5%. Thus, it is possible to increase the total regulating volumes of all tanks in the SD systems of large cities. However, the placement of these volumes, their distribution between clean water reservoirs and tanks on the network (towers, counter-tanks, etc.) is a rather complex task. The specified distribution is determined by the water supply mode adopted during the design - with a uniform supply, the entire volume should be placed in tanks on the network, the more uneven the water supply mode is, the greater part of the volume should be placed in clean water tanks. Due to the fact that the change in electricity costs for water transportation, the problem can be solved if there is a method for calculating these costs for any arbitrarily specified water supply mode [3,6].

Water consumption and water supply modes can be specified by non-traditional step graphs of hourly water consumption, and simplified mathematical description of the expected distribution function of hourly water consumption in the estimated year of operation of the system

$$Q = T^k,$$

where Q – the amount of water consumed in the PRV system (varies from 0 to 1 and is expressed as a share of the total water consumption for the period T);

T - is the current time, expressed as a fraction of the total period of water consumption, taken to be equal to 1;

K - is the coefficient of hourly unevenness of water consumption (water supply).

The actual scheme of the SD system is replaced by one of several typical schemes, for each of which formulas are proposed for determining the energy costs depending on arbitrarily specified combinations of supply and water consumption modes. In each of the typical schemes (systems with a tower or reservoirs at the beginning of the network, systems with counter-reservoirs and control units, two-zone SD systems, etc.), the water supply network is replaced by an equivalent pipeline with a flow rate uniformly distributed

along its entire length. Changes in the cost of the water supply network when changing water supply modes are not taken into account. Network costs can be optimized using known methods of technical and economic calculation after the most advantageous water supply mode has been determined. The optimal water supply mode is selected by comparing the values of the reduced costs for each of the water supply mode options planned for consideration (usually 5-7). In this case, capital expenditures on the construction of SD systems (pumping stations, water pipelines, tanks) are determined by the consolidated indicators of the specific cost of construction - averaged or adopted taking into account the materials of projects previously implemented in this SD system. Operating costs (costs for paying for electricity) are determined by formulas that take into account a number of parameters characterizing a specific SD system and always known during its design. Hydraulic calculations are made in order to adjust some initial data.

4. Conclusions

Special feature of the described method is the consideration of a comprehensive economic assessment of the territory of cities, which is allocated for use for the SD structures. Their use allows in some cases to justify by economic calculations the need to construct SD system structures (mainly control units) in those areas of the city where this is required to significantly reduce energy costs and increase the reliability of water supply. Due to the reduction in the labor intensity of calculations for choosing the most economic water supply modes when justifying the direction of development of the SD system, it is possible to consider a fairly large number of system schemes (for example, with water supply to tanks on the network through specially allocated transit water pipelines or directly through the network during periods of reduced water consumption).

As a rule, from many variants of water supply modes, the optimal variant in terms of electric power results is the one with the minimum dispersion of pressure values at the outlet of the largest pumping stations of the system. This means that when designing, it is necessary to accept the characteristics of pumping stations of SD systems with regulating tanks so as to achieve a relatively constant required pump pressure at different periods of the day, and not to strive to maintain a constant pump flow, as suggested by a number of researchers. It is possible that the principle of stabilization of pressures over time should also be used in the operational management of PRV systems, since in this case the amount of operating costs is minimized. If this principle receives a theoretical justification, it will significantly simplify the calculations for the distribution of loads between pumping stations of PRV systems.

In this case, it will be possible to avoid cumbersome and labor-intensive calculations associated with calculating specific values of energy costs for each load distribution option, but only to select the option of the predicted load schedule of pumping stations in which the dispersion of pressures over the forecast period is minimal.



References

- [1] Verbitsky A.S., Baxramov U., Mesropyan E.A., Methods of managing the development of water supply systems in large cities, series - Problems of large cities. Review information, GOSINTI, Moscow: 2000, issue No. 46.
- [2] I.V. Kozhinov, V.V. Kolesov, M.P. Maisal's, I.S. Egil'sky. Overlay and intensification of operation of urban water supply and distribution systems. Moscow, Stroyizdat, 1998.
- [3] Venikov V.A. Calculations and analysis of network operating modes. - Moscow: Energy, 2000r.
- [4] Baxramov U., Obidjanov, A. Simulation of Consumption Processes of a Target Product in Engineering Networks. Solid State Technology. USA. Volume: 65 Issue: 1 Publication Year: 2022. p. 63-69.
- [5] 5, Baxramov U. Development of a mathematical model of stochastic flow distribution in pipeline engineering networks. Gongcheng Kexue Yu Jushu. Advanced Engineering Jurnal ID: ES . India . SN: 2096-3246 , p. 5739-5746c

[6] Baxramov U. Parametric Optimization of Engineering Networks, Taking into Account the Stochastic Nature of the Processes of Consumption of Target Products. Solid State Technology. USA. Volume: 65 Issue: 1 Publication Year: 2022, p. 283-292.

Information about the authors

Bahramov U. Professor of the Department of Engineering Communications and Systems, Tashkent State Transport University
E-mail: bahramov_umarhod@mail.ru

Umarov U.V. Associate Professor of the Department of Engineering Communications and Systems, Tashkent State Transport University
E-mail: uchqunflying@gmail.com

Kuvondikov K.R Assistant of the Department of Engineering Communications and Systems, Tashkent State Transport University
E-mail: quvondiqovqamar@gmail.com

Setting the task of automating the method of designing the longitudinal profile of engineering networks

D. Umarova¹, O. Musaev^{1,2}, U. Umarov¹, A. Rizaev¹, N. Hudayberganova¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

²Uzbekistan Airways, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: The article considers the task of automating the construction of a longitudinal profile of engineering water supply networks. A technique based on the use of geometric data of the pipeline route and hydraulic calculations is proposed. The software architecture includes modules for input of initial data, calculation of profile parameters and visualization of results. As part of the study, a program code was implemented that was used to perform a hydraulic calculation of the engineering network. The calculation of pressure losses is carried out using basic hydraulic formulas such as the Darcy–Weisbach equation. As an example, the calculation results for a typical water supply system are shown, demonstrated by a graph of pressure loss changes along the route of the water supply network. The developed software package simplifies and speeds up the calculations, which is confirmed by the analysis of the results.

Keywords: water supply, longitudinal profile, automation, hydraulic calculation, Python, software architecture

Постановка задачи автоматизации метода проектирования продольного профиля инженерных сетей

Умарова Д.¹, Мусаев О.^{1,2}, Умаров У.¹, Ризаев А.¹, Худайберганова Н.¹

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

²“Узбекистон хаво йуллари”, Ташкент, Узбекистан

Аннотация: В статье рассматривается задача автоматизации построения продольного профиля инженерных сетей водоснабжения. Предложена методика, основанная на использовании геометрических данных трассы трубопровода и гидравлических расчетов. Архитектура программного обеспечения включает модули ввода исходных данных, расчета параметров профиля и визуализации результатов. В рамках исследования реализован программный код, с помощью которого произведён гидравлический расчет инженерной сети. Расчет потерь напора проводится с использованием основных гидравлических формул, таких как уравнение Дарси–Вейсбаха. В качестве примера приведены результаты вычислений для типовой системы водоснабжения, продемонстрированные графиком изменений потерь напора вдоль трассы водопроводной сети. Разработанный программный комплекс упрощает и ускоряет выполнение расчетов, что подтверждается анализом результатов.

Ключевые слова: водоснабжение, продольный профиль, автоматизация, гидравлический расчет, Python, программная архитектура

1. Введение

Проектирование продольного профиля трубопроводов — один из наиболее трудоёмких и ответственных этапов в создании инженерной инфраструктуры. Инженерам необходимо учитывать не только геометрические параметры и рельеф местности, но и соответствие гидравлическим требованиям и нормативным документам. Современное проектирование систем водоснабжения требует точного расчета продольных профилей трубопроводов с учетом рельефа и гидравлики. Автоматизация этого процесса позволяет снизить трудоемкость и повысить надежность расчетов. Существующие программные комплексы (например, EPANET) широко используются для моделирования сетей водоснабжения. В работе Zhang (2024) отмечается, что с помощью EPANET можно спроектировать эффективную систему водоснабжения с учетом необходимых расходов и давлений [1,2]. Целью

данной работы является формализация требований и функций к программному обеспечению, которое позволит автоматизировать построение продольного профиля инженерных сетей, с возможностью как ручного, так и автоматического ввода информации с карт или файлов топосъемки.

Применение ПО позволяет не только ускорить решение задачи по трассировке сети, но и решать принципиально новые, более сложные задачи систем подачи и распределения воды.

2. Методы

Продольный профиль водопроводной сети представляет собой схематическое изображение трассы трубопровода в вертикальной плоскости. На нем отображаются отметки земли, проектные и фактические уклоны, глубины заложения труб, а также размещение



инженерных сооружений, пересечений с коммуникациями и других элементов сети [3].

Проектирование профиля начинается с обработки топографической информации, включая координаты характерных точек и рельеф местности. На основе трассировки составляется горизонтальный план, после чего строится вертикальный профиль с расчетом уклонов, отметок заложения и гидравлических параметров [4].

Проектные данные в плане (горизонтальные параметры) — рассчитываются с применением методов трассирования. Сюда входят длины участков, координаты поворотных точек, параметры круговых и переходных кривых, определяющих форму трассы на плане.

Проектные данные в профиле (вертикальные параметры) — включают расчет вертикальных уклонов, длину прямых участков, параметры сопрягающих вертикальных кривых, обеспечивающих плавный переход между участками с разными уклонами.

Результатом комплексной обработки этих данных является геометрическая модель трассы в виде ломаной линии, отражающей продольный профиль водопроводной сети с учетом рельефа, проектных отметок и инженерных элементов.

На текущий момент существует множество программных решений для проектирования наружных и внутренних инженерных сетей. Однако, многие из них не обеспечивают интеграции с другими системами, а также не автоматизируют полный процесс проектирования, что сказывается на производительности и качестве результата.

2.1 Алгоритм гидравлического расчета потерь напора

Основным расчетным блоком является определение величины потерь напора на каждом участке трубы. Для автоматизированного определения потерь напора на участках водопроводной сети в составе программного обеспечения реализован расчетный модуль, основанный на классической формуле Дарси–Вейсбаха [5,6]:

$$h_f = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (1)$$

где h_f — потери напора (м),

λ — коэффициент гидравлического сопротивления (определяется по формуле Свами–Джейн),

L — длина участка (м),

D — диаметр трубы (м),

v — скорость потока (м/с),

g — ускорение свободного падения.

Результаты расчетов сохраняются в файлы и отображаются с помощью встроенных инструментов визуализации.

Алгоритм реализует следующие шаги:

[1] Ввод исходных данных (расход, диаметр, длина трубопроводов).

[2] Расчет площади поперечного сечения и скорости потока.

[3] Определение числа Рейнольдса и коэффициента сопротивления.

[4] Расчет потерь напора по формуле Дарси–Вейсбаха.

[5] Обработка нескольких участков через таблицу (pandas DataFrame).

[6] Сохранение результатов в Excel-файл.

Визуализация зависимости потерь от длины участка (с графиком).

2.2 Алгоритм построения продольного профиля

Архитектура программного комплекса включает модули ввода, обработки и вывода. Разработка программного обеспечения предполагает реализацию следующих модулей:

- Модуль импорта топографических данных: поддержка форматов DWG, DXF, GeoTIFF, SHP, CSV.

- Модуль импорта данных гидравлического расчета.

- Модуль трассировки: ручное и полуавтоматическое создание полилинии трассы с возможностью указания параметров (диаметр, уклон, глубина и т.д.).

- Модуль отметок: ввод и редактирование отметок земли с обеих сторон трассы.

- Расчётный модуль: расчет уклонов, глубин заложения, отметок низа трубы и проверка соответствия нормативам.

- Модуль пересечений: добавление данных о коммуникациях, колодцах, углах поворота и изменениях диаметра.

- Генератор продольного профиля: построение графика с линией земли, трубой, колодцами, подписью отметок и уклонов.

- Модуль экспорта: вывод чертежей и таблиц в PDF, DWG или Excel.

- Модуль детализовки колодцев.

- Модуль вывод спецификаций сети (генерация спецификаций и таблиц).

На рис. 1 представлена блок-схема архитектуры ПО.

3. Результаты и обсуждение

Проектирование внешних инженерных сетей содержит в себе определенные сложности, среди которых комплекс работ по выбору технического решения, оценке необходимого количества оборудования с учетом его качественных характеристик, расчета систем и составления чертежей, а также спецификаций оборудования, оформление трубопровода на плане и продольном профиле [7]. Не обходится и без изменений: меняется трассировка трубопровода, меняются точки подключения. Разрабатываемый метод поможет минимизировать время на внесение изменений, а создание и оформление продольных профилей будет занимать значительно меньше усилий и времени.

На основе поставленных требований разработана концептуальная архитектура программного продукта (рис. 1). Отдельное внимание уделено интеграции с геоданными, предоставляемыми в виде цифровых топографических карт, а также возможности предварительного гидравлического расчета.

Разработан код для расчета Ожидаемый результат — сокращение времени проектирования минимум на 40%, повышение точности расчётов и снижение количества ошибок при построении профилей.

В ходе реализации планируется использовать язык программирования Python с графической библиотекой PySide (Qt for Python), а также модули matplotlib для построения графиков, ezdxf — для интеграции с AutoCAD.



Рис. 1. Блок-схема архитектуры программного обеспечения автоматизации построения продольного профиля

Для проверки работоспособности и удобства применения алгоритма гидравлики был реализован расчет потерь напора на нескольких участках трубопровода (см. Приложение А). Результаты сохранены в таблицу Excel и использованы для визуального анализа (см. таблицу 1).

Таблица 1

Потери напора вдоль трубопровода

№ участка	Длина участка, м	Диаметр трубы, мм	Расход, л/с	Скорость потока, м/с	Потери напора, м	Суммарные потери, м
1	50	100	3.0	0.38	0.12	0.12
2	70	100	3.0	0.38	0.17	0.29
3	90	100	3.0	0.38	0.22	0.51
4	60	80	3.0	0.60	0.36	0.87
5	100	80	3.0	0.60	0.60	1.47
6	80	65	3.0	0.90	1.08	2.55
7	100	65	3.0	0.90	1.35	3.90

Для визуализации применяется библиотека Matplotlib, позволяющая построить график зависимости потерь напора от длины трубопроводов (см. Приложение).

На основе расчета был построен график рисунок 2

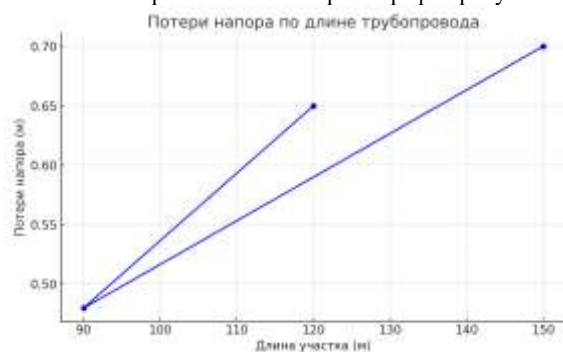


Рис. 2. График потерь напора по длине трубопровода

На графике показано, как увеличиваются потери напора по мере увеличения длины участков при фиксированных расходах и диаметрах. Это позволяет

оптимизировать проектирование, обеспечивая допустимые давления и минимизируя избыточные уклоны.

4. Заключение

Поставленная задача по автоматизации построения продольного профиля инженерных сетей отражает актуальные требования к цифровизации проектных процессов. Предложенное программное решение позволит объединить функции трассировки, расчета и визуализации, а также повысить удобство инженерной работы. В дальнейшем предполагается реализация прототипа с последующим тестированием на реальных проектах.

Использованная литература / References

- [1] Zhang D. (2024). Design a Water Distribution Network for a Small Tourist Resort. Proceedings of the 1st International Conference on Modern Logistics and Supply Chain Management (MLSCM), SciTePress, Vol.1, pp.259–263.
- [2] EPANET 2.2 User's Guide, US Environmental Protection Agency, Washington, 150 pp., 2020. <https://www.epa.gov/water-research/epanet>
- [3] GOST 21.704–2011. (2012). *System of Design Documentation for Construction (SPDS). Rules for Execution of Working Documentation for External Water Supply and Sewerage Networks*. Tashkent: Uzstandart.
- [4] Орлов В.А. Водоснабжение: учебник для бакалавриата и специалитета. — М.: ИНФРА-М, 2023. — 443 с.
- [5] Козлова О.В., Бушуева У.С., Газизов Ф.Н., Кикоть Е.А. (2021). Проблемы построения профиля сети при моделировании гидравлических режимов в рамках разработки и актуализации схем водоснабжения и водоотведения. *Политерм*. politerm.com+1politerm.com

[6] Моргунов, К. П. Гидравлика: учебник / К. П. Моргунов. — Санкт-Петербург : Лань, 2014. — 288 с. — ISBN 978-5-8114-1735-

[7] Грицкив Л.Н. (2022). *Построение продольного профиля линейного сооружения. Выполнение расчетно-графической работы: электронное учебно-методическое пособие*. Тольятти: Изд-во ТГУ. ISBN: 978-5-8259-1105-2.

Информация об авторах

Умарова Динара Ташкентский государственный транспортный университет
Государственное учреждение «KOMMUNALLOYINA Научно-исследовательский институт», Ташкент, Узбекистан
E-mail: aranid.licky@gmail.com

Мусаев Олимжон

Ташкентский государственный транспортный университет
Uzbekistan Airways, Ташкент, Узбекистан

Умаров Учкун

Ташкентский государственный транспортный университет

Ризаев Абдумалик

Ташкентский государственный транспортный университет

Худайберганава Нагима

Ташкентский государственный транспортный университет



Change in energy in the interposition of flows

K.T. Rakhimov¹, A.N. Rizaev¹, S.M. Sabirova¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: In the technique, when solving issues related to fluid movement, in many cases the processes of addition and separation of flows are correct. Perhaps such issues are one of the main issues in the hydraulic calculation of the pipe system. Friction occurs at the junction of currents and napor loss at local resistance. In this case, the process of energy exchange between flows is a complex process, the determination of the energy lost in this process is calculated from complex issues of hydraulics. To study the changes in the energies of the currents being added, We use the ideal fluid model, simplifying the process.

Keywords: Naporli system, pipe, addition of flows, flow specific energy, Bernoulli equation

Oqimlarning o‘zaro qo‘shilishida energiyaning o‘zgarishi

Raximov Q.T.¹, Rizaev A.N.¹, Sabirova Sh.M.¹

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O‘zbekiston

Аннотация: Техникада суууқлик ҳаракати билан бог‘лиқ бо‘лган масалаларни yechishda juda ko‘p hollarda oqimlarning qo‘shilishi va ajralishiga jarayonlariga to‘g‘ri kelinadi. Balki bunday masalalar quvurlar tizimini gidravlik hisoblashda asosiy masalalardan biri hisoblanadi. Oqimlarning o‘zaro qo‘shilishida ishqalanish va mahalliy qarshiliklarda napor yo‘qotilishi sodir bo‘ladi. Bunda oqimlar o‘rtasida energiya almashinish jarayoni murakkab jarayon bo‘lib, bu jarayonda yo‘qotilgan energiyani aniqlash gidravlikaning murakkab masalalaridan hisoblanadi. O‘zaro qo‘shilayotgan oqimlar energiyalarida bo‘ladigan o‘zgarishlarni o‘rganish uchun jarayonni soddalashtirib, ideal suyuqlik modelidan foydalanamiz.

Калит сўзлар: naporli tizim, quvur, oqimlarning qo‘shilishi, oqim solishtirma energiyasi, Bernulli tenglamasi

1. Kirish

Quvurlarni gidravlik hisoblashda asosan qo‘llaniladigan formulalarda sarf uzluksiz deb qaraladi, lekin amalda aksariyat holatlarda quvurlarda bir necha oqimlarning qo‘shilishi, ajralishi kabi holatlarni ko‘rishimiz mumkin. Oqimlarning qo‘shilish yoki ayrilish joylarining gidravlik hisobidagi asosiy muammolardan biri napor yo‘qotilishini aniqlash hisoblanadi. Bunday holat oqimlar o‘zaro qo‘shilishi asosida ishlaydigan apparatlarning gidravlik hisobida juda muhim ahamiyat kasb etadi. Oqimchali qurilmalar sodda va ixcham hisoblanadi, bunday qurilmalarda harakatlanuvchi mexanizmlarining mavjud emasligi ulardan foydalanishda ishonchlilikning yuqori bo‘lishini ta‘minlaydi.

Oqimchali qurilmalar sanoatning deyarli hamma sohida qo‘llaniladi.

Quvurlarda oqimlarning o‘zaro qo‘shilishi yoki ajralishida ular orasida energiya almashinuvi oqimlarning bir-biri bilan qanday qo‘shilishiga bog‘liq, ya‘ni oqimlar orasidagi qo‘shilish burchagining o‘zgarishi ular o‘rtasida sodir bo‘ladigan energiya almashish jarayoniga ta‘sir qiladi. Shu mavzuda o‘tkazilgan ilmiy tadqiqotlarning tahlili shuni ko‘rsatadiki, mavzu dolzarb, oqimlar qo‘shilishining optimal sharoitini aniqlash, energiya tejamlorligi, tizimning ish samaradorligi, foydalanish diapazonini kengaytirishni ta‘minlashi mumkin.

Raximov Q.T, Raximov A.T. va boshqalar tomonidan chop etilgan “Fluid movement in pipeline with one inflow” nomli maqolada oqimlar o‘zaro qo‘shilganda eng kam

energiya yo‘qolishi masalalarining nazariy asoslari keltirilgan. Olib borilgan nazariy tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki oqimlar o‘zaro 30 gradus burchak atrofida qo‘shilsa eenrgiya yo‘qotilishi eng kam bo‘lishligi aniqlangan[5]

Suyuqlik harakati davomida sodir bo‘ladigan napor yo‘qotishlari asosan qarshilik koeffitsientiga bog‘liq. Aksariyat holatlarda ma‘lumotnomalarda berilgan koeffitsientning qiymatlari asosan turbulentlikning eng aktiv sohasi uchun beriladi. Amalda harakatning boshqa sohalar uchun uning qiymati keskin farq qilishi mumkin. Shuning uchun har bir xususiy holatlar uchun koeffitsientning qiymatlari tajribalar yordamida aniqlanadi. Ushbu ilmiy tadqiqot Raximov Q.T. va boshqalar tomonidan chop etilgan “Coefficient of hydraulic friction of plastic pipes” nomli maqolada yoritilgan. Maqolada quvurdagi gidravlik ishqalanish koeffitsientining uning materialiga bog‘liqligi keltiriladi va plastmassa quvurlar uchun uning qiymati tajribalar asosida aniqlanadi[8].

Raximov va boshqalar tomonidan chop etilgan “Increasing flow turbidity in pressure systems” nomli maqolada suv havzalarini loyqalardan tozalash uchun energiyatejamkor struyali apparatdan foydalanish haqida so‘z boradi. Maqolada struyali apparat so‘ruvchi quvurida sodir bo‘ladigan gidravlik jarayonlar va ulardagi napor yo‘qotishlari haqida so‘z yuritiladi[9]

Otaxonov M.Yu.va boshqalar tomonidan chop “Determination of flow rate and velocity of fluids in a non-pressurized pipeline” maqolada naporsiz quvurlardagi oqim harakati undagi gidpavlik jarayonlar haqida so‘z yuritiladi[10,11].

Arifjanov A.M. va boshqalar tomonidan chop etilgan "Improvement of hydraulic parameters of heat supply water heating boilers" va "Assessment of hydraulic friction in polypropylene pipes" nomli maqolalarda quvurlarning parametrlari va ular orqali issiqlik uzatishoqim harakatining ta'siri haqida so'z yuritiladi [12,13,14,15].

Raximov Q.T. va boshqalar tomonidan chop etilgan "The technology of using a jet pump to increase the efficiency of vertical drainage" maqolada vertikal drenajlar ish samaradorligini oshirishda struyali apparatdan foydalanish imkoniyatlari haqida so'z yuritiladi. Maqolada oqim energiyasidan foydalanib, struyali apparat yordamida qo'shimcha so'rish hosil qilinadi [3].

Raximov Q.T. va boshqalar tomonidan chop etilgan "Importance of vertical drainage wells in irrigated fields" nomli maqolada vertikal drenaj quduqlardan foydalanish, ular yordamida yer osti suvlari sathlarini boshqarish haqida so'z yuritiladi. Maqolada shuningdek nasos va quvurlarni ulanishining energiyatejamkor usullari haqida so'z yuritiladi [4].

2. Metodlar

Yuqorida keltirilgan mavzu bo'yicha olib borilgan ilmiy izlanishlar tahlili shuni ko'rsatadiki, quvurlarda oqimlar qo'shilishida energiyaning yo'qotilishi tizimning ishiga katta ta'sir ko'rsatadi. Maqolada quvurlarda oqim o'zaro qo'shilganda energiya yo'qotilishining nazariy asoslari haqida so'z yuritiladi. Masala ustida fikr bildirish uchun uni bir oz soddalashtiramiz. Oqimlar o'zaro qo'shilganda tizimlarning gidravlik hisobining nazariy asoslarini hosil qilish uchun oqimlarni ideal deb qarab, ya'ni unda ishqalanish va vixrlar sodir bo'lmaydi deb qabul qilib, oqim energiyalarining o'zaro bog'liqligining umumiy ko'rinishini yozamiz. Ushbu masalaga energiyaning saqlanish qonuni asosida yondashamiz.

3. Natijalar

Energiyaning saqlanish qonuniga ko'ra:

$$E_1 + E_2 = E_3 + \Delta E \quad (1)$$

Bu yerda E_1, E_2 va E_3 -mos ravishda kesimlardagi to'la mexanik energiya. ΔE -kesimlar o'rtasida yo'qotilgan to'la mexanik energiya. To'la mexanik energiyalarni quyidagicha ifodalasak:

$$E_1 = m_1 g \left(z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \right), \quad (2)$$

$$E_2 = m_2 g \left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} \right), \quad (3)$$

$$E_3 = m_3 g \left(z_3 + \frac{p_3}{\gamma} + \frac{\alpha_3 v_3^2}{2g} \right), \quad (4)$$

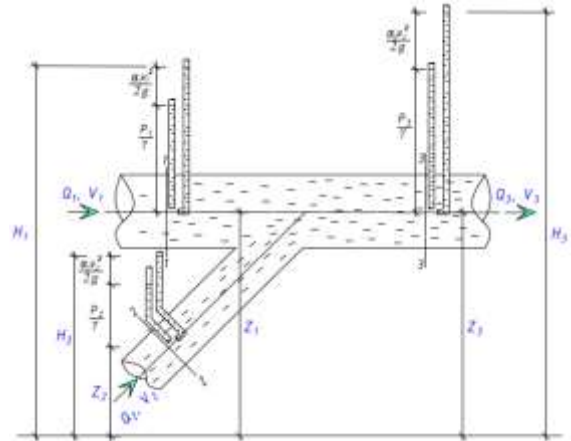
$$\Delta E = mg \left(\Delta z + \frac{\Delta p}{\gamma} + \frac{\Delta \alpha v^2}{2g} \right), \quad (5)$$

Bu yerda 1 indeks bilan birinchi quvurdagi oqim, 2 indeks bilan ikkinchi quvurdagi oqim, 3 indeks bilan esa oqimlar qo'shilgandan keyingi oqim parametrlari belgilangan.

Yuqorida keltirilgan (5) ifodada ishtirok etayotgan $\Delta z, \Delta p, \Delta v$ qiymatlar mavhum bo'lib ularni nazariy aniqlash imkoniyati mavjud emas. Balki ΔE ning

umumiy qiymatini mavjud empirik bog'liqliklardan aniqlash mumkin va shuning uchun hisoblarda noaniqliklar kelib chiqadi. Masala ustida fikr bildirish uchun yuqorida keltirilganidek uni bir oz soddalashtiramiz. Oqimlar o'zaro qo'shilganda tizimning gidravlik hisobining nazariy asoslarini hosil qilish uchun oqimlarni ideal deb qarab, ya'ni unda ishqalanish va vixrlar sodir bo'lmaydi deb qabul qilib, oqim naporlarining o'zaro bog'liqligini yozamiz (1-rasm). Unda o'z-o'zidan:

$$\Delta E = 0 \quad (6)$$



1-rasm. Oqimlarning o'zaro qo'shilishi

Energiyaning saqlanish qonunidan (1) ifodani esa quyidagicha yozish mumkin.

$$m_1 g \left(z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \right) + m_2 g \left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} \right) = m_3 g \left(z_3 + \frac{p_3}{\gamma} + \frac{\alpha_3 v_3^2}{2g} \right) \quad (7)$$

Bu yerda m_1, m_2, m_3 mos ravishda kesimlardan dt vaqt orasida o'tayotgan oqimlarning massalari, agar suyuqlik massasini uning sarfi orqali ifodalasak:

$$m = \rho V = \rho Q dt \quad (8)$$

$$\rho Q_1 g dt \left(z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \right) + \rho Q_2 g dt \left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} \right) = \rho Q_3 g dt \left(z_3 + \frac{p_3}{\gamma} + \frac{\alpha_3 v_3^2}{2g} \right) \quad (9)$$

$$\gamma Q_1 H_1 dt + \gamma Q_2 H_2 dt = \gamma Q_3 H_3 dt \quad (10)$$

Yoki, tenglamaning o'ng va chap taraflarini γdt ga bo'lib yuborsak:

$$Q_1 H_1 + Q_2 H_2 = Q_3 H_3 \quad (11)$$

Bu yerda H_1, H_2, H_3 -kesimlardagi oqimlarning to'la naporlari.

Rasmdan ko'rinib turibdiki:

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 \quad (12)$$

(12) ifodani hisobga olib, (6) ifodani quyidagicha yozishimiz mumkin:

$$Q_1 H_1 + Q_2 H_2 = (Q_1 + Q_2) H_3 \quad (13)$$

$$\text{Yoki: } Q_1 H_1 + Q_2 H_2 = Q_1 H_3 + Q_2 H_3$$

Bundan kesimlardagi naporlar o'rtasida quyidagi bog'liqlikni yozish mumkin:

$$H_1 = H_3 + \frac{Q_2}{Q_1} (H_3 - H_2) \quad (14)$$

Hosil bo'lgan ifodadan ko'rinib turibdiki agar oqimlar qo'shilishi sodir bo'lmasa, ya'ni $Q_2 = 0$ bo'lsa $H_1 = H_3$ ifodani hosil qilish mumkin, ya'ni ideal suyuqlik bo'lganligi uchun energiya yo'qolishi sodir bo'lmaydi. Agar $H_3 > H_2$ bo'lsa, u holda $H_1 < H_3$ hosil bo'lib qoladi, lekin bu holatni suyuqlikni idel deb qaralayotganligi bilan izohlash mumkin. Amalda esa real suyuqlik harakatida ishqalanish va oqimlar qo'shilishi natijasida vujudga keladigan vixrlar sababli energiya yo'qotilishi sodir bo'ladi. Bunda yo'qotilgan napor qiymati qo'shilish burchaklariga bog'liq bo'lib amalda bu masalalar asosan tajribalar asosida yechiladi.

4. Muhokama

Mavzu bo'yicha olib borilgan adabiyotlar tahlili, ilmiy-izlanishlar shuni ko'rsatadiki, quvurlarning gidravlik hisobini bajarish uchun D.Bernulli tenglamasi suyuqlik sarfi o'zgarmas bo'lgan holat uchun o'rindir. D.Bernulli tenglamasiga ko'ra oqim energiyasi faqat qarshiliklar evaziga o'zgarishini, kamayib borishini ko'rsatadi. O'tkazilgan nazariy tadqiqotlar esa oqim energiyasining o'zgarishiga oqimlarni o'zaro qo'shilishining ham ta'siri va bu ta'sir qanday bo'lishligini ko'rsatadi. Oqimlar qo'shilishi haqidagi olib borilgan ilmiy tahlil va izlanishlarda aniqlanishicha bu jarayon gidravlik jihatidan juda murakkab, shuning uchun u yerda hosil bo'ladigan uyurmalar natijasida sodir bo'ladigan napor yo'qolishlarini aniqlashning nazariy imkoniyatlari deyarli mavjud emas. Maqolada yoritilgan ilmiy tadqiqot nazariy ko'rinishda olib borilgan. Jarayonni o'rganish, uning nazariy asoslarini yaratish uchun ideal suyuqlik modeliga murojat qilingan. Ideal suyuqlik yopishqoqlikka ega bo'lmaganligi sababli ishqalanish natijasida napor yo'qolishlari sodir bo'lmaydi. Lekin bunday yondashuv oqimlar o'zaro qo'shilishidagi gidravlik jarayonlarga oqimlar parametrlari qanday ta'sir qilishi mumkinligi, ularning gidravlik parametrlari o'zaro qanday bog'lanishligini aniqlash imkoniyatini hosil qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar / References

- [1] Raximov Q.T, Raximov A.T. va boshqalar "Fluid movement in pipeline with one inflow" E3S Web of ConferencesOtkrytyy dostupTom 36530 January 2023
- [2] Raximov Q.Tva boshqalar "Coefficient of hydraulic friction of plastic pipes" Conference on Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering, CONMECHYDRO 2023Tashkent26 April 2023
- [3] Rakhimov Q., Allayorov D., Ibragimova Z. Increasing flow turbidity in pressure systems. (2020). IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 869 (7), art. no. 072029, DOI: 10.1088/1757-899X/869/7/072029
- [4] Raximov Q.T, Raximov A.T. va boshqalar "Fluid movement in pipeline with one inflow" E3S Web of ConferencesOtkrytyy dostupTom 36530 January 2023

- [5] Rakhimov K., Otakhonov M., Sultonov R. Importance of vertical drainage wells in irrigated fields. (2024). International Conference on Thermal Engineering, 1 (1).
- [6] Otakhanov M., Tursunova E., Khoshimov A., Xusanova J., Bakhromova D. Determination of flow rate and velocity of fluids in a non-pressurized pipeline. (2023). E3S Web of Conferences, 452, art. no. 02008, DOI: 10.1051/e3sconf/202345202008
- [7] Rakhimov K., Otakhonov M., Melikuziyev S., Sultonov R. The technology of using a jet pump to increase the efficiency of vertical drainage. (2024) BIO Web of Conferences, 105, art. no. 05016, DOI: 10.1051/bioconf/202410505016
- [8] Arifjanov A., Kurbanov K., Xoshimov S. Improvement of hydraulic parameters of heat supply water heating boilers. (2024). E3S Web of Conferences, 592, art. no. 03025, DOI: 10.1051/e3sconf/202459203025
- [9] Arifjanov A., Atakulov D., Parpiyev S., Ibragimova Z., Makhmudov B. Assessment of hydraulic friction in polypropylene pipes. (2024). E3S Web of Conferences, 538, art. no. 01025, DOI: 10.1051/e3sconf/202453801025
- [10] Tadjiboyev S., Qurbonov X., Akhmedov I., Voxidova U., Babajanov F., Tursunova E., Xodjakulova D. Selection of Electric Motors Power for Lifting a Flat Survey in Hydraulic Structures .(2022). AIP Conference Proceedings, 2432, art. no. 030114, DOI: 10.1063/5.0089643
- [11] Raximov Q.T. va boshqalar "The technology of using a jet pump to increase the efficiency of vertical drainage" BIO Web of Conferences Tom 10526 April 2024
- [12] Raximov Q.T. va boshqalar "Importance of vertical drainage wells in irrigated fields" International Conference on Thermal EngineeringTom 1, Выпуск 12024 15th International Conference on Thermal Engineering: Theory and Applications, ICTEA 2024Tashkent28 May 2024.

Mualliflar haqida ma'lumot

Raximov Q.T. Toshkent davlat transport universiteti

Rizaev A.N. Toshkent davlat transport universiteti

Sabirova Sh.M. Toshkent davlat transport universiteti



Open channel coating protection technology when saving water resources

A.J. Obidjonov¹, B.B. Kakharov¹, A.R. Babaev¹, U.R. Chorashanbiev¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: Soil-containing cannabis accounts for more than 65 percent of the available channels in our country today. 25-30% of water resources are lost in vain precisely as a result of filtration in soil-containing cannabis. In order to conserve water resources, maintain environmental sustainability, a number of important tasks have been set by the government to prevent filtration in canals. The article cited the analysis of the results of scientific research carried out to prevent filtration processes in the channels. To prevent the filtration process, the possibilities of using a composite polymer coating obtained from domestic raw materials, used car tires were considered. The results obtained are comparable to existing technologies.

Keywords: Channel, coating, filtration losses, composite polymer, tire waste, hydraulic efficiency, water resource saving

Suv resurslarini tejashda ochiq kanallarni qoplama bilan himoyalash texnologiyasi

Obidjonov A.J.¹, Kaxarov B.B.¹, Babayev A.R.¹, Chorashanbiyev U.R.¹

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Bugungi kunda mamlakatimiz hududidagi mavjud kanallarning 65 foizidan ko'prog'ini tuproq o'zanli kannalar tashkil qiladi. Suv resurslarining 25-30 foizi aynan tuproq o'zanli kannalarda filtratsiya natijasida behuda yo'qotilmoqda. Suv resurslarini tejash, ekologik barqarorlikni saqlab qolish maqsadida hukumat tomonidan kanallardagi filtratsiyani oldini olish uchun bir qator muhim vazifalar belgilab berilgan. Maqolada kanallarda filtratsiya jarayonlarini oldini olish uchun olib borilgan ilmiy tadqiqotlar natijalari tahlillari keltirib o'tildi. Filtratsiya jarayonini oldini olish uchun mahalliy xom ashyo, ishlatilgan avtomobil shinalaridan olingan kompozit polimer qoplamadan foydalanish imkoniyatlari ko'rib chiqilgan. Olingan natijalar mavjud texnologiyalar bilan qiyosiy solishtirilgan.

Kalit so'zlar: Kanal, qoplama, filtratsiya yo'qotishlari, kopozit polimer, shina chiqindilar, gidravlik samaradorlik, suv resurslarini tejash

1. Kirish

Suv resurslarini tejash va ulardan oqilona foydalanish, ayniqsa iqlim o'zgarishi va demografik o'sish fonida, global dolzarb masalaga aylangan. "O'zbekiston – 2030" strategiyasida suv resurslari samaradorligini oshirish, mavjud irrigatsiya tarmoqlarini modernizatsiya qilish, shu jumladan, ochiq suv kanallarini filtrlash yo'qotishlariga qarshi chora-tadbirlar ko'rish belgilangan.

Global iqlimdagi o'zgarishlar, aholining ko'payishi hamda iqtisodiyotning turli sohalarining kengayib borishi natijasida suvga bo'lgan ehtiyoj tobora ortib bormoqda. Bu esa o'z navbatida mavjud suv manbalarining yetishmovchiligi muammosini yil sayin yanada chuqurlashtirmoqda [1,2].

"O'zbekiston – 2030" strategiyasida suv resurslaridan samarali foydalanish va ularni tejashga doir alohida vazifalar belgilab o'tilgan. Jumladan, mavjud tuproq o'zanli 18,7 ming kilometr uzunlikdagi magistral va xo'jaliklararo kanallarni beton qoplamalar bilan ta'minlab, ularning umumiy ulushini 13,1 ming kilometrga yetkazish rejalashtirilgan. Bu ishlar bosqichma-bosqich amalga oshirilmoqda [1,2].

Beton to'shamalar qo'llanilishi natijasida kanal tarmoqlarining gidravlik samaradorligi ularning dastlabki holatidan qat'i nazar oshadi, shuningdek, filtrlash tufayli yuzaga keladigan suv yo'qotishlari sezilarli darajada kamayadi. An'anaviy qoplamalarga muqobil ravishda joriy etilayotgan innovatsion materiallar va texnologiyalar

kanallarning samaradorligini oshirishda muhim rol o'ynamoqda. Bu esa o'z navbatida, ilmiy asoslangan yondashuvlar va zamonaviy gidravlik tadqiqotlarni talab etadi [3].

"Kanallardan suyuqlikni sizib chiqish jarayonlarini modellashirish" va "Asosi turli gruntli beton qoplamali kanallarda filtratsiya jarayonini aniqlash" nomli maqola mualliflari tomonidan olib borilgan ilmiy tadqiqotlarda kanalning gidravlik parametrlarini aniqlashda oqim harakati davomida ko'plab gidravlik elementlar noaniq bo'lib qolgani sababli, mualliflar masalani yechishda analitik usullardan ko'ra sonli usullarga murojaat qilganlar va ushbu usullar yordamida ma'lum gidravlik yechimlarga erishilgan. Kanal orqali suv uzatishda filtratsiyani oldini olish maqsadida qoplama tanlash va hisoblash ishlari turli bosqichlarni modellashirish orqali ko'rib chiqilgan [4,5].

O'tkazilgan tadqiqotlar natijasida aniqlanishicha, hozirgi kunda tuproq o'zanli kanallarning filtratsiya yo'qotishlarini kamaytirish maqsadida turli xil qoplama materiallari amaliyotda keng qo'llanilmoqda. Ilmiy ishlarda mualliflar qo'llanilgan qoplamalarning har biri bo'yicha ularning afzalliklari va kamchiliklarini tahlil qilib berganlar. Ushbu ilmiy ishimizda esa biz filtratsiya jarayonining oldini olish maqsadida kanallarni kompozit polimer asosidagi qoplamalar bilan masalasini o'rganib chiqdik.

2. Metodlar

Statistik ma'lumotlarga ko'ra, mamlakatda bir yilda foydalaniladigan suv miqdori taxminan 51–53 mlrd m³ ni tashkil etadi. So'nggi tadqiqotlarga ko'ra, hozirgi paytda sug'orish tizimlarining foydali ish koeffitsienti 0,60-0,70 atrofida bo'lib, bu umumiy suv hajmining 25-30 foizi filtrlash yo'li bilan yo'qotilishini anglatadi. Ayni paytda magistral va xo'jaliklararo kanallarning asosiy qismini tuproq o'zanli kanallar tashkil etadi va ularning atigi 15-20 foizi filtrlashga qarshi maxsus qoplamalar bilan jihozlangan [3,5].

Filtrlash tufayli yuzaga kelayotgan suv yo'qotishlari bartaraf etishda kompozit asosdagi zamonaviy qoplamalardan foydalanish kanallarning gidravlik samaradorligini sezilarli oshiradi [6, 7].

Sug'orish tizimining umumiy samaradorligini (FIK) aniqlash hozirgi kunda suv resurslaridan oqilona foydalanish va yo'qotishlarni kamaytirishning eng muhim yo'nalishlaridan biridir. Adabiy manbalarni tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, sug'orish tizimi bir necha asosiy bosqichlardan iborat bo'lib, har bir bosqichda suv yo'qotilishi sodir bo'ladi. Bunga quyidagilar kiradi: magistral kanal, xo'jaliklararo taqsimlagich, xo'jalik taqsimlagichi, ichki xo'jalik taqsimlagichi, uchastka taqsimlagichi va vaqtinchalik sug'oruvchilar. Har bir bo'g'inning foydali ish koeffitsienti alohida hisoblab chiqiladi, so'ngra ularning ko'paytmasi orqali umumiy tizim samaradorligi aniqlanadi [8, 9]. Sug'orish tizimining umumiy samaradorligi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\eta_{tiz} = \eta_{mk} \cdot \eta_{mxt} \cdot \eta_{xt} \cdot \eta_{ixt} \cdot \eta_{ut} \cdot \eta_{vs}$$

bu yerda, η_{mk} - magistral kanalning foydali ish koeffitsiyenti; η_{mxt} - xo'jaliklararo taqsimlagich foydali ish koeffitsiyenti; η_{xt} - xo'jalik taqsimlagichi foydali ish koeffitsiyenti; η_{ixt} - ichki xo'jalik taqsimlagichi foydali ish koeffitsiyenti; η_{ut} - uchastka taqsimlagichi foydali ish koeffitsiyenti; η_{vs} - vaqtinchalik sug'oruvchilarning foydali ish koeffitsiyenti [8,9].

Sug'orish kanallarida suv yo'qotishlarining asosiy sababi bu - filtratsiya, ya'ni suvning tuproq qatlamlariga sizib ketishidir. Bu jarayon natijasida suv resurslarining sezilarli darajada yo'qotilishi kuzatiladi, bu esa butun sug'orish tizimining samaradorligiga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Mazkur muammoni bartaraf etishning zamonaviy va samarali usullaridan biri bu - geosintetik materiallardan, xususan geo-membranalar va geotextillardan foydalanishdir. Geomembranalar - bu suv o'tkazmaydigan polimer asosdagi yupqa qatlam bo'lib, u kanal tagiga va devorlariga yotqiziladi. Ular suvning tuproqqa sizib ketishining oldini oladi va filtratsiyani 90-95% gacha kamaytiradi. Sug'orish tizimlarida geosintetik materiallardan foydalanish, nafaqat suv resurslarini tejash, balki butun irrigatsiya tizimining samaradorligini oshirish va iqtisodiy jihatdan foydali bo'lishi bilan ajralib turadi [10,11].

3. Natija va muhokamalar

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, O'zbekiston hududidagi tuproq o'zanli ochiq suv kanallarida suvning 25-30 foizi filtratsiya tufayli yo'qolmoqda, bu esa suv resurslaridan samarali foydalanishga sezilarli to'sqinlik

qilmoqda. An'anaviy tuproq qoplamalari bu yo'qotishlarni kamaytirishda yetarli darajada samarali emasligi aniqlangan.

An'anaviy beton yoki polimer qoplamalar qimmat va ishlab chiqarish jarayoni murakkab bo'lishi tufayli, yangi, iqtisodiy va ekologik jihatdan samarali materiallarga ehtiyoj oshmoqda. Shu munosabat bilan, mahalliy avtomashinalardan chiqqan eski shinalarni qayta ishlash orqali granulaga aylantirib, kauchuk bilan aralashtirilgan qoplamalar tayyorlash taklif etiladi. Bu usul nafaqat atrof-muhitni asrash, balki suv yo'qotishlarini sezilarli darajada kamaytirishga xizmat qiladi.

Avtomobil shinalari - kauchuk va boshqa polimer materiallar asosida ishlab chiqilgan mustahkam qurilmalardir [12, 13]. Ushbu shinalar mexanik maydalash orqali granulaga aylantiriladi. Granulaning o'lchamlari 0,5 dan 3,5 mm gacha bo'lib, ularning taqsimoti suvni samarali ushlab qolishda muhim rol o'ynaydi. Tayyorlangan granula turli miqdorda sintetik va tabiiy kauchuk bilan aralashtiriladi. Sintetik kauchuk qoplamaning bardoshlilikini oshirsa, tabiiy kauchuk uning elastikligini yaxshilaydi. Aralashma maxsus texnologiya asosida formovka qilinib, qotiriladi va tayyor qoplama holatiga keltiriladi (1-rasm).



1-rasm. Shinalar mexanik maydalash

Maydalangan granulalar kanalga samarali qoplama hosil qilish uchun asos hisoblanadi. Granulalarni qoplama sifatida qo'llashdan oldin, ularni kauchuk bilan aralashtirish va issiqlik yordamida biriktirish zarur. Qoplama tarkibida yangi kauchuk miqdori umumiy massasining 10% atrofida bo'lishi qoplama sifatini yanada oshirishi nazarda tutilgan. Bu miqdor qoplamaning mexanik xususiyatlarini - qattqlik, egiluvchanlik va chidamlilikni yaxshilaydi, shu bilan birga suv filtratsiyasini kamaytirishda samaradorlikni oshiradi. Granulalar va kauchuk aralashmasi 160-180°C haroratda qayta qizdiriladi. Bu jarayonda kauchuk yumshab, granulalarni bir-biriga mustahkam biriktiradi. Issiqlik ta'sirida aralashma qolipga quyilib, kerakli o'lchamlarda list shaklida qotiriladi. Qotish jarayoni taxminan 20-30 daqiqa davom etadi, bunda qoplama mustahkam va elastik xususiyatlarga ega bo'ladi.

Hozirgi paytda mazkur kompozit polimer qoplamaning samaradorligi haqida aniq eksperimental ma'lumotlar mavjud emas. Ammo mavjud adabiyotlar va ilmiy manbalar tahliliga ko'ra, eski shinalardan tayyorlangan qoplama, suv yo'qotishlari 90-95% gacha kamayishi mumkinligi taxmin qilinadi. Kauchukning 10% miqdorda qo'shilishi qoplamaning mexanik xususiyatlarini yaxshilaydi - qattqlik, egiluvchanlik va chidamlilik ortadi. Bu esa suv kanallarining

gidravlik samaradorligini oshirib, suv o'tkazish ko'rsatkichlarini yaxshilashga xizmat qiladi.

4. Xulosa

Tadqiqotlar va adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, O'zbekistondagi ochiq suv kanallarida filtratsiya yo'qotishlari katta hajmni tashkil etmoqda. Ularni kamaytirish uchun geosintetik materiallar, shu jumladan geomembranalar, va chiqindi shinalar asosida tayyorlangan kompozit qoplamalar istiqbolli yechim hisoblanadi.

Mahalliy avtomobil shinalarini qayta ishlash va kauchuk bilan aralashtirish orqali tayyorlangan kompozit polimer qoplamalar suv kanallarining gidravlik samaradorligini oshirishda istiqbolli yo'l hisoblanadi. Ushbu innovatsion yondashuv suv resurslarini tejash va ekologik muammolarni hal qilishda muhim ahamiyatga ega. Kelajakda mazkur texnologiyani eksperimental sinovlardan o'tkazish va natijalarni tahlil qilish orqali uning samaradorligi tasdiqlansa, O'zbekiston uchun katta iqtisodiy va ekologik foyda keltirishi kutilmoqda.

Foydalanilgan adabiyotlar / References

[1] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining Farmoni, 11.09.2023 yildagi PF-158-son. "O'zbekiston — 2030" strategiyasi.

[2] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining Farmoni, 10.07.2020 yildagi PF-6024-son. O'zbekiston Respublikasi suv xo'jaligini rivojlantirishning 2020-2030-yillarga mo'ljallangan konsepsiyasini tasdiqlash to'g'risida

[3] Obidjonov A., Babaev A. HYDRAULIC EFFICIENCY OF COATED AND UNCOATED OPEN CHANNELS //Universum: технические науки. – 2023. – №. 10-6 (115). – С. 64-68.

[4] Obidjonov, A., Ibadullayev, A., Babayev, A., & Chorshanbiyev, U. Kanallardan suyuqlikni sizib chiqish jarayonlarini modellashtirish //Вестник транспорта-Transport xabarnomasi. – 2025. – Т. 2. – №. 1. – С. 24-28.

[5] Obidjonov A.J., Babayev A.R., Kaxarov B.B., Raximov Q.T., Chorshanbiyev U.R. Asosi turli gruntli beton qoplamali kanallarda filtratsiya jarayonini aniqlash. Me'morchilik va qurilish muammolari, 2025 yil 1-son.

[6] Yavov A. U., Abdug'aniyev X. A. Kanallardagi suv isrofini kamaytirish usullari (Amu-qorako'l kanali misolida) //Экономика и социум. – 2024. – №. 12-2 (127). – С. 979-981.

[7] Mirzayeva F. Sh., Telegenova G. M. Sug'orish tarmoqlarining suv isrofi, foydali ish koeffitsientini oshirish chora-tadbirlari // Ilm – fan ta'limda innovatsion yondashuvlar, muammolar, taklif va yechimlar. – 2022. – B. 1-5.

[8] Давлетов Т.Г. Ирригация ва мелиорация. – Тошкент: "IQTISOD-MOLIYA", 2020.

[9] Пашаев Э. П. Ещё раз о коэффициенте полезного действия (КПД) оросительных систем //Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – №. 4. – С. 120-122.

[10] Колганов А. В., Косиченко Ю. М., Сляренко Е. О. Противофильтрационные облицовки каналов с использованием геосинтетических материалов //Мелиорация и гидротехника. – 2022. – Т. 12. – №. 3. – С. 210-226.

[11] Чернов М. А. Противофильтрационные конструкции каналов и водоемов с применением геомембран из полиэтилена высокого и низкого давления //Автореф.... канд. техн. наук. Новочеркасск. – 2011.

[12] Джиянбаев С.В., Омонов М.Б. Фойдаланилган иккиламчи шина талкониинг техник шартлари ва унинг самарадорлигини баҳолаш усуллари. Me'morchilik va qurilish muammolari 2022 йил, №4 сон

[13] Янчевский В.А. Технология ремонта поврежденных шин Янчевский В.А. Автотранспортное предприятие. 2005. 6. 37-39.

Information about the authors

Obidjonov A.J. Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston
e-mail: obidjonov0777@mail.ru

Kaxarov B.B. Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Babayev A.R. Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Chorashanbiyev U.R. Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston
<https://orcid.org/0000-0001-5268-3075>

Yangihayot district grunt (drainage) water seasonal analysis study

U.V. Umarov¹, F.Sh. Abduljalilov¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This article investigates the correlation between the potential for sand encroachment on a newly constructed railway line and the annual precipitation levels. An expert survey was conducted among specialists directly and indirectly involved with this issue, alongside a statistical analysis of natural and climatic winter-spring precipitation over several years in regions where the under-construction railway intersects dune sands. The annual precipitation data were compared with the occurrence of sand drifts. The results of the expert survey, monitoring of potential railway sand encroachment, and precipitation analysis are presented. It was established that the manifestation of sandstorms, and consequently the potential for sand encroachment on infrastructure, is dependent on the amount of rainfall during the winter-spring period. Utilizing the findings of this research will enable the elimination of unnecessary annual measures for protecting the new railway line from sand drifts, specifically those related to the stabilization of mobile sands.

Keywords: railway protection, sand stabilization, combined method, atmospheric precipitation, expert survey

Yangihayot tumani grunt (drenaj) suvlarining mavsumiy tahlillari tadqiqi

Umarov U.V.¹, Abduljalilov F.Sh.¹

¹ Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Anotatsiya: Mazkur maqolada Yangihayot tumanidagi grunt suvlarining holati va ularning mavsumiy o'zgarishlari tahlil qilingan. Tadqiqotda 2024–2025 yillarga oid kuzatuv ma'lumotlari asosida grunt suvlarining sathi, kimyoviy tarkibi va harorat ko'rsatkichlaridagi farqlar o'rganilgan. Ayniqsa, bahor va kuz mavsumlarida grunt suvlarining ko'tarilishi natijasida yuzaga keladigan gidrogeologik muammolar alohida ko'rib chiqildi. Tahlillar natijasida grunt suvlarining mavsumiy dinamikasi hudud infratuzilmasi va qishloq xo'jaligiga sezilarli ta'sir ko'rsatayotgani isbotlangan. Ushbu ilmiy ish, Yangihayot tumani tabiiy-sharoitlarini hisobga olgan holda, suv resurslaridan oqilona foydalanish, meliorativ holatni yaxshilash va ekologik barqarorlikni ta'minlashda muhim amaliy ahamiyatga ega. Maqolada ushbu o'zgarishlarni barqaror monitoring qilish va samarali boshqarish bo'yicha amaliy tavsiyalar ham berilgan.

Kalit so'zlar: grunt suvlari, suvning loyqaligi, suvning umumiy minerallashtirish, suvning rangi, ishqoriyligi, drenaj tizimi, mavsumiy o'zgarishlar.

1. Kirish

Yangihayot tumani — Toshkent shahrining ma'muriy-hududiy birliklaridan biri bo'lib, 2020-yilda tashkil etilgan. U shahar markazining janubi-sharqiy qismida joylashgan bo'lib, Olmazor, Bektemir, Yakkasaroy tumanlari, shuningdek, Toshkent viloyatining Zangiota va Quyichirchiq tumanlari bilan chegaradosh. Yangihayot tumani shahar va qishloq infratuzilmalari kesishgan nuqtada joylashgan. Hozir biz o'rganayotgan hudud 8-9 chi hududlar hisoblanadi. U yerda Oriyat, Marxamat va Yangihayot mahallalari mavjud. Umumiy hisobda 100 ga yaqin ko'p qavatli turar-joy binolari qurib tugallangan va ularning tagida yig'iladigan grunt suvlari esa 70 ta skivatja orqali kanalga chiqazib yuboriladi.

Grunt suvlari — yer ostining ustki qatlamlarida joylashgan, atmosfera yog'ingarchiliklari, daryolar, kanallar va erigan qor-suvlardan hosil bo'lgan tabiiy suv qatlamidir.

Ular tabiatda muhim funksiyalarni bajaradi va turli sohalarda ahamiyatga ega:

Ushbu maqolaning asosiy maqsadi — Yangihayot tumanidagi grunt suvlarining mavsumiy o'zgarishlarini aniqlash, ularning dinamikasini kuzatish va bu o'zgarishlarga ta'sir qiluvchi asosiy tabiiy hamda antropogen omillarni tahlil qilishdan iborat. Maqola

quyidagi yo'nalishlarda ilmiy izlanish olib borishni ko'zda tutadi:

Grunt suvlarining yil davomida qanday o'zgarishi



(ko'tarilishi yoki pasayishi) aniqlanadi;

Harorat, yog'ingarchilik, bug'lanish kabi iqlimiy omillarning grunt suvlariga ta'siri o'rganiladi;

Aholi sonining o'sishi, qurilish ishlari, sug'orish tizimlari kabi inson faoliyatining grunt suvlariga ta'siri baholanadi;

Mavsumiy o'zgarishlar asosida ekologik xavf-xatarlar va qurilishga oid tavsiyalar ishlab chiqiladi.

Shu orqali, tumandagi grunt suvlar monitoringini takomillashtirish, resurslardan barqaror foydalanish va tabiiy muhitni muhofaza qilishga doir ilmiy asoslangan tavsiyalar ishlab chiqiladi. Yangihayot tumanining 8-9 chi hududlarining grunt suvlari o'rganib chiqildi. Natijada u yerda umumiy hisobda 70 ta drenaj tizimi mavjud ular orqali binolar tagida yig'ilgan grunt suvlari ular orqali kanalga chiqarib yuboriladi. Shuningdek, grunt suvlarining tarkibini baholash ularni ichimlik yoki texnik maqsadlarda foydalanish imkoniyatlarini ham aniqlashda muhim ahamiyatga ega. Ayniqsa Yangihayot tumanidagi ko'plab sanoat korxonalari pastlikda joylashganligi sababli grunt suvlarini texnik suv sifatida yuborish imkoni yaxshi.

2. Metodlar

Yangihayot tumani sanoat salohiyati jihatidan yildan-yilga rivojlanib bormoqda. Bu esa sanoat korxonalarining suvga bo'lgan talabini keskin oshirmoqda. Hozirda ko'plab korxonalar texnik maqsadlarda (yong'inga qarshi suv taminoti, sug'orish maydonlari, sovutish tizimlari, og'ir sanoatda korxonalarida detallarni yuvish uchun, mashina zavodlarida) markazlashgan ichimlik suvlaridan foydalanmoqda. Misol tariqasida Toshkent mexanika zavodi, Toshkent quvur zavodi, Yangiyo'l tumanidagi "O'zbekiston" deposi, Toshkent agrosanoat, to'qimachilik zavodlari, Toshkent akkumilyator ishlab chiqarish zavodi va boshqa yirik sanoat korxonalari barchasi shahrining markaziy suv tarmog'iga ulangan. Yuqorida aytib o'tilgan barcha sanoat korxonalari 4 ta asosiy markazlashgan ya'ni Qodiriya, Bo'zsuv, Qorasuv va Janubiy suv olish inshootlaridan turli maqsadlarda foydalanadi. Bu esa aholining ichimlik suvi bilan ta'minlanishiga salbiy ta'sir ko'rsatmoqda. Bunday ta'sirni oldini olish maqsadida Yangihayot tumanining 8-9 chi hududlarida joylashgan 100 ga yaqin turar-joy binolaridan chiqayotgan grunt suvlari drenajlar orqali kanalga chiqarib yuborilyabti, ulardan oqilona foydalanish maqsadida ularni texnik suv sifatida Yangihayot tumanidagi sanoat zonalariga yubormoqchimiz. Bu yondashuv iqtisodiy jihatdan juda foydali markazlashgan suv taminoti uchun hamda ichimlik suvini tejaydi, sanoat uchun doimiy va ishonchli texnik suv manbasini yaratadi. Yangihayot tumanidagi yangi sanoat zonolari bu loyihani tajriba maydoniga aylantirish uchun ideal hudud hisoblanadi. Chunki Yangihayot tumanida joylashgan sanoat texnoparklarida yer osti sathi nisbatan past bo'lib, grunt suvlariga chiqish imkoni yaxshi. Kuzatish. Suvning kimyoviy tahlillari o'tkazilib, texnik va ishlab chiqarish suvlari, yong'inga qarshi suv ta'minoti, sug'orish-sepish suvlarining talablariga mos tushsa to'g'ridan-to'g'ri foydalanishga yuborish, tushmasa ularni tozalab, keyin foydalanishga yuborish maqsadga muvofiq bo'ladi.

3. Natija va muhokamalar

Drenaj suvlarining kanalga oqizilgandagi ma'lumotlar:

- Bahor oylarida drenaj suvi oqizilgan kanaldagi chuqurligi 0.5 metrda qayd etildi.
- Yozda kanal suving chuqurligi 0.4 metrga tushdi, bu bug'lanishning ortishi va yog'ingarchilikning kamayishi bilan izohlanadi.
- Kuz va qishda esa kanalning chuqurligi 0.5-0.6 metr atrofida bo'ldi.

Kanaldagi drenaj suvining tarkibiy ko'rsatkichlari:

1. Umumiy minerallashtirish: yoz oylarida 0.658 mg/l, bahorda esa minerallashtirish 0.257 mg/l.



2. Tok o'tkazuvchanligi: bahor oylarida 0.524 mk/cm yoz oylarida esa 0.810 mk/cm ko'rsatkichni oldik. Bunday ko'rsatkichlarga har mavsum mobaynida obyekt zonasiga borib erishildi. Testor yordamida suvning umumiy minerallashtirish va tok o'tkazuvchanligini aniqladik. Spektro fotometrda esa suvdagi zararli moddalar miqdorini aniqlashga erishdik.



3. Suv sarfi – Tadqiqot davomida Yangihayot tumanida joylashgan 70 ta grunt suv chiqaruvchi skvajinalar o'rganildi. Ularning katta qismi binolar tagida joylashgani tufayli, grunt suvlarining sathi va sifatida binokorlik faoliyati, qurilish materiali yotqiziqlari va infratuzilma holati bilan bog'liq o'zgarishlar kuzatildi.

Mavsumiy tahlillar shuni ko'rsatdiki, bahor va kuzda grunt suvlarining sathi ko'tarilib, ayrim skvajinalarda sath yer sirtiga yaqinlashadi. Bu holat ayrim binolarning poydevorlariga salbiy ta'sir ko'rsatishi mumkin. Yozda esa sathning pasayishi, suv tanqisligi va suv sifati yomonlashuvi bilan bog'liq muammolar yuzaga chiqadi. Shu maqsadda ularning nazorat qiluvchi skvajinalar o'rnatilgan. Skvajinada yig'ilgan grunt suvlari binoga yaqin kanalga oqizdiriladi. 70 ta skvajina asosida olingan natijalar, grunt suvlarini muntazam monitoring qilish va qurilishda gidrozolyatsiya choralarini kuchaytirish zarurligini ko'rsatmoqda. Shuningdek, grunt suvlarining tarkibini baholash ularni ichimlik yoki texnik maqsadlarda foydalanish imkoniyatlarini ham aniqlashda muhim ahamiyatga ega.

Suv sathi va suvning oqim tezliklarini hisobga olgan tarzda suvning sarfi taxminan $Q=0.75\text{m}^3/\text{s}$ shuni tashkil etadi. Grunt suvlarining minerallashtirish ularning sifati va foydalanish imkoniyatlariga bevosita ta'sir qiladi. Agar

suvda minerallar miqdori me'yordan ortsa, u ichimlik yoki qishloq xo'jaligi uchun yaroqsiz bo'lishi mumkin. Yangihayot tumanida o'tkazilgan tahlillar natijasida ayrim hududlarda suvning minerallashganligi bahor va yoz oylarida oshgani kuzatildi, bu esa bug'lanish va yer osti qatlamlaridan mineral moddalarning ko'proq erishi bilan bog'liq. O'tkazilgan kuzatuvlar natijasida Yangihayot tumanida grunt suvlarining sathi va sifati yil fasllariga qarab sezilarli darajada o'zgarishi aniqlandi. Ayniqsa, bahor va kuz oylarida yog'ingarchilikning ko'payishi tufayli grunt suvlari sathi ko'tarilgan. Yoz oylarida esa suv sathining pasayishi va suv tarkibida tuz miqdorining ortishi kuzatildi, bu esa intensiv bug'lanish va irrigatsiya ta'sirini ko'rsatadi. Bundan tashqari, kanal suvining chuqurligi va tezligi asosida hisoblangan sarf miqdori hududdagi suv resurslaridan foydalanish darajasini baholashga imkon berdi. Bu ma'lumotlar, kelgusida suv ta'minoti va ekologik xavfsizlikni ta'minlash uchun muhim ahamiyatga ega.

4. Xulosa

Ushbu ilmiy maqolada Yangihayot tumanidagi grunt suvlarining mavsumiy o'zgarishlari tizimli tahlil qilindi. Olingan ma'lumotlar asosida quyidagi muhim xulosalarga kelindi:

[1] Grunt suvlarining sathi yil davomida sezilarli darajada o'zgaradi. Bahor va kuz mavsumlarida sathning ko'tarilishi kuzatildi, bu esa yog'ingarchilik va erigan qor suvlarining ta'siri bilan bog'liq.

[2] Yoz faslida suv sathi ancha pasaygan bo'lib, bu davrda bug'lanishning yuqoriligi va sug'orish ishlarining ko'pligi asosiy omil bo'lib xizmat qiladi.

[3] Suv sifati tahlili natijalari grunt suvlarining tarkibida ayrim mavsumlarda minerallashuv darajasining oshishi, ayniqsa bahor oylarida nitrat va tuz miqdorining ortishini ko'rsatdi.

[4] Hududda qishloq xo'jaligi faoliyatining intensivligi va notekis yer osti gidrogeologik sharoitlari grunt suvlarining miqdoriy va sifat ko'rsatkichlariga sezilarli ta'sir ko'rsatmoqda.

[5] Olingan natijalar grunt suvlaridan maqsadli foydalanish, shuningdek, suv zahiralari muhofaza qilish va monitoring qilish choralari ishlab chiqishda muhim ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi.

Shu asosda, Yangihayot tumanida grunt suvlarining ekologik holatini barqaror saqlash, suv resurslaridan oqilona foydalanish va mavsumiy monitoringni muntazam olib borish dolzarb vazifalar qatorida turadi.

Foydalanilgan adabiyotlar / References

[1] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining Farmoni, 11.09.2023 yildagi PF-158-son. "O'zbekiston — 2030" strategiyasi.

[2] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining Farmoni, 10.07.2020 yildagi PF-6024-son. O'zbekiston Respublikasi suv xo'jaligini rivojlantirishning 2020-2030-yillarga mo'ljallangan konsepsiyasini tasdiqlash to'g'risida

[3] Obidzhonov A., Babaev A. HYDRAULIC EFFICIENCY OF COATED AND UNCOATED OPEN CHANNELS //Universum: технические науки. — 2023. — №. 10-6 (115). — С. 64-68.

[4] Obidjonov, A., Ibadullayev, A., Babayev, A., & Chorshanbiyev, U. Kanallardan suyuqlikni sizib chiqish jarayonlarini modellashtirish //Вестник транспорта-Transport xabarnomasi. — 2025. — Т. 2. — №. 1. — С. 24-28.

[5] Obidjonov A.J., Babayev A.R., Kaxarov B.B., Raximov Q.T., Chorshanbiyev U.R. Asosi turli gruntli beton qoplamali kanallarda filtratsiya jarayonini aniqlash. Me'morchilik va qurilish muammolari, 2025 yil 1-son.

[6] Yavov A. U., Abdug'aniyev X. A. Kanallardagi suv isrofini kamaytirish usullari (Amu-qorako'l kanali misolida) //Экономика и социум. — 2024. — №. 12-2 (127). — С. 979-981.

[7] Mirzayeva F. Sh., Telegenova G. M. Sug'orish tarmoqlarining suv isrofi, foydali ish koeffitsientini oshirish chora-tadbirlari // Ilm — fan ta'limda innovatsion yondashuvlar, muammolar, taklif va yechimlar. — 2022. — B. 1-5.

[8] Давлетов Т.Г. Ирригация ва мелиорация. — Тошкент: "IQTISOD-MOLIYA", 2020.

[9] Пашаев Э. П. Ещё раз о коэффициенте полезного действия (КПД) оросительных систем //Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. — 2015. — №. 4. — С. 120-122.

[10] Колганов А. В., Косиченко Ю. М., Сляренко Е. О. Противофильтрационные облицовки каналов с использованием геосинтетических материалов //Мелиорация и гидротехника. — 2022. — Т. 12. — №. 3. — С. 210-226.

[11] Чернов М. А. Противофильтрационные конструкции каналов и водоемов с применением геомембран из полиэтилена высокого и низкого давления //Автореф.... канд. техн. наук. Новочеркасск. — 2011.

[12] Джианбаев С.В., Омонов М.Б. Фойдаланилган иккиламчи шина талқонининг техник шартлари ва унинг самарадорлигини баҳолаш усуллари. Me'morchilik va qurilish muammolari 2022 йил, №4 сон

[13] Янчевский В.А. Технология ремонта поврежденных шин Янчевский В.А. Автотранспортное предприятие. 2005. 6. 37-39.

Mualliflar haqida ma'lumot

U.V.Umarov Toshkent Davlat Transport universiteti muhandislik kommunikatsiyalari va tizimlari kafedrası dotsenti
Elektron pochta:
uchqunflving@gmail.com

Sh.Abduljalilov Toshkent davlat transport universiteti, O'zbekiston, Toshkent
E-mail:
abduljalilovfarrux5@gmail.com

Study of natural purification of drainage water in unlined ditches

U.V. Umarov¹, F.Sh. Abduljalilov¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: In this study, the possibilities of purification in natural conditions through streams without covering the contaminants contained in the drainage waters were studied. During the work, the impact of biological, physical and chemical processes occurring in open drainage channels on water quality indicators was analyzed. The results of the experiment showed that non-covering ditches interact with soil, microflora and plants, serving the natural purification of drainage waters. In particular, practical observations have revealed a significant reduction in organic matter, nitrogen and phosphorus compounds, suspension and other polluting components. The results of the study are important in the environmentally and economically efficient formation of drainage systems, in the Prevention of secondary pollution of water used in agriculture. At the same time, it is recommended to optimize, taking into account hydromorphological and environmental conditions, in order to enhance the natural cleaning process in non-coating ditches.

Keywords: grunt water, water turbidity, drainage water, non-covering ditches, natural purification, physical filtration, chemical absorption, biological activity, aquatic plants, nitrates, sorbic properties, environmental safety, water quality, natural filtration, microorganisms. general mineralization of water, color, alkalinity of water, drainage system, seasonal changes.

Drenaj suvlarini qoplamasiz ariqlarda tabiiy tozalanishi tadqiqi

Umarov U.V.¹, Abduljalilov F.Sh.¹

¹ Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Anotatsiya: Ushbu tadqiqotda drenaj suvlari tarkibidagi ifloslantiruvchi moddalarni qoplamasiz ariqlar orqali tabiiy sharoitda tozalash imkoniyatlari o'rganildi. Ish davomida ochiq drenaj kanallarida sodir bo'ladigan biologik, fizik va kimyoviy jarayonlarning suv sifati ko'rsatkichlariga ta'siri tahlil qilindi. Tajriba natijalari shuni ko'rsatdiki, qoplamasiz ariqlar tuproq, mikroflora va o'simliklar bilan o'zaro ta'sirda bo'lib, drenaj suvlarining tabiiy tozalanishiga xizmat qiladi. Xususan, amaliy kuzatuvlar natijasida organik moddalar, azot va fosfor birikmalari, suspenziya va boshqa ifloslantiruvchi komponentlarning sezilarli darajada kamayishi aniqlandi. Tadqiqot natijalari drenaj tizimlarini ekologik va iqtisodiy jihatdan samarali shakllantirishda, qishloq xo'jaligida foydalanilgan suvlarning ikkilamchi ifloslanishining oldini olishda muhim ahamiyatga ega. Shu bilan birga, qoplamasiz ariqlarda tabiiy tozalash jarayonini kuchaytirish uchun gidromorfologik va ekologik sharoitlarni hisobga olgan holda optimallashtirish tavsiya etiladi.

Kalit so'zlar: grunt suvlari, suvning loyqaligi, drenaj suvlari, qoplamasiz ariqlar, tabiiy tozalanish, fizikaviy filtrlash, kimyoviy yutilish, biologik faoliyat, suv o'simliklari, nitratlar, sorbsion xususiyatlar, ekologik xavfsizlik, suv sifati, tabiiy filtrlash, mikroorganizmlar. suvning umumiy minerallashtirish, suvning rangi, ishqoriyligi, drenaj tizimi, mavsumiy o'zgarishlar.

1. Kirish

Shaharlar va sanoat hududlarining jadal rivojlanishi, zamonaviy qurilish hajmining oshishi natijasida yer osti grunt suvlarining sathiga bo'lgan ta'sir ortib bormoqda. Ayniqsa, binolar poydevori ostida to'planadigan drenaj suvlar muhandislik-kommunikatsiya tizimlariga va binolarning mustahkamligiga jiddiy xavf tug'diradi. Shu bois, ko'plab hududlarda drenaj tizimlari orqali bu suvlar sirtga chiqariladi. Biroq, bu suvlar bevosita oqova kanalizatsiyaga yuborilmasdan, qoplamasiz ochiq ariqlar orqali tabiiy yo'nalishda oqiziladi.

Bu holat o'z navbatida suvning tabiiy tozalanishi — ya'ni fizik, kimyoviy va biologik jarayonlar orqali ifloslantiruvchi moddalar miqdorining kamayishi uchun muayyan imkoniyatlar yaratadi. Agar ushbu tozalash jarayonlari yetarli darajada samarali bo'lsa, drenaj suvlarini ichimlik uchun emas, lekin texnik maqsadlarda — masalan,

sanoat korxonalarida sovitish tizimlarida, tozalashda, yuvish yoki yashil hududlarni sug'orishda foydalanish mumkin bo'ladi. Bu esa bir tomondan yer osti suvlari bosimini kamaytirishga, ikkinchi tomondan esa texnik suvga bo'lgan ehtiyojni qoplashga xizmat qiladi.

Mazkur maqolada binolar ostidan chiqqan drenaj suvlarining qoplamasiz ariqlarda harakati davomida sodir bo'ladigan tabiiy tozalanish jarayonlari tahlil qilinadi. Tadqiqot natijalari asosida ushbu suvlarni texnik maqsadlarda foydalanish imkoniyati baholanadi.

Ushbu maqolaning asosiy maqsadi — Yangi hayot tumanidagi grunt suvlarining mavsumiy o'zgarishlarini aniqlash, ularning dinamikasini kuzatish va bu o'zgarishlarga ta'sir qiluvchi asosiy tabiiy hamda antropogen omillarni tahlil qilishdan iborat. Maqola quyidagi yo'nalishlarda ilmiy izlanish olib borishni ko'zda tutadi:

Grunt suvlarining yil davomida qanday o'zgarishi (ko'tarilishi yoki pasayishi) aniqlanadi;

Harorat, yog'ingarchilik, bug'lanish kabi iqlimiy omillarning grunt suvlariga ta'siri o'rganiladi;

1. Aholi sonining o'sishi, qurilish ishlari, sug'orish tizimlari kabi inson faoliyatining grunt suvlariga ta'siri baholanadi;

Mavsumiy o'zgarishlar asosida ekologik xavf-xatarlar va qurilishga oid tavsiyalar ishlab chiqiladi.



Shu orqali, tumandagi grunt suvlar monitoringini takomillashtirish, resurslardan barqaror foydalanish va tabiiy muhitni muhofaza qilishga doir ilmiy asoslangan tavsiyalar ishlab chiqiladi. Yangi hayot tumanining 8-9 chi hududlarining grunt suvlari o'rganib chiqildi. Natijada u yerda umumiy hisobda 70 ta drenaj tizimi mavjud ular orqali binolar tagida yig'ilgan grunt suvlari ular orqali kanalga chiqarib yuboriladi. Shuningdek, grunt suvlarining tarkibini baholash ularni ichimlik yoki texnik maqsadlarda foydalanish imkoniyatlarini ham aniqlashda muhim ahamiyatga ega. Ayniqsa Yangi hayot tumanidagi ko'plab sanoat korxonalari pastlikda joylashganligi sababli grunt suvlarini texnik suv sifatida yuborish imkoni yaxshi.

2. Metodlar

Aholi yashash hududlari va urbanizatsiya jarayonining kengayishi bilan bir qatorda, yer osti suvlarining ko'payishi va grunt suvlarining yuqori sathda joylashishi muammosi ham kuchaymoqda. Ko'plab binolar, ayniqsa sanoat va turar joy ob'ektlarining poydevori ostidan chiqayotgan drenaj suvlarini xavfsiz chiqarish muhim muammolardan biridir. Bu suvlar, odatda, maxsus drenaj tizimlari orqali ochiq, qoplamasiz ariqlarga yo'naltiriladi.

Ayrim holatlarda, ushbu suvlar oqova kanalizatsiya tizimlariga yoki tabiiy suv oqimlariga aralashib, atrof-muhitga zarar yetkazishi mumkin. Shu bilan birga, bu suvlarning sifati ko'p hollarda texnik maqsadlar uchun foydalanishga yaroqli bo'lishi mumkin. Biroq, ularning sifati bevosita tozalash mexanizmlariga bog'liq. Qoplamasiz ariqlar — beton yoki boshqa qattiq qoplamalarga ega bo'lmagan ochiq kanallar — orqali oqayotgan drenaj suvlar tabiiy muhit bilan bevosita aloqada bo'lib, shu orqali tabiiy filtrlash, kimyoviy yutilish va biologik tozalash jarayonlariga duch keladi. Ammo ushbu tabiiy tozalash

jarayonlarining real samaradorligi, ya'ni suvning tarkibidagi ifloslantiruvchi moddalar (nitratlar, loyqa, mikroorganizmlar va boshqalar) qay darajada kamayayotgani yetarlicha o'rganilmagan. Bu holat texnik suv sifatida foydalanishdan oldin suv sifatini aniqlashni va baholashni talab etadi. Shu nuqtai nazardan, ushbu tadqiqotda drenaj suvlarining qoplamasiz ariqlarda oqishi davomida ularning tarkibida yuz beradigan tabiiy tozalash jarayonlari o'rganiladi. Maqsad — tabiiy filtratsiya va yuvilish sharoitida drenaj suvlarining ekologik xavfsizligi va texnik foydalanish imkoniyatini baholashdir.

3. Natija va muhokamalar

Suv sathining mavsumiy o'zgarishi. Grunt suvlarining sathi yil davomida mavsumiy ravishda sezilarli o'zgarishga uchraydi. Bahor va erta yoz oylarida (mart–iyun) yog'ingarchilik va yerda erigan qor suvlari ta'sirida grunt suvlarining sathi ko'tariladi.

Bu davrda drenaj suvlarining hajmi ham keskin ortadi. Aksincha, yoz oxiri va kuz oylarida (avgust–noyabr) bug'lanish kuchayishi va yog'ingarchilikning kamayishi natijasida suv sathi pasayadi. Qish oylarida esa suv sathi



nisbatan barqarorlashadi, lekin ba'zan muzlash jarayonlari bilan bog'liq o'zgarishlar ham kuzatiladi.



Bahor oylarida grunt suv sathi o'rtacha 0.8-1 metrda qayd etildi.

Yozda suv sathi 0.6-0.9 metrga tushdi, bu bug'lanishning ortishi va yog'ingarchilikning kamayishi bilan izohlanadi. Kuz va qishda esa suv sathi yana 0.8-1 metr atrofida bo'ldi. Suv sifati ko'rsatkichlari. Umumiy mineralizatsiya. Eng yuqori qiymatlar yoz oylarida 0.349 mg/l. Bahorda esa minerallashtirish 0.486 mg/l. Tok o'tkazuvchanlikga keladigan bo'lsak, bahor oylarida 0.754 mk/cm yoz oylarida esa 0.658 mk/cm ko'rsatkichni oldik.



4. Xulosa

O'tkazilgan tadqiqotlar natijasida drenaj suvlari qoplamasiz ariqlar orqali tabiiy usulda muayyan darajada tozalanishi mumkinligi isbotlandi. Tajribalar shuni ko'rsatdiki, ochiq suvoq kanallari (ariqlar) biologik va fizik-kimyoviy jarayonlar orqali drenaj suvlaridagi asosiy ifloslantiruvchi moddalarning miqdorini sezilarli darajada kamaytiradi. Xususan, tabiiy filtrlovchi qatlamlar, mikroorganizmlar faolligi hamda quyosh nurlanishining ta'siri natijasida organik birikmalar, azot va fosfor birikmalari, suspenziya holdagi zarrachalar miqdori pasaydi. Tahlillar natijasi asosida qoplamasiz ariqlarda drenaj suvlari tabiiy tozalanish samaradorligi 40-70% gacha bo'lgan intervalda tozalanishi mumkin. Bu esa ushbu usul ekologik xavfsiz va nisbatan arzon muqobil tozalash usuli sifatida ko'rib chiqilishi mumkinligini ko'rsatadi. Shuningdek, qoplamasiz ariqlarning tuzilishi, o'simlik qoplami, tuproq tarkibi va suv oqimining tezligi kabi omillar tabiiy tozalanish darajasiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Ana shu omillarni hisobga olgan holda, kelgusida drenaj tizimlarini ekologik jihatdan optimallashtirish yo'llarini ishlab chiqish maqsadga muvofiq bo'ladi.

Foydalanilgan adabiyotlar / References

- [1] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining Farmoni, 11.09.2023 yildagi PF-158-son. "O'zbekiston — 2030" strategiyasi.
- [2] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining Farmoni, 10.07.2020 yildagi PF-6024-son. O'zbekiston Respublikasi suv xo'jaligini rivojlantirishning 2020-2030-yillarga mo'ljallangan konsepsiyasini tasdiqlash to'g'risida

[3] Obidzhonov A., Babaev A. HYDRAULIC EFFICIENCY OF COATED AND UNCOATED OPEN CHANNELS //Universum: технические науки. — 2023. — №. 10-6 (115). — С. 64-68.

[4] Obidjonov, A., Ibadullayev, A., Babayev, A., & Chorsanbiyev, U. Kanallardan suyuqlikni sizib chiqish jarayonlarini modellashtirish //Вестник транспорта-Transport xabarnomasi. — 2025. — Т. 2. — №. 1. — С. 24-28.

[5] Obidjonov A.J., Babayev A.R., Kaxarov B.B., Raximov Q.T., Chorsanbiyev U.R. Asosi turli gruntli beton qoplamali kanallarda filtratsiya jarayonini aniqlash. Me'morchilik va qurilish muammolari, 2025 yil 1-son.

[6] Yavov A. U., Abdug'aniyev X. A. Kanallardagi suv isrofini kamaytirish usullari (Amu-qorako'l kanali misolida) //Экономика и социум. — 2024. — №. 12-2 (127). — С. 979-981.

[7] Mirzayeva F. Sh., Telegenova G. M. Sug'orish tarmoqlarining suv isrofi, foydali ish koeffitsientini oshirish chora-tadbirlari // Ilm — fan ta'limda innovatsion yondashuvlar, muammolar, taklif va yechimlar. — 2022. — B. 1-5.

[8] Давлетов Т.Г. Ирригация в мелиорация. — Ташкент: "ИQTISOD-MOLIYA", 2020.

[9] Пашаев Э. П. Ещё раз о коэффициенте полезного действия (КПД) оросительных систем //Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. — 2015. — №. 4. — С. 120-122.

[10] Колганов А. В., Косиченко Ю. М., Скляренко Е. О. Противифльтрационные облицовки каналов с использованием геосинтетических материалов //Мелиорация и гидротехника. — 2022. — Т. 12. — №. 3. — С. 210-226.

[11] Чернов М. А. Противифльтрационные конструкции каналов и водоемов с применением геомембран из полиэтилена высокого и низкого давления //Автореф.... канд. техн. наук. Новочеркасск. — 2011.

[12] Джиянбаев С.В., Омонов М.Б. Фойдаланилган иккиламчи шина талқонининг техник шартлари ва унинг самарадорлигини баҳолаш усуллари. Me'morchilik va qurilish muammolari 2022 йил, №4 сон

[13] Янчевский В.А. Технология ремонта поврежденных шин Янчевский В.А. Автотранспортное предприятие. 2005. 6. 37-39.

Mualliflar haqida ma'lumot

U.V. Umarov Tashkent Davlat Transport universiteti muhandislik kommunikatsiyalari va tizimlari kafedrasida dotsenti
Elektron pochta:
uchqunflying@gmail.com

Sh. Abdujalilov Tashkent davlat transport universiteti, O'zbekiston, Tashkent
E-mail:
abdujalilovfarrux5@gmail.com

Methods of washing filters in wastewater systems and their effectiveness

K.R. Kuvondikov¹, N.T. Khudayberganova¹, G.R. Rikhsikhodjaeva¹, E. Khayrullaev¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: Filters used in industrial enterprises for wastewater treatment have become unusable due to long-term non-compliance with technical regulations and improper use during operation. This mainly involves the failure to wash, replace, and inspect installed filters in a timely manner. This article examines the solution to an effective method for washing filter cartridges. In the first experiment of the study, when the filters were washed with water at a temperature of 15-20 °C, the washing time was 16-25 minutes (long term). The solution to the above problem was the method of increasing the temperature in qualitative laboratory experiments. The results of this method show that it is very useful for washing oil and oil products and surfactants remaining in filter cartridges in high-temperature water. The reason is that at high temperatures, oil and oil products and surfactants melt and separate from the surfaces of filter cartridges, as a result, the washing coefficient of filter cartridges is higher than the washing coefficient with low-temperature water. It was proven that for the filter loads used in the article, changing the temperature of the wash water in counterflow conditions from the normal water temperature (15-20 °C) to a higher temperature (50-60 °C) reduces the filter washing time by a factor of 3.

Keywords: hanging particles, effluent, petroleum products, quartz sand, activated charcoal, activated bentonite, gravel, filter, filter loading.

Oqova suv tizimlarida filtrlarni yuvish usullari va ularning samaradorligi

Quvondiqov Q.R.¹, Xudayberganova N.T.¹, Rixsixodjayeva G.R.¹, Xayrullaev E.¹

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Sanoat korxonalarida oqova suvlarini tozalashda ishlatilayotgan filtrlar uzoq muddat davomida texnik qoidalarga amal qilinmasligi, ekspluatatsiya jarayonida to'g'ri foydalanilmasligi sababli ishlashga yaroqsiz xolga kelib qolgan. Bunda asosan o'rnatilgan filtrlarning o'z vaqtida yuvilmasligi, almashtirilmasligi va tekshirilmasligi o'rganildi. Mazkur maqolada yuklamali filtrlarni yuvishning samarali usulini echimi ko'rib chiqildi. Tadqiqotning birinchi tajribasida filtrlar 15-20 °S haroratli suv yordamida yuvilganda yuvish vaqti 16-25 daqiqa (uzoq muddat)ni tashkil qildi. YUqoridagi muammoning echimi sifatida laboratoriya tajribalarida haroratni oshirib borish usuli tanlandi. Bu usul natijasi shuni ko'rsatadiki, harorati yuqori suvlarda filtr yuklamalarida qolib ketgan neft-moy mahsulotlari va sirt faol moddalarni yuvishda judayam foydali hisoblanadi. Sababi yuqori haroratda neft-moy mahsulotlari va sirt faol moddalar erib filtr yuklamalari sirtlaridan ajraladi, natijada filtr yuklamalarni yuvilish koeffitsienti past haroratli suv bilan yuvilish koeffitsientidan yuqori bo'ladi. Maqolada qo'lanilgan filtr yuklamalari uchun teskari oqim sharoitida yuvish suvining haroratini oddiy suv harorati (15-20 °S)dan yuqori bo'lgan harorat (50-60 °S)ga almashtirilganda filtrlarni yuvish vaqti 3 barobarga qisqarishi isbotlandi.

Kalit so'zlar: muallaq zarralar, oqova suv, neft-moy mahsulotlari, kvarts qum, faollashtirilgan ko'mir, faollashtirilgan bentonit, shag'al, filtr, filtr yuklamasi.

1. Kirish

Suvni iste'moli ichimlik suvi, texnik suv, yong'inga qarshi foydalanish, sug'orish ishlari, obodonlashtirish ishlari uchun va boshqa maqsadlarda foydalaniladi. SHunga ko'ra suvni tozalash asosan uning qanday maqsadlarda ishlatilishiga qarab amalga oshiriladi. Sanoat korxonalari oqova suvlarining tozalanish usullari ularning zararlanganlik darajasiga va uni qayta ishlatilishiga, tabiatga yoki oqova suv tarmoqlariga oqizilishiga qarab tanlaniladi. Tozalash usullari mexanik, kimyoviy, fizik-kimyoviy, biologik va chuqur tozalash turlariga ajratiladi. Oqova suvlarni tozalash uchun tanlangan filtrlarni yuvish jarayoni filtr yuklamalarida to'planib qolgan muallaq moddalar, neft-yog' mahsulotlari va sirt faol moddalaridan tozalanishidan iborat. [2, 6, 7]

2. Masalaning qo'yilishi

Sanoat korxonalari oqova suvlarni tozalashda filtrlarning doimiy, uzoq muddat davomida to'xtovsiz ishlatilishi ularning filtrlash koeffitsientiga ta'sir ko'rsatadi. Sababi oqova suv tarkibidagi mayda zarrachalarning filtr yuklamalar g'ovaklarini to'ldirib qo'yadi. Buning natijasida oqova suvlar tarkibidagi zarralarni tutib qola olmaydi, yoki aksincha zarralarni tutib qolish bilan birgalikda oqova suvlarni o'tkazish tezligi kamayib ketadi. Buning echimi sifatida ikki usuldan birini tanlashga to'g'ri keladi: 1-usul filtrlarni almashtirish; 2-usul filtrlarni yuvish. Har safar filtr yuklamalari g'ovakdorligi to'lib qolganda ularni almashtiraverish xam resurs xam moddiy isrofgarchilikka olib keladi. Vaqti-vaqti bilan filtrlarni yuvish orqali yuklamalarining uzoq muddatli va ishonchli ishlashiga erishiladi. Filtrlarni yuvishda odatda oddiy toza suvlardan foydalaniladi. Qancha vaqt oraliq'ida filtr yuklamalari to'lib

yuvilishga ehtiyoj yuzaga keladi va ularni qancha vaqt davomida yuvish kerakligini aniqlash muammoning echimi xisoblanadi. [3, 8, 9]

Shu sababli mazkur maqolada filtr yuklamalrini yuvish vaqtini kamaytirish orqali filtrdan foydalanish samaradorligini oshirish masalasi ko'rib chiqilgan.

3. Yechish usuli

Tadqiqotni olib borish dastavval, kichik korxonalarda o'rnatilgan filtrlarni tozalash samaradorligi o'rganildi. Tadqiqot davomida Toshkent shahri va viloyatlarimiz hududlarida joylashgan kichik korxonalarda yumaloq kvars, faollashtirilgan ko'mir, faollashtirilgan bentanit, shag'al (mayda donali), shag'al (katta donali), sanoat chiqindisi bo'lgan rezina granularidan foydalanilgan xolda filtrlar o'rnatilgan. Kichik korxonalarning filtrlari almashtirilmaganligi va yuvilmaganligining natijasida oqova suvlari to'liq tozalanmasdan kanallarga yoki ariqlarga oqizilishi kuzatildi.

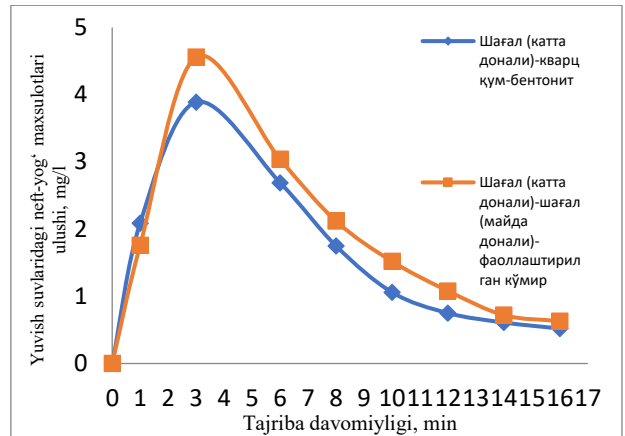
Tajribada o'rganilgan filtrlar muallaq moddalardan, sirt faol moddalardan, neft-yog' maxsulotlaridan tozalashga imkon beradi. Muallaq moddalar - qum, quriq moddalar, temir moddalar, yog'och qoldiqlari va shu kabi moddalar; sirt faol moddalar – soda, gel, sovun, shampun; neft-yog' mahsulotlari – kerosin, benzin, moylash mahsulotlari va boshqalar kiradi. Tajriba qurilmasi Toshkent davlat transport universiteti "Muhandislik kommunikatsiyalari va tizimlari" kafedrasining "GIDRAVLIKA" laboratoriyasidagi "Suv filtratsiyasi" qurilmasida amalga oshirildi.

Tozalash filtrining ishlash samaradorligi umuman suzuvchi filtr qatlamini yuvish jarayonining samaradorligiga bog'liq. YUvish suvining filtr maydoni bo'ylab notekis to'planishi va taqsimlanishi yukning mahalliy kengayishiga va kengaytirilgan polistirol granularining filtrdan tashqaridagi yuvish suvi bilan olib tashlanishiga olib kelishi mumkin. YUvish jarayonida donador qatlamning haddan tashqari kengayishi filtr korpusining balandligini va kapital qo'yilmalarni oshirishni talab qiladi. [11, 12, 14, 15, 18]

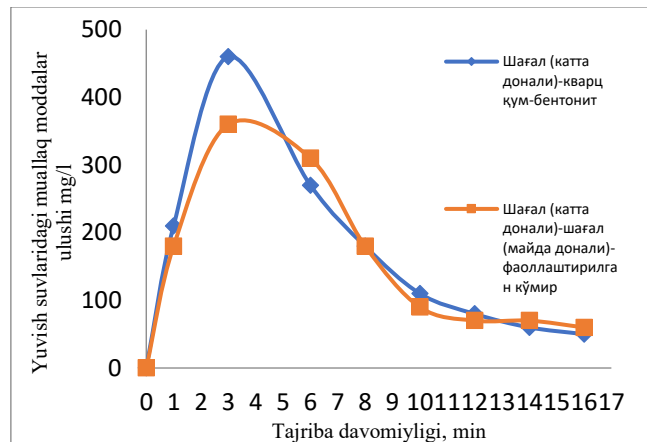
Filtrlarni suzuvchi yuk bilan yuvish filtr korpusining yuqoridagi filtr bo'shlig'idan yuvish suvining pastga tushishi bilan amalga oshiriladi. Suv harakatining past tezligida yukning granulari statsionar holatda bo'ladi. Donador muhitning teshiklaridan o'tadigan suv bosimi suv chegarasida - granular yuzasida paydo bo'ladigan ishqalanish kuchlarini engish uchun qisman yo'qoladi. Gidrodinamik bosim suvdagi yukning massasiga teng qiymatga tushganda, filtr qatlami kengayadi, uning g'ovakligi ortadi, granular ma'lum hajmda zich holatdan tasodifiy harakat holatiga o'tadi.

4. Natijalar va namunalar

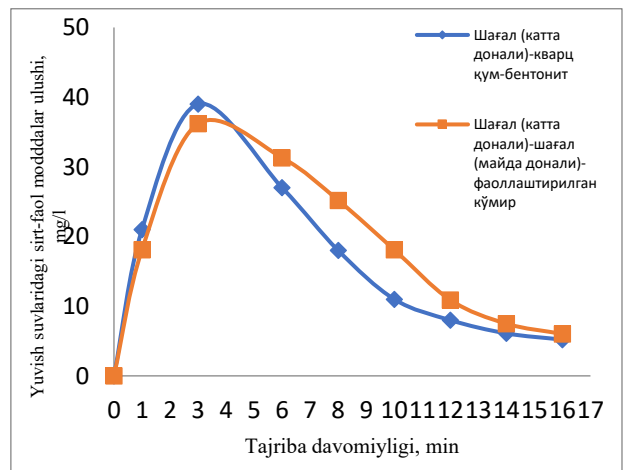
Ushbu tajribalar asosiy maqsadi filtr aylanish jarayonida hosil bo'lgan yukni yuvish samaradorligini o'rganish edi. Bunday samaradorlikni baholash mezonlari ifloslantiruvchi moddalarni yuvish darajasi bo'lib, bu yuvish davomida to'xtatilgan muallaq moddalar, neft-yog' maxsulotlar va sirt faol moddalarni yuvish suvi bilan olib tashlash bilan belgilanadi. Tajriba davomida xar 2 daqiqada tajriba suvidan namunalar olindi, bir filtrlash davri davomida yukning turli qatlamlarining ifloslanish darajasining asosiy xarakteristikasi sifatida uning ifloslanish qobiliyati quyidagicha aniqlanadi:



2-rasm. Yuvish suvlaridagi neft-yog' maxsulotlari ulushini vaqtga bog'liqlik grafigi



3-rasm. Yuvish suvlaridagi muallaq moddalarning ulushini vaqtga bog'liqlik grafigi

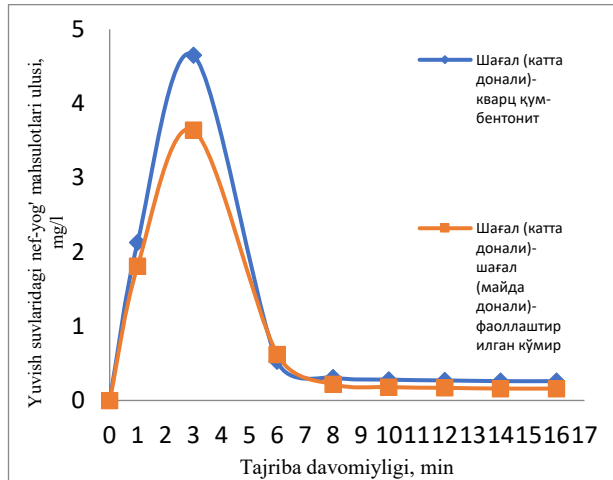


4-rasm. Yuvish suvlaridagi sirt faol moddalarning ulushini vaqtga bog'liqlik grafigi

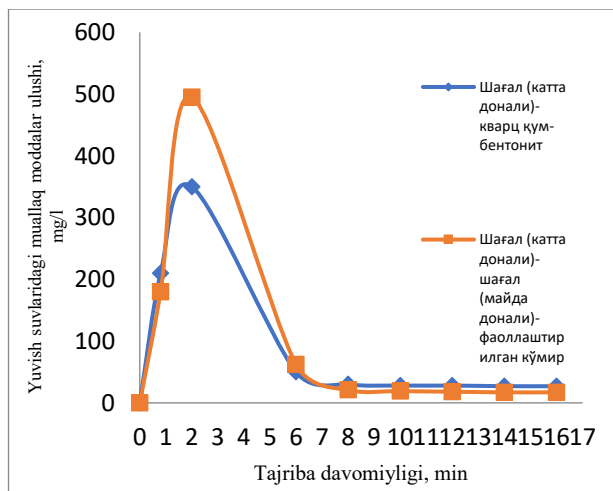
2-rasm, 3-rasm va 4-rasmlarda sanoat korxonalarda ishlatilayotgan filtrlar yani 1. SHag'al (katta donali)-kvars qum-bentonit, 2. SHag'al (katta donali)- shag'al (mayda donali)-faollashtirilgan ko'mir ikki xil turdagi filtrlarni xarorati 15-20 °S bo'lgan va q $\approx$ 15-18 l/sm² talab qilinadigan intensivlikni ta'minlagan holda filtrlarini yuvishda dastlabki bosqichida olingan filtr yuklamalari suv bilan yuvish jarayonini o'rganish natijalari shuni ko'rsatdiki,

dastlabki 2-4 daqiqada neft-yog' maxsulotlar, muallaq moddalar va sirt faol moddalarni maksimal yuvish chegarasiga etadi va vaqt o'tishi bilan 16-19 daqiqalarda yuvishning minimal chegarasini qayt etadi va o'zgaras xolga keladi. [10, 16, 19, 20], 24 soat davomida ishlaydigan sanoat korxonalaridagi oqova suvlarni filtrlash doimiy ravishda bo'ladi. Oqova suvlarni 72 soat (3 kun) davomida tozalagan filtrlar tozalash koeffitsienti kamayib ketadi.

Filtrlarni yuvishga ketadigan vaqt 20 daqiqaga etgani uchun uni kamaytirishimiz kerak.

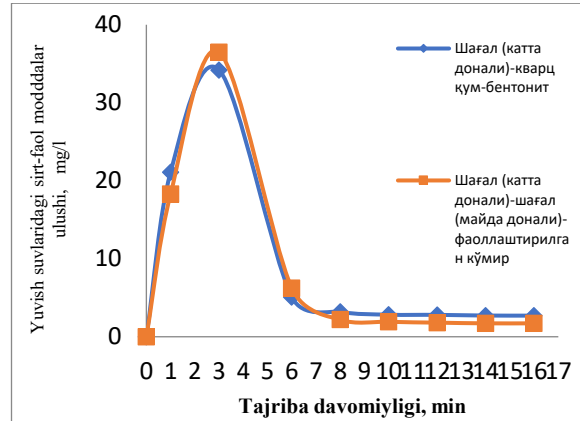


5-rasm. Yuvish suvlaridagi neft-yog' maxsulotlari ulushini vaqtga bog'liqlik grafigi



6-rasm. Yuvish suvlaridagi muallaq moddalarning ulushini vaqtga bog'liqlik grafigi

5-rasm, 6-rasm va 7-rasmlarda sanoat korxonalarida ishlatilayotgan filtrlar ya'ni 1. SHag'al (katta donali)-kvars qum-bentonit, 2. SHag'al (katta donali)- shag'al (mayda donali)-faollashtirilgan ko'mir ikki xil turdagi filtrlarni xarorati 50-60 °S bo'lgan va $q \approx 15-18 \text{ l/sm}^2$ talab qilinadigan intensivlikni ta'minlagan holda filtrlarini yuvishda dastlabki bosqichida olingan filtr yuklamalari suv bilan yuvish jarayonini o'rganish natijalari shuni ko'rsatdiki, dastlabki 2-4 daqiqada neft-yog' maxsulotlar, muallaq moddalar va sirt faol moddalarni maksimal yuvish chegarasiga etadi va vaqt o'tishi bilan 6-7 daqiqalarda yuvishning minimal chegarasini qayt etadi va o'zgaras xolga keladi.



7-rasm. Yuvish suvlaridagi sirt faol moddalarning ulushini vaqtga bog'liqlik grafigi

Shundan kelib chiqqan holda, keyingi tadqiqotlar uchun filtrlar yuvishning muqobil usuli sifatida filtrlarni yuqori xaroratda ya'ni 50-60 °S li suv bilan yuvilganda yuvilish davomiyligi 16-19 daqiqadan 6-7 daqiqaga kamaydi.

5. Xulosa

Tajribada qo'lanilgan filtrlarda sanoat korxonalaridan chiqqan oqova suvlarni yuqoridan pastgacha filtrlashda, ifloslantiruvchi moddalarning asosiy qismi yukning yuqori qo'pol taneli qatlamlarida to'planadi. SHu sababli, ulardagi ifloslantiruvchi moddalarni yuvish va ularni yuvish suvining pastga oqimi bilan mayda granularlarning butun yuk qatlami bo'ylab tashish samarasiz va tejamkor emas, ayniqsa suvning pastga siljishi jarayonida teskari oqim bo'lsa yuvish samaradorligini oshiradi.

Shuning uchun, qo'lanilgan filtrlar uchun teskari oqim sharoitida yuvish suvining xaroratini oddiy suv xarorati (15-20 °S)dan yuqori bo'lgan xarorat (50-60 °S)ga almashtirsak filtrlarni yuvish vaqti 3 barobarga qisqaradi.

Foydalanilgan adabiyotlar / References

- [1] Jurba M.G. Penopolistirolnye filtry. M., Stroyizdat, 1991.
- [2] SanPiN № 0056-96. Gigienicheskie kriterii kachestva pitevoy vody. Tashkent. 1996 g.
- [3] Kanalizatsiya. Narujnye seti i soorujeniya. KMK 2.04.03-19. Goskomarxitektstroy RUz. T.: 2019. - 115 s.
- [4] U.Baxramov, U.V.Umarov, A.J.Obidzhonov. Simulation of engineering networks and assessment of the accuracy of the mathematical model. "Construction Mechanics, Hydraulics & Water Resources Engineering" (CONMECHYDRO 2021) byli opublikovany v 264-on nomere jurnala E3S Web of Conferences 02.06.2021 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126403013>
- [5] Arifjanov, A., Rakhimov, K., Abduraimova, D., Babaev, A., Melikuziyev, S. Hydrotransport of river sediments in hydroelelators. (2020) IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 869 (7). DOI: 10.1088/1757-899X/869/7/072003
- [6] Kanalizatsiya. Narujnye seti i soorujeniya. KMK 2.04.03-19. Goskomarxitektstroy RUz. T.: 2019. - 115 s.

[7] O vode i vodopolzovanii - Zakon Respubliki Uzbekistan. Postanovlenie Verxovnogo Soveta Respubliki Uzbekistan № 837- XII ot 06.05.1993 g. (v red. № 568-II ot 12.12.2003 g.)

[8] Jurba M.G., Govorova J.M. Tekhnologicheskie i konstruktivnye resheniya v oblasti ochistki poverxnostnogo stoka s primeneniem osvetlitelno-sorbtsionnykh filtrov. / Sb. nauchnykh tru- dov. Proekty razvitiya infrastruktury goroda. Vyp. 6. Ekologicheskie aspekty inzhenernoy infrastruktury. M., Izdatelstvo Prima-Press-M, 2006. s. 105-112.

[9] Kichigin V.I., Vykov P.G. Issledovanie fiziko-khimicheskikh karakteristik poverxnostnogo stoka naselennykh punktov // Vodostablenie i san. tekhnika. 2002, № 11, s. 28-32.

[10] Aybek Arifjanov, Uchqun Umarov, Dinara Umarova. Avtotransport vositalarini yuvish shahobchalari oqova suvlarini lokal tozalash inshootlarining tindingichlarini gidravlik tajriba qurilmasilastirish. Tekhnika fanlari. 5-jild, 2-son. Tadqiqot uz. ISSN 2181-9696, Doi Journal 10.26739/2181-9696, <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.0000000>

[11] Aybek Arifjanov, Uchqun Umarov, Akmal Abdullayev. Resource-building structures hydraulic account for treatment of vehicle washing stations wastewater. "Construction Mechanics, Hydraulics & Water Resources Engineering" (CONMECHYDRO 2021) byli opublikovany v 264-om nomere jurnala E3S Web of Conferences, 02.06.2021 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126403013>

[12] Ivanov V.G., Chernikov N.A. Vodootvodyaniye sistemy promyshlennykh predpriyatiy. SPb.: OOO «Izdatelstvo «OM-Press». 2007. - 244 s.

[13] A.Arifjanov, U.Umarov and A.Abdullayev «Resource-building structures hydraulic account for treatment of vehicle» E3S Web of Conferences 264, 03013 (2021) CONMECHYDRO - 2021. -264, 2021-yil. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126403013> washing stations wastewater

[14] Rekomendatsii po raschetu sistem sbora, otvedeniya i ochistki poverxnostnogo stoka s seliteb- nyy territoriy, ploshadok predpriyatiy i opredeleniyu usloviy vypuska ego v vodnye ob'ekty. M., VNII VODGEO, 2006.

[15] Chorshanbiev U.R., Ibadullaev A., Babaev A.R. «MODIFICATION OF DISPERSED SYSTEMS AND ITS EFFECT OF THE INTERNAL CORROSION OF HYDROTRANSPORTS» 1-ya mejdunarodnaya nauchnaya konferensiya «Sovremennoe materialovedenie: aktualnye problemy, dostizhenii i innovatsii». -2022, 2022-yil. "Modern Materials Science: Topical Issues, Achievements and Innovations" (ISCMMSTIAI-2022)

[16] A.Ibadullaeva, E.Teshabayeva, B.Kakharovc, A.Babaev «Elastomeric materials based on new ingredients» ISPPMS -2021. -11, 2022-yil. rubber, filler, modification, dispersity, rheology, plasticity, adsorption, elastomers, technical properties.

[17] A.Arifjanov1, K.Rakhimov1, D.Abduraimova1, A.Babaev2 and S.Melikuziyev1«Hydrotransport of river sediments in hydroelelators» IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 869 (2020) 072003. -7, 2020-yil. doi:10.1088/1757-899X/869/7/072003

[18] Chorshanbiyev U.R., Rixsixodjayeva G.R., Quvondiqov Q.R., Esanmurodov Sh.V Gidrottransport tizimlaridagi adgezian dispers sistemalarni modifikatsiyalash orqali kamaytirish "Zamonaviy muhandislik kommunikatsiya tizimlari va avtomobil yo'llari infrastrukturasidagi dolzarb muammolar" mavzusida Respublika miqyosidagi ilmiy-amaliy konferensiya to'plami. Namangan 18-19 noyabr 2022 yil, 44-45 b.

[19] Askar Ruzibadalovich Babaev «Opreделение gidravlicheskih parametrov gidrotransporta v napornyy truboprovodax» monografiya pokonferencyjna. -3, 2019-yil. Science, research, development #18

[20] K.Rakhimov, A.Babaev, U.Chorshanbiev, and A.Obidjonov «Modification of dispersion systems and its motion in cylindrical pipes» E3S Web of Conferences 264, 03026 (2021) CONMECHYDRO - 2021. -264, 2021-yil. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126403026>

Mualiflar haqida ma'lumot

Quvondiqov Quvonchbek Ro'zimurod o'g'li	Toshkent davlat transport universiteti, Phd dotsent E-mail: quvondiqovqamar@gmail.com https://orcid.org/0000-0001-6896-5990
Xudayberganova Nagima Turdibayevna	2Toshkent davlat transport universiteti, Phd dotsent E-mail: khmt90@mail.ru https://orcid.org/0009-0009-3365-5146
Rixsixodjaeva Gulchexra Rashidxodjayevna	Toshkent davlat transport universiteti, assistant E-mail: gulchexrarr@gmail.com https://orcid.org/0000-0003-2438-1939
Elnur Xayrullaev Fayzulla o'g'li	Toshkent davlat transport universiteti, assistant E-mail: elnurxayrullayev@gmail.com https://orcid.org/0000-0000-0000-0000

Analyses on local kyzilkum sand for water filter loading

M.Kh. Ruzibaeva¹, U.V. Umarov¹, A.N. Rizaev¹, U. Bakhramov¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

²“O‘zsuvta’minot” JC, Uzbekistan, Tashkent

Abstract: This article discusses the consequences of the depletion of drinking water, one of the urgent problems of today, and solutions to the problem, improving water quality through filtration, the productive use of local Kyzylkum sand as a method of reuse, the difference between Kyzylkum sand and other local raw materials, the effectiveness of water filtered through Kyzylkum sand (especially black sand), the issue of wastewater and technical water purification and recycling from this sand. An experiment was conducted based on Darcy's law and a device was built based on this law. The work being done in developed countries in this regard, their significance, and practical application were discussed. The results of the analyzes and experiments conducted using the V1100 spectrophotometer and TDS&EC testers are presented in the form of tables, figures, and diagrams.

Keywords: Kyzylkum sand, Darcy's law, hydraulic gradient, filtration coefficient, head loss, initial water, wastewater, filtration, filter load, distilled water.

Suv filtrlari yuklamasi uchun mahalliy qizilqum qumidagi tahlillar

Ruzibayeva M.X.¹, Umarov U.V.¹, Rizayev A.N.¹, Baxramov U.¹

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O‘zbekiston

²“O‘zsuvta’minot” JC, O‘zbekistan, Toshkent

Annotatsiya: Ushbu maqolada bugungi kunning dolzarb muammolaridan biri bo‘lgan ichimlik suvining kamayishi oqibatlarini va muammoning yechimlari, filtrlash orqali suv sifatini yaxshilash, qayta foydalanishning usullari sifatida mahalliy Qizilqum qumidan unimli foydalanish, Qizilqum qumining boshqa mahalliy xom ashyolardan farqi, (xususan qora qum) Qizilqum qumi orqali filtrlangan suv samaradorligi masalasi, ushbu qumdan oqova va texnik suvni tozalash va qayta ishlash masalasi yuzasidan muhokamalar olib borildi. Darsi qonuni asosida tajriba o‘tkazildi va ushbu qonun asosida qurilma yasaldi. Bu boradagi rivojlangan mamlakatlarda olib borilayotgan ishlar, ularning ahamiyati, hayotga taqbiqi muhokama qilindi. V1100 spektrofotometri va TDS&EC testerlari yordamida o‘tkazilgan tahlillar va tajriba natijalari jadvallar, rasmlar va diagrammalar ko‘rinishida berildi

Kalit so‘zlar: Qizilqum qumi, Darsi qonuni, gidravlik nishablik, filtratsiya koeffitsiyenti, napor yo‘qotilishi, boshlang‘ich suv, oqova suv, filtratsiya, filtr yuklamasi, distillangan suv

1. Kirish

Statistik ma’lumotlarga qaraganda, keyingi 10 yillikda Markaziy Osiyo mamlakatlarida ichimlik suvining kamayishi oqibatida, iqlim o‘zgarishi, insoniyatning kundan-kunga oshishi, aholiga kundalik xizmat ko‘rsatishni yaxshilash va boshqa bir qancha boshqa omillar uning narxi keskin ravishda ko‘tarilishiga olib kelishi mumkin. Lekin shunga qaramasdan, ichimlik suvi kamayishining oldini olish, iloji boricha suvdan unimli foydalanish, qayta ishlashga tayyorlash, aholi salomatligi va yashash qulayligini oshirish, ichimlik suvining aholiga yetkazilishida narxning oshmasligi, oqova va texnik suvni qayta ishlash natijasida ichimlik suvini tejash masalalari ham muhim hisoblanadi. Bu muammoni hal qilish uchun sanoat va oqova suvni keng qamrovli tarzda tozalash, filtr orqali aholi salomatligi uchun xavfli bo‘lgan ortiqcha moddalardan xalos qilish va yana ichimlik suvini davlat standartlariga mos ravishda yaroqli holatga keltirish kabi murakkab bosqichlardan iborat bo‘ladi. Filtratsiya bu suyuqlikning (masalan: suv, yog‘ yoki gidrovlik suyuqlik) filtr orqali o‘tib, ichidagi zarrachalar (masalan: bakteriyalar, parazitlar, ba’zibir metall parchalari va boshqalar) ushlab qoluvchi jarayondir. [1,2,3]

Dunyoning ko‘pgina rivojlangan mamlakatlarida shunga o‘xshash amaliy va ilmiy ishlar olib borilmoqda. Bunga sabab qilib, butun dunyoda bo‘layotgan suvga bo‘lgan ehtiyojning ortishini aytish mumkin. Masalan: Hindistonda kam ta’minlangan yoki chekka hududlarida tannarxi arzon, sifatli va samarali suv tozalash usullari bo‘yicha, mahalliy va tabiiy materiallar asosida filtratsiya (masalan qum, ko‘mir, keramika) ustida amaliy ishlar olib borilyapdi. Xitoyda esa, sanoat chiqindilaridan ifloslangan suvlarni tozalash, oqova suvlarni qayta ishlash, bu ifloslangan suv sifatini yaxshilash va qayta foydalanishga katta e’tibor qaratilyapdi. Pekinda oqova va texnik suvni tozalash va qayta foydalanish tizimlarini rivojlantirish va hayotga tadbqiq qilish, nafaqat bu ilmiy ishlar Xitoy aholisi uchun, balki butun dunyo bo‘ylab bu tajribani yetkazish bo‘yicha keng qamrovli ishlar olib borilmoqda. Suvni qayta ishlash va tozalash hajmi: Pekinda har kuniga 2023-yil oxirlariga kelib 7,5 million m³/kun oqova suv tozalangan, 2024-yilda bu ko‘rsatgich 8 millilon m³/kun va 2025-yilning ikkinchi yarmiga kelib esa bu ko‘rsatgich qariyb 9 million m³/kunni tashkil qilishi rejalashtirilmoqda.[5,9,13]

2. Metodlar

G.Darsi suyuqliklarning g'ovak muhitdagi filtratsiya qonunini tajriba asosida o'rgandi. O'zgaras kesimli vertikal idishning ichi qum bilan to'ldirilgan bo'lib, undan bosim farqlarining o'zgaras qiymatlarida suv o'tkaziladi. Qum qatlamlari qalinliklari, ularning fraksion tuzilishi (zarracha kattaliklari) va bosim farqlari har bir tajribalarda turlicha natijalarni qayd qildi. Darsi tajriba sharoitida oqib o'tayotgan suv sarfining napor yo'qolishiga bog'liqligini ko'rsatadi, ya'ni [8,9,11,12]:

$$Q = k_f \cdot \omega \cdot (\Delta H / L) \quad \text{yoki} \quad Q = k_f \cdot \omega \cdot I \quad (1)$$

Bu yerda: Q- suyuqlikning filtratsiya sarfi; k_f -filtratsiya ko'effitsiyenti (ya'ni suyuqlik xossasini μ , ρ - suyuqlikning dinamik qovushqoqligi va jinsning filtratsiya xossasi/o'tkazuvchanligi hisobga oladi). ω - filtratsiya yuzasi; ΔH - napor yo'qolishi va I- gidravlik nishablik.

Darsi qonuni suyuqlik filtratsiya sarfining filtratsiya yuzasiga, gidravlik nishablikka va filtratsiya ko'effitsientiga to'g'ri proporsionaldir.

Filtratsiya ko'effitsiyenti jinsning va suyuqlikning xossasiga bog'liq bo'lib, gidrotexnik inshootlarda, ya'ni faqat suv bilan bog'liq hisoblarda ishlatiladi.

3. Natija va muhokamalar

Tajriba ishining maqsadi qumli gruntida xususan Qizilqum qumini filtratsiya uchun Darsi qonunida tekshirish. Tajriba davomida Qizilqum qumini filtr sifatida foydalanish, bu mahalliy qumlarning sanoat va oqova suvlarini (xususan Bo'zsuv kanali suvi) tozalashda ishlatish, natijalarni tahlil qilish va solishtirish kabi ishlar amalga oshirildi. Darsi qonunini qo'llagan holda, silindrsimon idish tanlab olib, 17 cm qalinlikda qum yuklamasi to'ldirildi. Qum qatlamining eng yuqori nuqtasiga birinchi pezometr o'rnatildi. Undan 4 cm pastda ikkinchi pezometr, ikkinchi pezometrdan 5 cm pastda uchinchisi o'rnatildi. Filtr yuklamasining eng quyi qismiga to'rtinchi pezometr o'rnatildi. Ushbu tajribada Qizilqum qumidan foydalanildi: (1-rasm)



1-rasm. Qizilqum qumi namunasi

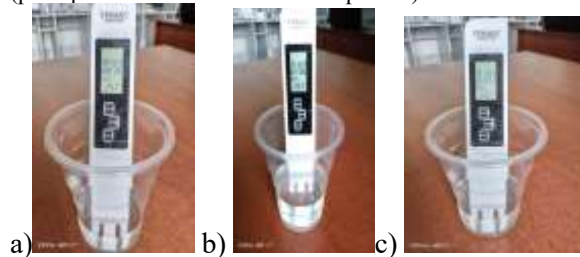
Bu tajriba 4 marta turli xil vaqt intervallarida filtratsiya ko'effitsiyentini hisoblab ko'rildi. Tajribada turli vaqt intervallari bo'yicha suv oqizildi va pezometr ko'rsatgichlari ham turlicha ko'rsatgichlarni tashkil qildi.

Bu yerda Q-suyuqlik filtratsiya sarfi, W-sizib o'tgan suv sarfi, ω - ko'ndalang kesim yuzasi, h_1 , h_2 , h_3 va h_4 -pezometr ko'rsatgichlari, k_{f1} , k_{f2} va k_{f3} -filtratsiya ko'effitsientlari, T-vaqt. Tajriba qurilmasining ko'rinishi 2-rasmda keltirilgan. TDS & EC o'lchagich yordamida amalga oshirildi. TDS (Total Dissolved Solids) – umumiy erigan qattiq modda. Bu qurilma suvda eritilgan barcha qattiq moddalarning (tuzlar, minerallar, metall ionlari) umumiy miqdorini o'lchaydi.



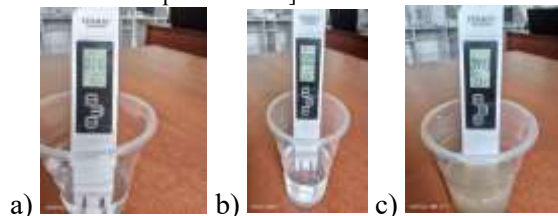
2-rasm. Qizilqum qumida o'tkazilgan tajriba namunasi

TDS & EC markali tester tahlillari asosida olingan tajriba natijalari: O'lchov quyidagicha qiymatlarni ko'rsatdi. PPM (parts per million - milliondan bir qismlar).



3-rasm. Filtrlangan suvning TDS&EC testeridagi tahlillari. a- distillangan suv, b - Qizilqum qumi orqali sizib o'tgan suv va c - Bo'zsuv kanali suvi

Keyingi natijalarimiz elektr o'tkazuvchanlik (Electrical Conductivity). Ya'ni suvdagi ionlarning (zaryadlangan zarrachalar) o'tkazuvchanligini o'lchaydi. [$\mu\text{S}/\text{cm}$ -mikrosienmens per sentimetr]



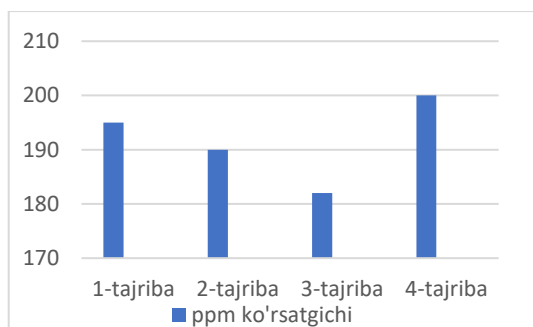
4-rasm. Filtrlangan suvning TDS&EC testeridagi elektr o'tkazuvchanlik hisoblari. a- distillangan suv, b - Qizilqum qumi orqali sizib o'tgan suv va c - Bo'zsuv kanali suvi

Loyqalish – bu suyuqlik, ayniqsa suv, tarkibida erimaydigan qattiq zarralar (tuproq, qum, chang, loy va boshqalar) aralashgan holatidir. Bu holatda suv shaffofligi yo'qoladi va xira yoki loyqa ko'rinishga ega bo'ladi. Loyqalanish ta'sirida ichimlik suvi sifati yamonlashadi.

1-jadval

Qizilqum qumining ustida amalga oshirilgan tajriba hisoblari

№	ppm ₀	T, s	W, l	ω, m ²	h ₁ ,m	h ₂ ,m	h ₃ ,m	h ₄ ,m	k _{f1} ,m/s ²	k _{f2} ,m/s ²	k _{f3} ,m/s ²	ppm
1	308	240	220	5,024·10 ⁻³	0,16	0,13	0,12	0,05	0,05	0,2	0,12	159
2	308	270	300		0,16	0,13	0,12	0,04	0,06	0,25	0,04	152
3	308	300	450		0,13	0,1	0,11	0,05	0,18	0,35	0,1	180
4	308	360	650		0,16	0,13	0,11	0,04	0,1	0,16	0,04	200



5-rasm. Filtrlangan suvning TDS&EC testerdagi tahlillari

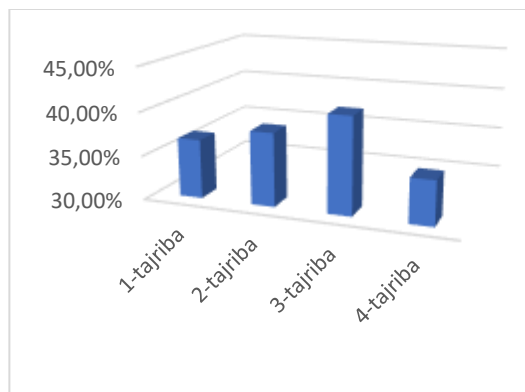
$$C_1 = 100\% \cdot \frac{C_1 - C_2}{C_1} = 100\% \cdot \frac{308 - 159}{308} = 48,3\%$$

$$C_2 = 100\% \cdot \frac{C_1 - C_2}{C_1} = 100\% \cdot \frac{308 - 152}{308} = 50,6\%$$

$$C_3 = 100\% \cdot \frac{C_1 - C_2}{C_1} = 100\% \cdot \frac{308 - 180}{308} = 41,5\%$$

$$C_4 = 100\% \cdot \frac{C_1 - C_2}{C_1} = 100\% \cdot \frac{308 - 165}{308} = 46,4\%$$

Shu qalindagi Qizilqum qum qatlami o'rtacha tozalash samaradorligi Co_{rt} = 46,7% tashkil qiladi.



6-rasm. 17 cm li qora qumning tozalash samaradorligi

Spektrofotometr - bu turli xil elektromagnit nurlanishlar: ko'rinadigan, infraqizil, ultrabinafsha nurlar yordamida eritmalar va moddalarning yutilish, uzatish, optik zichlik va konsentratsiya darajasining spektral bog'liqligini o'lchash uchun zarur bo'lgan yuqori texnologiyali qurilma.

Spektrofotometr V1100 suvning quyidagi ko'rsatkichlarini aniqlash uchun foydalanish mumkin: pH, tok o'tkazuvchanlik, DO o'lchagich, LON o'lchagich, loyqalik, kolorimetr va COD va boshqalar.

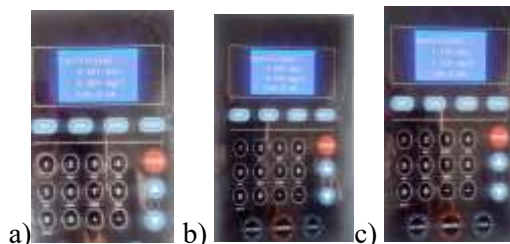


3-rasm Tajribada foydalanilgan V1100 markali spektrofotometr ko'rinishi

Tajriba natijalarini Spektrofotometr yordamida tahlil qilindi. Tahlil qurilmasiga ketma-ketligini saqlagan holda distillangan suv, Qizilqum qumidan sizib o'tgan suv va boshlang'ich suv (Bo'zsuv kanali suvi) olindi.

2- jadval

№	Tajriba uchun ishlatilgan suv	Spektrofotometr ko'rsatgichi (mg/l)
1	Distillangan suv	0,001
2	Qizilqum qumidan sizib o'tgan suv	0,008
3	Bo'zsuv kanali suvi	1,234



3-rasm Spektrofotometrda olingan tahlillar a) Distillangan suv a- distillangan suv, b- Qizilqum qumi orqali sizib o'tgan suv va c-Bo'zsuv kanali suvi

4. Xulosa

Ushbu tadqiqot maqsadi shundan iboratki, mahalliy qum xususan Qizilqumi qumi asosida ifloslangan texnik suvni va oqova suvini qayta ishlashga, foydalanishga yaroqli holatga keltirish va filtratsiya jarayonining muqobilini va o'rni bosuvchi va qulay qurilma ishlab chiqishdir. Bu ishlab chiqarilgan filtrlovchi qurilma asosida aholiga qulaylik yaratish va ichimlik suvi tannarxini va xarajatlarni kamaytirish, aholiga qulayliklar yaratish, xizmat ko'rsatish sifatini yaxshilash va hayotga tadbir qilishdan iborat bo'ladi. Suvdagi to'xtatilgan moddalarni tozalash uchun filtr xom ashyosi sifatida sanoat chiqindilarini Qizilqum qumidan foydalanish yuqori tozalash indeksiga va arzon narxga ega bo'ladi. Tajriba natijalari shuni ko'rsatadiki, TDS & EC testerida ppm qiymatlari olinganda Qizilqum qumi -150, elektr o'tkazuvchanligi -300 ga Spektrofotometrda ko'rsatkichlar esa -0,008 mg/l ga teng ekanini ko'rish mumkin. Demak xulosa shuki, Qizilqum qumi texnik va oqova suvini tozalashda samarali vosita ekan. [10,12].

Foydalanilgan adabiyotlar / References

- [1] Alfieri, L., Bisselink, B., Dottori, F., Naumann, G., de Roo, A., Salamon, P., Wyser, K., & Feyen, L. (2017). Global projections of river flood risk in a warmer world. *Earth's Future*, 5(2), 171–182. <https://doi.org/10.1002/2016EF000485>
- [2] Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–975. <https://doi.org/10.1016/J.JOI.2017.08.007>
- [3] Baldi, M., Amin, D., Al Zayed, I. S., & Dalu, G. (2020). Climatology and Dynamical Evolution of Extreme Rainfall Events in the Sinai Peninsula-Egypt. *SUSTAINABILITY*, 12(15). <https://doi.org/10.3390/su12156186>
- [4] Ben Moshe, L., & Lensky, N. G. (2024). Geomorphological Response of Alluvial Streams to Flood Events during Base-Level Lowering: Insights from Drone-Based Photogrammetric Surveys in Dead Sea Tributaries. *REMOTE SENSING*, 16(8). <https://doi.org/10.3390/rs16081346>
- [5] Botai, C. M., Botai, J. O., Zwane, N. N., Hayombe, P., Wamiti, E. K., Makgoale, T., Murambadoro, M. D., Adeola, A. M., Ncongwane, K. P., de Wit, J. P., Mengistu, M. G., & Tazvinga, H. (2020). Hydroclimatic Extremes in the Limpopo River Basin, South Africa, under Changing Climate. *WATER*, 12(12). <https://doi.org/10.3390/w12123299>
- [6] Duan, L., Liu, C., Xu, H., Pan, H., Liu, H., Yan, X., Liu, T., Yang, Z., Liu, G., Dai, X., Zhang, D., Fu, X., Liu, X., & Lu, H. (2022). Susceptibility Assessment of Flash Floods: A Bibliometrics Analysis and Review. *Remote Sensing*, 14(21), 1–34. <https://doi.org/10.3390/rs14215432>
- [7] Garner, G., Van Loon, A. F., Prudhomme, C., & Hannah, D. M. (2015). Hydroclimatology of extreme river flows. *FRESHWATER BIOLOGY*, 60(12, SI), 2461–2476. <https://doi.org/10.1111/fwb.12667>

[8] У.Умаров, А.Бабаев «Махаллий хом-ашёлардан тайёрланган филтрларни ювиш» Scientific impulse 2003 й.

[9])Hamidov M.X. Shukurlayev X.I. Mamataliyev A.B. «Qishloq xo'jaligi gidrotexnika melioratsiyasi» Toshkent 2009 y.

[10] 3)N.N. Maxmudov, M.A.Tursunov, S.S.Eshev, X.B.Asadova «Yer osti gidrovlikasi» Toshkent 2015 y.

[11] 4) Uchqun Umarov, Aybek Arifjanov, Abdumalik Rizayev, Dinara Umarova «Mathematical modeling of wastewater treatment facilities of transport enterprises »E3S Web of Conference 2023

[12] 5) Uchqun Umarov Quvonchbek Quvondiqov, Axror Obidjonov, Askar Babaev ,and Otabek Ochilidiev «Selecting wastewater treatment filters using local raw materials» E3S Web of Conference 2023

[13] Proven, sustainable water and wastewater treatment solutions are Stopping Nutrient Pollution around the globe <https://wastewater.com/ifat2024pr/>

Mualiflar haqida ma'lumot

Ruzibayeva M.X.	Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston E-mail: markhaboruzibayeva@gmail.com 0000-0002-9730-4830
Umarov U.V	Toshkent Davlat Transport universiteti muhandislik kommunikatsiyalari va tizimlari kafedrası dotsenti Elektron pochta: uchqunflying@gmail.com 0000-0001-5045-8288
Rizayev A.N	Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston 0000-0002-9730-4830
Baxramov U.	Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston 0000-0001-5045-8288

Possibilities of using local raw material - black sand for water purification filters

M.X. Ruzibaeva¹, U.V. Umarov¹, A.N. Rizaev¹, U. Bakhramov¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: In this article, in order to create good conditions for the population in Uzbekistan, including the need for drinking water: population growth, urbanization, climate change, and other problems, experimental work was carried out on local sand, including black sand. It was stated that this sand filtration device can retain unnecessary substances in water that are harmful to human health and make water reusable. Methodologically, an attempt was made to achieve a new approach to the problem based on literature analysis, practical analysis, and the formula for the dependence of filtration speed on hydraulic gradient developed by Darcy. Water that leaked from black sand was analyzed using a TDS&EC tester and a spectrophotometer. These analyses are presented in tables and diagrams.

Keywords: Black sand, Darcy's law, Bozsuv canal water, distilled water, filtered water

Suv tozalovchi filtrlar yuklamasi uchun mahalliy xom ashyo - qora qumdan foydalanish imkoniyatlari

Ruzibayeva M.X.¹, Umarov U.V.¹, Rizayev A.N.¹, Baxramov U.¹

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Mazkur maqolada O'zbekiston sharoitida aholi uchun yaxshi sharoitlar yaratish jumladan, ichimlik suviga bo'lgan ehtiyojning oshishi: aholi sonining ortishi, shaharlashuv, iqlim o'zgarishi kabi muammolarni bartaraf etish uchun, mahalliy qum jumladan qora qum ustida tajriba –sinov ishlari olib borildi. Ushbu qum filtratsiya qurilmasida inson salomatligi uchun zarali bo'lgan suv tarkibidagi keraksiz moddalarni ushlab qolib, suvni qayta foydalanishga yaroqli holatga keltirish mumkinligi keltirib o'tilgan. Uslubiy jihatdan, adabiyotlar tahlili, amaliy tahlillar va Darsining tamonidan ishlab chiqilgan, filtratsiya tezligining gidrovlik nishablikka bog'liqlik formulasi asosida masalaga yangicha yondoshuvga erishishga harakat qilindi. TDS&EC testeri va Spektrofotometr yordamida qora qumdan sizib o'tgan suvni tahlil qilindi. Ushbu tahlillar jadvallar va diagrammalar orqali ko'rsatib o'tilgan.

Kalit so'zlar: Qora qum, Darsi qonuni, Bo'zsuv kanali suvi, distillangan suv, filtrlangan suv

1. Kirish

Ko'plab mamlakatlarda bo'lagani kabi, O'zbekistonda ham aholi soni kundan-kunga ortmoqda. Bu holat o'z-o'zidan kundalik suvga bo'lgan ehtiyojning oshishiga olib keladi. Bundan tashqari, aholiga sifatli xizmat ko'rsatish, hayotiy ta'minotida ham toza ichimlik suviga bo'lgan ehtiyojni bir necha barobarga oshiradi. Bu muammoni hal qilish uchun sanoat va maishiy suvni keng qamrovli tarzda tozalash, filtr orqali inson salomatligi uchun xavfli bo'lgan ortiqcha moddalarni olib tashlash va yana ichimlikka yaroqli bo'lgan suv holatiga keltirish kabi bir nechta murakkab bosqichlardan iborat. Filtratsiya-bu suyuqlikning (odatda suv, yog', qum yoki gidravlik suyuqlik) filtr orqali oqib o'tib, ichidagi zarrachalar (chang, metall parchalari, tuproq va boshqalar) ushlab qolish jarayonidir. Filtrlarning ba'zilar juda qimmat sababi import qilinganligi uchun, va ba'zilar xavfsiz va ichimlik suvi standartini tasdiqlay olmaydi. Masalaning yana bir jihat shundan iboratki, kimyoviy usulda tozalash usullaridan foydalanish, aholiga yetkazib beriladigan suvning tannarxiga to'g'ridan - to'g'ri o'z ta'sirini ko'rsatadi. Bu holat esa o'z navbatida aholining yashash qiyinchiligini keltirib chiqaradi. [1,2,3,4,5,6,7]

Suv - bu jahonda insoniyat va nabodat olamining eng asosiy ehtiyojlaridan biridir. Jahon sog'liqni saqlash

tashkiloti (JSST) ma'lumotlariga ko'ra, ba'zi rivojlanayotgan mamlakatlarda suv bilan yuqadigan kasalliklar o'limga olib keluvchi eng katta omillardan biridir. Tozalanmagan ichimlik suvi tarkibida suv orqali yuqadigan patogenlar mavjud bo'lib, ular oshqozon-ichak trakti, suvsizlanish, o'sishning sekinlashuvi, kognitiv buzilish, tish emalining yemirilishi va diareyaga olib kelishi mumkin. Dunyo aholisining qariyb 11% suvni himoyalangan va ichishga yaroqsiz bo'lgan holatda iste'mol qiladi. Aholining oshishi, shaharlashuv, sanoatlashirish, xizmat ko'rsatish sohalarning rivojlanishi, ko'p qavatli uylarning qurilishi ham bu ko'rsatgichning yanada oshishiga va turli xil yangi muammolarni keltirib chiqaradi. Qoraqalpog'iston respublikasi, Xorazm, Buxoro va Navoiy viloyatlarida iqlim o'zgarishi va cho'llanish darajasining oshishi, Amudaryo suvining kamayishi, yog'ingarchilikning pasayishi, Orol dengiziga deyarli suvning yetib bormasligi bu hududlar infratuzilmasining tubdan yamonlashuviga olib keldi. Afg'onistonda yangi qurilayotgan Qo'shtepa kanali Amudaryodan yiliga 10 kub kilometr suv (jami suv hajmining 25% ni) olish imkoniyatiga ega bo'lishi mumkin. Bu ham o'z navbatida mazkur muammoning keng qavrovini yuzaga keltirib chiqaradi. Natijada bu hududlardagi aholi yaroqli va yetarli bo'lgan suvdan foydalanishga imkon bermaydi [9, 10]. Bu borada bir qator dunyoning yetakchi davlatlarida ham ilmiy va amaliy

ishlar olib borilmoqda. Jumladan: AQSH, Isroil, Yaponiya, Germaniya va Hindiston. Hindistonda kambag'al yoki qishloq hududlarida arzon va samarali suv tozalash usullari bo'yicha, mahalliy va tabiiy materiallar asosida filtratsiya (masalan qum, ko'mir, keramika) ustida amaliy ishlar olib borilyapdi. Yana, Xitoyda sanoat chiqindilaridan ifloslangan suvlarni tozalash, oqova suvlarni qayta ishlash va foydalanishga katta e'tibor qaratilyabdi. Zamonaviy suv tozalash stansiyalari va filtratsiya materiallarini ishlab chiqish, bu usulni hayotga tatbiq qilish va dunyo tajriba usulida keng ko'lamli o'zgarish yasash borasida ilmiy va amaliy ishlar olib borilmoqda. Ultrafiltratsiya, nanofiltratsiya va teskari osmos texnologiyalari keng tatbiq etilmoqda [8].

2. Metodlar

Grunt kovakchalarda suyuqlik harakati **filtratsiya** deyiladi. Filtratsiyani o'rganishda suyuqlik hamma yoqni gruntning kovak va zarrachalarini butunlay to'ldirib oqadi va bu albatta farazdir. Boshqacha qilib aytganda, grunt kovaklaridagi suyuqlikning mavjud oqimi uning gruntni kovak va qattiq skleti hajmlarini to'xtovsiz ravishda to'ldirib boradigan soxta filtrlovchi oqimi bilan almashiriladi. Shunda filtrlovchi oqimining ixtiyoriy ko'ndalang kesimidagi suv sarfi uning haqiqiy sarfiga teng bo'ladi. Agar filtrlovchi oqimning ko'ndalang kesimi maydonini ω bilan, haqiqiy sarfini Q bilan belgilansa, soxta filtrlovchi oqimning shu maydondagi o'rtacha tezligi quyidagicha bo'ladi:[11]

$$v = \frac{Q}{\omega} \quad (1)$$

Ushbu soxta tezlik filtrlash deyiladi.

Qumli gruntida filtratsiya vaqtidagi qarshilik qonuni birinchi bor Darsi tamonidan tadqiqot qilingan. Filtratsiya tezligining gidravlik nishabga chizig'iy bog'lanishini belgilab beruvchi tenglama Darsi qonuni deb yuritiladi:

$$v = K_d \cdot I \quad (2)$$

Bu yerda K_d - laminar filtratsiya koeffitsienti, gruntning berilgan suyuqlik uchun qo'llaniladigan filtrlash xususiyatlarini ifodalaydi, I - gidravlik nishablik

3. Natija va muhokamalar

Tajriba ishining maqsadi qumli gruntida xususan oddiy daryo qora qumida filtratsiya uchun Darsi qonuni tekshirish. Tajriba davomida daryo bo'ylarida uchraydigan qora qumini filtr sifatida foydalanish, ushbu mahalliy qumlarning sanoat va oqova suvlarini (xususan Bo'zsuv kanali suvi) tozalashda ishlatish, natijalarni tahlil qilish va solishtirish kabi ishlar amalga oshirildi. Darsi qonunini qo'llagan holda, silindrsimon idish tanlab olib, 17 cm qalinlikda qum yuklamasi to'ldirildi. Qum qatlamining eng yuqori nuqtasiga birinchi pezometr o'rnatildi. Undan 4 cm pastda ikkinchi pezometr, ikkinchi pyezometrdan 5 cm pastda uchinchi o'rnatildi. Filtr yuklamasining eng quyi qismiga to'rtinchi pezometr o'rnatildi. Ushbu tajribada qora qumidan foydalanildi: (1-rasm)



1-rasm. Oddiy daryo bo'yidagi qora qumi namunasi

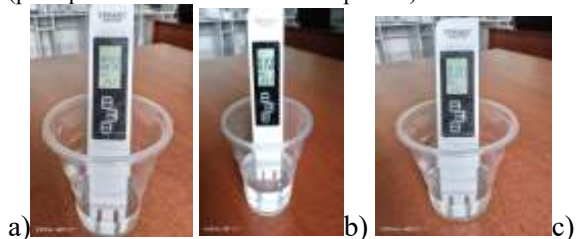
Bu tajribada 4 marta turli xil vaqt intervallarida filtratsiya koeffitsiyenti hisoblab ko'rildi. Tajribada turli vaqt intervallari bo'yicha suv oqizildi va pezometr ko'rsatgichlari ham turlicha ko'rsatgichlarni tashkil qildi.

Bu yerda Q - suyuqlik filtratsiya sarfi, W - sizib o'tgan suv sarfi, ω - ko'ndalang kesim yuzasi, h_1 , h_2 , h_3 va h_4 - mos ravishda pezometrlar ko'rsatgichlari, k_1 , k_2 , va k_3 - pezometrlar orasidagi qumli qatlamlarning filtratsiya koeffitsiyentlari, T - tajriba vaqti



2-rasm. Tajriba qurilmasining ko'rinishi

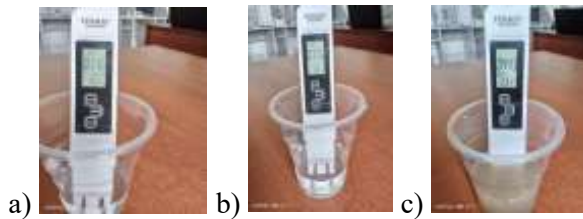
2-rasm - qora qumda o'tkazilgan tajriba namunasi. TDS & ES o'lchagich yordamida amalga oshirildi. TDS (Total Dissolved Solids) - umumiy erigan qattiq modda. Bu qurilma suvda eritilgan barcha qattiq moddalarning (tuzlar, minerallar, metall ionlari) umumiy miqdorini o'lchaydi. TDS & EC markali tester tahlillari asosida olingan tajriba natijalari: O'lchov quyidagicha qiymatlarni ko'rsatdi. PPM (parts per million - milliondan bir qismlar).



3-rasm. Filtrlangan suvning TDS&EC testeridagi tahlillari.

a - distillangan suv, b - qora qum orqali sizib o'tgan suv va c - Bo'zsuv kanali suvi

Keyingi natijalarimiz elektr o'tkazuvchanlik (Electrical Conductivity). Ya'ni Suvdagi ionlarning (zaryadlangan zarrachalar) o'tkazuvchanligini o'lchaydi. [$\mu\text{S}/\text{cm}$ - mikrosienmens per sentimetr]



4-rasm. Filtrlangan suvning TDS&EC testeridagi elektr

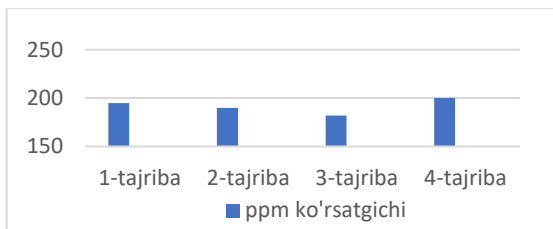
o'tkazuvchanlik hisoblari. a- distillangan suv, b - qora qum orqali sizib o'tgan suv va c - Bo'zsuv kanali suvi

Loyqalish – bu suyuqlik, ayniqsa suv, tarkibida erimaydigan qattiq zarralar (tuproq, qum, chang, loy va boshqalar) aralashgan holatidir. Bu holatidir. Bu holatda suv shaffofligi yo'qoladi va xira yoki loyqa ko'rinishga ega bo'ladi. Loyqalanish ta'sirida ichimlik suvi sifati yamonlashadi.

1-jadval

Qora qumning ustida amalga oshirilgan tajriba hisoblari

№	ppm ₀	T, s	W, l	ω, m ²	h ₁ ,m	h ₂ ,m	h ₃ ,m	h ₄ ,m	k _{f1} ,m/s ²	k _{f2} ,m/s ²	k _{f3} ,m/s ²	ppm
1	308	300	250	5,024·10 ⁻³	0,15	0,13	0,09	0,03	0,09	0,06	0,05	195
2	308	360	300		0,16	0,13	0,1	0,02	0,06	0,13	0,04	190
3	308	420	400		0,17	0,13	0,14	0,04	0,08	0,06	0,11	182
4	308	480	600		0,155	0,135	0,13	0,03	0,1	0,56	0,03	200



5-rasm. Filtrlangan suvning TDS&EC testerdagi tahlillari

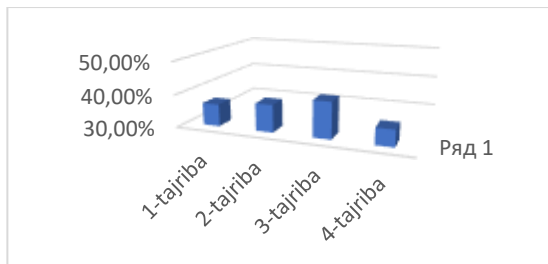
$$C_1 = 100\% \cdot \frac{C_1 - C_2}{C_1} = 100\% \cdot \frac{308 - 195}{308} = 36,7\%$$

$$C_2 = 100\% \cdot \frac{C_1 - C_2}{C_1} = 100\% \cdot \frac{308 - 190}{308} = 38,3\%$$

$$C_3 = 100\% \cdot \frac{C_1 - C_2}{C_1} = 100\% \cdot \frac{308 - 182}{308} = 40,9\%$$

$$C_4 = 100\% \cdot \frac{C_1 - C_2}{C_1} = 100\% \cdot \frac{308 - 200}{308} = 35\%$$

Shu qalindagi qora qum qatlami o'rtacha tozalash samaradorligi $C_{o'rt} = 37,7\%$ tashkil qiladi.



6-rasm. 17 cm li qora qumning tozalash samaradorligi



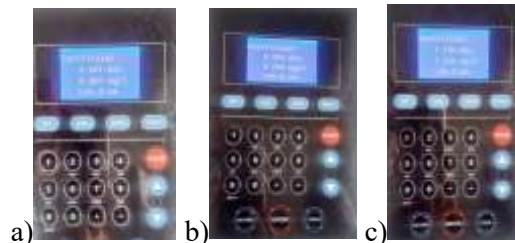
7-rasm. Tajribada foydalanilgan V1100 markali spektrofotometr

Spektrofotometr - bu turli xil elektromagnit nurlanishlar: ko'rindigan, infraqizil, ultrabinafsha nurlar yordamida eritmalar va moddalarning yutilish, uzatish, optik zichlik va

konsentratsiya darajasining spektral bog'liqligini o'lchash uchun zarur bo'lgan yuqori texnologiyali qurilma. Spektrofotometr V1100 suvning quyidagi ko'rsatkichlarini aniqlash uchun foydalanish mumkin: pH, tok o'tkazuvchanlik, DO o'lchagich, LON o'lchagich, loyqalik, kolorimetr va COD va boshqalar. Tajriba natijalarini Spektrofotometr yordamida tahlil qilindi. Tahlil qurilmasiga ketma-ketligini saqlagan holda distillangan suv, qora qumdan sizib o'tgan suv va boshlang'ich suv (Bo'zsuv kanali suvi) olindi.

2- jadval

№	Tajriba uchun ishlatilgan suv	Spektrofotometr ko'rsatkichi (mg/l)
1	Distillangan suv	0,001
2	Qora qumdan sizib o'tgan suv	0,289
3	Bo'zsuv kanali suvi	1,234



9-rasm. Spektrofotometrda olingan tahlillar

a) Distillangan suv, b) Qora qumdan sizib o'tgan suv va c) Bo'zsuv kanali suvi

4. Xulosa

Ushbu tadqiqot maqsadi shundan iboratki, mahalliy qum xususan oddiy qora qum asosida ifloslangan texnik suvni qayta ishlashga va foydalanishga yaroqli holatga keltirish va filtratsiya jarayonining muqobilini va o'rnini bosuvchi va qulay qurilma ishlab chiqish. Bu ishlab chiqarilgan filtrlovchi qurilma asosida aholiga qulaylik yaratish va ichimlik suvi tannarxini va xarajatlarni kamaytirish, aholiga qulayliklar yaratish, xizmat ko'rsatish sifatini yaxshilash va hayotga tadbiiq qilishdan iborat bo'ladi. Suvdagi to'xtatilgan moddalarni tozalash uchun filtr xom ashyosi sifatida sanoat chiqindilarini qora qumdan foydalanish yuqori tozalash indeksiga ega va arzon narxga ega bo'ladi. Demak qora qumdan sizib o'tgan suvning samaradorligi yaxshi

bo'lganligi sababli filtratsiya sifatida ishlatishga tavsiya etiladi [10,12].

Foydalanilgan adabiyotlar / References

- [1] Alfieri, L., Bisselink, B., Dottori, F., Naumann, G., de Roo, A., Salamon, P., Wyser, K., & Feyen, L. (2017). Global projections of river flood risk in a warmer world. *Earth's Future*, 5(2), 171–182. <https://doi.org/10.1002/2016EF000485>
- [2] Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–975. <https://doi.org/10.1016/J.JOI.2017.08.007>
- [3] Baldi, M., Amin, D., Al Zayed, I. S., & Dalu, G. (2020). Climatology and Dynamical Evolution of Extreme Rainfall Events in the Sinai Peninsula-Egypt. *SUSTAINABILITY*, 12(15). <https://doi.org/10.3390/su12156186>
- [4] Ben Moshe, L., & Lensky, N. G. (2024). Geomorphological Response of Alluvial Streams to Flood Events during Base-Level Lowering: Insights from Drone-Based Photogrammetric Surveys in Dead Sea Tributaries. *REMOTE SENSING*, 16(8). <https://doi.org/10.3390/rs16081346>
- [5] Botai, C. M., Botai, J. O., Zwane, N. N., Hayombe, P., Wamiti, E. K., Makgoale, T., Murambadoro, M. D., Adeola, A. M., Ncongwane, K. P., de Wit, J. P., Mengistu, M. G., & Tazvinga, H. (2020). Hydroclimatic Extremes in the Limpopo River Basin, South Africa, under Changing Climate. *WATER*, 12(12). <https://doi.org/10.3390/w12123299>
- [6] Duan, L., Liu, C., Xu, H., Pan, H., Liu, H., Yan, X., Liu, T., Yang, Z., Liu, G., Dai, X., Zhang, D., Fu, X., Liu, X., & Lu, H. (2022). Susceptibility Assessment of Flash Floods: A Bibliometrics Analysis and Review. *Remote Sensing*, 14(21), 1–34. <https://doi.org/10.3390/rs14215432>

[7] Garner, G., Van Loon, A. F., Prudhomme, C., & Hannah, D. M. (2015). Hydroclimatology of extreme river flows. *FRESHWATER BIOLOGY*, 60(12, SI), 2461–2476. <https://doi.org/10.1111/fwb.12667>

[8] У.Умаров, А.Бабаев «Махаллий хом-ашёлардан тайёрланган филтрларни ювиш» Scientific impulse 2003 й.

[9] Hamidov M.X. Shukurlayev X.I. Mamataliyev A.B. «Qishloq xo'jaligi gidrotexnika melioratsiyasi» Toshkent 2009 y.

[10] N.N. Maxmudov, M.A.Tursunov, S.S.Eshev, X.B.Asadova «Yer osti gidrovlikasi» Toshkent 2015 y.

[11] Uchqun Umarov, Aybek Arifjanov, Abdumalik Rizayev, Dinara Umarova «Mathematical modeling of wastewater treatment facilities of transport enterprises »E3S Web of Conference 2023

[12] Uchqun Umarov Quvonchbek Quvondiqov, Axror Obidjonov, Askar Babaev , and Otabek Ochildiyeov «Selecting wastewater treatment filters using local raw materials» E3S Web of Conference 2023

Mualiflar haqida ma'lumot

Ruzibayeva M.X.	Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston E-mail: markhaboruzibayeva@gmail.com 0000-0002-9730-4830
Umarov U.V	Toshkent Davlat Transport universiteti muhandislik kommunikatsiyalari va tizimlari kafedrasini dotsenti. Elektron pochta: uchqunflying@gmail.com 0000-0001-5045-8288
Rizayev A.N	Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston 0000-0002-9730-4830
Baxramov U.	Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston 0000-0001-5045-8288

Effects of climate change in Uzbekistan on floods

D. Allayarov^{1,2}, A. Arifjanov²

¹ Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

² National Research University "TIQXMMI", Tashkent, Uzbekistan

Abstract: Climatic changes affect the melting dynamics of the snow cover and the amount and shape of atmospheric precipitation, causing an increase in the periodicity and duration of floods. There are several types of floods, and floodplains occupy a special place in our republic in the placement of arid in the region. The topographic appearance of the area along with the amount of atmospheric precipitation, natural drainage opportunities and the land use situation in the area play an important role in the origin of floods. 12% of the territory of the Republic of Uzbekistan is considered to be regions of flood risk. The paper used numerical statistical analysis methods for flood analysis and identification of potentially hazardous areas. In the Republic, there is a constant decrease in the amount of total water resources used in the last 10 years. Against the background of the quantitative decrease in water resources, it was found that the recurrence of floods is increasing. Based on the results of the analysis, it was found that Surkhondaryo, Kashkadarya and Jizzakh regions of the Republic came in Category II and III on the risk of flooding, the perennial average return of flooding was 3 and higher.

Keywords: climate change, Hydro climate events, floods, floods, Uzbekistan

O'zbekistonda iqlim o'zgarishining sel suv toshqinlariga ta'siri

Allayarov D.^{1,2}, Arifjanov A.²

¹ Toshkent Davlat Transport Universiteti, Toshkent, O'zbekistan

² "TIQXMMI" Milliy Tadqiqot Universiteti, Toshkent, O'zbekistan

Annotatsiya: Iqlimiy o'zgarishlar qor qoplamining erish dinamikasiga va atmosfera yog'inlari miqdori hamda shakliga o'z ta'sirini o'tkazib, sel-suv toshqinlarining davriyligi va davomiyligi ortishiga sabab bo'lmoqda. Suv toshqinlarining bir qancha turlari mavjud bo'lib, arid mintaqada joylashga respublikamizda sel-suv toshqinlari alohida o'rin tutadi. Sel-suv toshqinlari kelib chiqishida atmosfera yog'inlari miqdori bilan birga hududning topografik qiyofasi, tabiiy drenaj imkoniyatlari hamda hududdagi yerdan foydalanish holati muhim ro'l o'ynaydi. O'zbekiston Respublikasining 12 foiz hududi sel-suv toshqinlari xavfi mavjud mintaqalar hisoblanadi. Maqolada sel-suv toshqinlarini tahlil qilish va potensial xavfli hududlarni aniqlashda sonli statistik tahlil usullaridan foydalanildi. Respublikada so'ngi 10 yillikda foydalaniladigan umumiy suv resurslari miqdorida doimiy pasayish kuzatilmoqda. Suv resurslarining miqdoriy kamayishi fonida sel-suv toshqinlari takroriyligining ortayotganligi aniqlandi. Tahlil natijalariga ko'ra Respublikamizning Surxondaryo, Qashqadaryo va Jizzax viloyatlari sel-suv toshqini xavfi bo'yicha II va III toifaga kelganligi, sel-suv toshqinining ko'p yillik o'rtacha qaytarilishi 3 va undan yuqori ekanligi aniqlandi.

Kalit so'zlar: iqlim o'zgarishi, gidroiqlim hodisalari, suv toshqinlari, sel-suv toshqini, O'zbekistan

1. Kirish

Global iqlim o'zgarishi yer yuzasidagi gidroiqlim hodisalariga xususan, ayrim hududlarda qurg'oqchilik va boshqa joylarda esa suvning ortiqcha shakllanishiga sabab bo'lmoqda. Ko'plab gidro-meteorologik hodisalar orasida suv toshqinlari o'zining ijtimoiy-iqtisodiy xavfining yuqoriligi bilan alohida o'rin tutadi [1]–[3]. Birlashgan Millatlar Tashkilotining Tabiiy ofatlar xavfini kamaytirish boshqarmasi ma'lumotlariga ko'ra 2000 va 2019 yillar oralig'ida butun dunyo bo'ylab 7348 ta yirik tabiiy ofatlar qayd etilgan [4]. Bu tabiiy ofatlar ichida suv toshqinlari eng keng tarqalgan ofatlardan biri bo'lib, uning soni 1980-1999 yillardagi 1389 taga nisbatan 2000-2019 yillarda 3254 taga, ya'ni ikki baravar ko'paygan.

Markaziy Osiyo davlatlari Orol dengizi havzasida joylashgan bo'lib, havzadagi 9 ta mintaqalar sel xavfi yuqori bo'lgan hududlar sifatida qayd etiladi [5]. Jumladan, O'zbekiston Respublikasi 12 foiz hududi sel-suv toshqinlari

xavfi ostida joylashgan bo'lib, bular Farg'ona vodiysi hududlari, Ohangaron, Zarafshon, Qashqadaryo va Surxondaryo daryolari havzasida joylashgan hududlar. Suv toshqinlarining bir qancha turlari mavjud bo'lib, dengiz sohilidagi toshqin, shaharlashtirish oqibatida kelib chiquvchi toshqin, daryo toshqini, sel-suv toshqini kabi turlarga ajraladi [2], [3], [6]. Sel-suv toshqinlari kelib chiqishida nafaqat atmosfera yog'inlari miqdori balki hududning topografiyasi, tabiiy va antropogen drenaj imkoniyatlari hamda hududdagi yerdan foydalanish holati muhim ro'l o'ynaydi [3], [7], [8].

Global miqyosdagi iqlim o'zgarishi tog'lardagi qor qoplamining erish dinamikasiga va atmosfera yog'inlari miqdori hamda shakliga o'z ta'sirini o'tkazib, sel-suv toshqinlarining davriyligi va davomiyligi o'zgarishiga olib kelmoqda [9], [10]. Bugungi kungacha jarayonni ilmiy jihatdan tadqiq qilishda turli gidrologik va gidrodinamik modellardan foydalanib kelinmoqda [11]–[14]. 2016 yilning avgust oyida Amerika Qo'shma Shtatlarining Luiziana



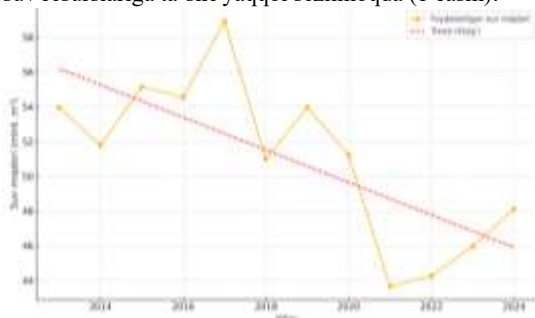
shtatida sodir bo'lgan sel-suv toshqini, antropogen omillar ta'sirida iqlim va uning natijasida atmosfera yog'inlari siklining o'zgarganligini tasdiqladi. Tadqiqotlar 550 yilda bir marta takrorlanuvchi kuchli atmosfera yog'inlarining antropogen omillar ta'sirida 30 yilda bir marta takrorlanishini ko'rsatmoqda [15].

Iqlimshunoslarning fikriga ko'ra 2050-yilga kelib yer yuzasidagi o'rtacha yillik harorat 2 °C ortishi kutilmoqda [16]. Bu o'zgarish suv toshqinlari davriyligi va davomiyligiga o'z ta'sirini ko'rsatadi. Shu jihatdan sel-suv toshqini xavfi yuqori bo'lgan hududlarning iqlim, topografik va gruntning suv-fizik xususiyatlarini inobatga olib kuchli yog'ingarchiliklar davrida sel-suv toshqini hosil bo'lish qonuniyatlari tadqiqoti, sel-suv toshqini davrida o'zanning morfometrik parametrlarini inobatga olib oqimning beqaror harakati parametrlarini innovatsion hisoblash uslublarini ishlab chiqish muhim masalalardandir.

Ushbu tezisda sel-suv toshqinlarini tahlil qilish va potensial xavfli hududlarni aniqlashda sonli statistik tahlil usullaridan foydalanildi.

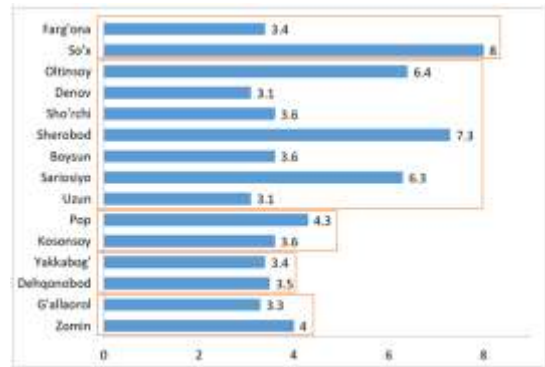
2. Tadqiqot natijalari va ularning tahlili

Respublikamiz Osiyoning arid mintaqasida joylashgan bo'lib, iqlim o'zgarishiga juda ta'sirchan hisoblanadi. Amudaryo va Sirdaryo daryolari suv resurslaridan umumfoydalanuvchi hisoblangan respublikamiz uchun oxirgi yillarda iqlim o'zgarishining suv resurslariga ta'siri yaqqol sezilmoqda (1-rasm).



1-rasm. O'zbekiston Respublikasida foydalanilgan suv resurslari

Oxirgi yillarda iqlim o'zgarishining bevosita oqibatlar suv resurslarining miqdoriy kamayganligida yaqqol ko'rinayotgan bo'lsa, uning bilvosita ta'siri gidroiqlimiy hodisalarning jadallashganligida ko'rinmoqda. O'zbekiston Respublikasi Gidrometeorologiya markazi agentligining so'ngi 24 yillik ma'lumotlari tahliliga ko'ra Surxondaryo viloyatining aksariyat hududlari sel xavfi va uning takroriyliigi bo'yicha yuqori o'rinda keltirilmoqda (2-rasm).



2-rasm. Hududlarda sel-suv toshqinining ko'p yillik o'rtacha qaytarilishi

Respublikamizda 2024-yil sersuv yil bo'ldi, bahor mavsumidagi kuchli-yomg'irli kunlarning sezilarli miqdorga ortganligi natijasida o'tgan 3 yilga nisbatan mavsumdagi sel-suv toshqinlari soni 2 barobarga ko'paygan. Buning natijasida, birgina 2024-yilning o'zida respublikamizning 8 ta viloyatida 120 dan ortiq yirik sel-suv toshqinlari kuzatilgan.

Tahlillar shuni ko'rsatmoqdaki, daryolarning o'rtacha yillik miqdorida o'zgarish sezilarli bo'lmasa ham, gidrografiyasida tebranish organ. Bunday holatlar asosan Surxondaryo, Qashqadaryo va Zarafshon kabi daryolarning to'yintiruvchi irmoqlarida kuzatilmoqda. Oxirgi yillarda eng ko'p sel-suv toshqinlari respublikaning Surxondaryo, Qashqadaryo va Jizzax viloyatlari qayt etilgan bo'lib, sel-suv toshqinining ko'p yillik o'rtacha qaytarilishi 3 va undan yuqori, hududlarning sel-suv toshqini xavfi bo'yicha toifasi II va III tashkil etmoqda.

3. Xulosa

Iqlim o'zgarishi yer yuzasidagi gidroiqlim hodisalariga xususan, qurg'oqchilik va suv toshqinlariga sabab bo'lmoqda. O'zbekiston Respublikasining 12 foiz hududi sel-suv toshqinlari xavfi mavjud mintaqalar hisoblanadi. Iqlimiy o'zgarishlar qor qoplarning erish dinamikasiga va atmosfera yog'inlari miqdori hamda shakliga o'z ta'sirini o'tkazib, sel-suv toshqinlarining davriyligi va davomiyligi ortishiga sabab bo'lmoqda.

So'ngi 10 yillikda respublikada foydalaniladigan umumiy suv resurslari miqdorida katta tebranish mavjud bo'lib, doimiy pasayishni ko'rsatmoqda. Oxirgi yillardagi suv resurslarining miqdoriy kamayishi bilan birga sel-suv toshqinlari takroriylikining ortishi ushbu jarayonni ilmiy jihatdan tadqiq etishni talab qilmoqda.

Suv toshqinlariga qarshi kurashish, ularning ijtimoiy-iqtisodiy hamda texnogen xavfini kamaytirishda sel toshqini bashorat qilish va erta ogohlantiruvchi modellarni ishlab chiqish, gidrotexnik inshootlarining xavfsizligini ta'minlash va yangilarini qurish, hamda muhandislik kommunikatsiya tizimlarida moslashuv strategiyalarini takomillashtirishga qaratilgan natijalarga erishish kun talabiga aylanmoqda.

Foydalanilgan adabiyotlar / References

- [1] G. Garner, A. F. Van Loon, C. Prudhomme, and D. M. Hannah, "Hydroclimatology of extreme river flows," *Freshw. Biol.*, vol. 60, no. 12, SI, pp. 2461–2476, 2015, doi: 10.1111/fwb.12667.
- [2] C. M. Botai et al., "Hydroclimatic Extremes in the Limpopo River Basin, South Africa, under Changing Climate," *WATER*, vol. 12, no. 12, 2020, doi: 10.3390/w12123299.
- [3] A. R. M. Towfiqul Islam et al., "Flood susceptibility modelling using advanced ensemble machine learning models," *Geosci. Front.*, vol. 12, no. 3, May 2021, doi: 10.1016/j.gsf.2020.09.006.
- [4] K. Teber, M. Weynants, F. Gans, and M. D. Mahecha, "Geo-Disasters: geocoding climate-related events in the international disaster database EM-DAT," 2025, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2506.03797>.
- [5] Z. Sultonov and H. K. Pant, "Potential Impacts of Climate Change on Water Management in the Aral Sea Basin," *Water Resour. Manag.*, vol. 37, no. 14, pp. 5743–5757, 2023, doi: 10.1007/s11269-023-03627-5.
- [6] I. Abd-Elaty, H. Shoshah, M. Zelenakova, N. L. Kushwaha, and O. W. El-Dean, "Forecasting of Flash Floods Peak Flow for Environmental Hazards and Water Harvesting in Desert Area of El-Qaa Plain, Sinai," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 19, no. 10, 2022, doi: 10.3390/ijerph19106049.
- [7] M. Baldi, D. Amin, I. S. Al Zayed, and G. Dalu, "Climatology and Dynamical Evolution of Extreme Rainfall Events in the Sinai Peninsula-Egypt," *SUSTAINABILITY*, vol. 12, no. 15, 2020, doi: 10.3390/su12156186.
- [8] L. Ben Moshe and N. G. Lensky, "Geomorphological Response of Alluvial Streams to Flood Events during Base-Level Lowering: Insights from Drone-Based Photogrammetric Surveys in Dead Sea Tributaries," *Remote Sens.*, vol. 16, no. 8, 2024, doi: 10.3390/rs16081346.
- [9] S. Khalid, A. Naz, Z. U. Rahman, T. Naz, J. Iqbal, and N. Yousaf, "Trend analysis of hydro-meteorological variables of Islamabad, Pakistan: a spatio-temporal view from Pothohar region," *Meteorol. Atmos. Phys.*, vol. 135, no. 3, 2023, doi: 10.1007/s00703-023-00970-5.
- [10] Y. Qing-Long et al., "An overview of studies of observed climate change in the Hindu Kush Himalayan (HKH) region," *Adv. Clim. Chang. Res.*, vol. 8, no. 3, SI, pp. 141–147, 2017, doi: 10.1016/j.accre.2017.04.001.
- [11] L. Alfieri et al., "Global projections of river flood risk in a warmer world," *Earth's Futur.*, vol. 5, no. 2, pp. 171–182, Feb. 2017, doi: 10.1002/2016EF000485.
- [12] F. Morante-Carballo, N. Montalvan-Burbano, M. Arias-Hidalgo, L. Dominguez-Granda, B. Apolo-Masache, and P. Carrion-Mero, "Flood Models: An Exploratory Analysis and Research Trends," *WATER*, vol. 14, no. 16, 2022, doi: 10.3390/w14162488.
- [13] J. Liu et al., "An integrated model chain for future flood risk prediction under land-use changes," *J. Environ. Manage.*, vol. 342, 2023, doi: 10.1016/j.jenvman.2023.118125.
- [14] S. Zafar and A. Zaidi, "Impact of urbanization on basin hydrology: a case study of the Malir Basin, Karachi, Pakistan," *Reg. Environ. Chang.*, vol. 19, no. 6, pp. 1815–1827, 2019, doi: 10.1007/s10113-019-01512-9.
- [15] K. van der Wiel et al., "Rapid attribution of the August 2016 flood-inducing extreme precipitation in south Louisiana to climate change," *Hydrol. EARTH Syst. Sci.*, vol. 21, no. 2, pp. 897–921, 2017, doi: 10.5194/hess-21-897-2017.
- [16] Y. Kiro et al., "Droughts, flooding events, and shifts in water sources and seasonality characterize last interglacial Levant climate," *Quat. Sci. Rev.*, vol. 248, 2020, doi: 10.1016/j.quascirev.2020.106546.

Mualiflar haqida ma'lumot

Davronjon Allayorov Toshkent Davlat Transport Universiteti, Toshkent, O'zbekistan
"TIQXMMI" Milliy Tadqiqot Universiteti, Toshkent, O'zbekistan
E-mail: allayorov_d@tstu.uz
<https://orcid.org/0000-0002-1745-6907>

Aybek Arifjanov "TIQXMMI" Milliy Tadqiqot Universiteti, Toshkent, O'zbekistan
E-mail: allayorov_d@tstu.uz
<https://orcid.org/0000-0003-2599-4892>



Rainwater harvesting and treatment technologies: efficiency and prospects in the context of uzbekistan

H.A. Kosimova¹, M.N. Abdukadirova¹

¹Research Institute of Environmental Protection and Nature Conservation Technologies, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This article analyzes the importance, effectiveness, and future development prospects of rainwater harvesting and recycling technologies in Uzbekistan. In the context of limited water resources and climate change in the country, rainwater harvesting is an important factor in alleviating water supply problems. The study provides information on various technical solutions - water harvesting areas, filtration systems, and storage facilities, and assesses their environmental and economic effectiveness. It also discusses the possibilities of widespread implementation of these technologies in agriculture and the lives of the population and the problems associated with them. In conclusion, it is necessary to strengthen the regulatory and legal framework, technologies appropriate to local conditions, and public awareness campaigns to expand the use of rainwater in Uzbekistan.

Keywords: Rainwater, water harvesting, purification technology, secondary use, environmental sustainability.

1. Introduction

Nowadays, as water sources are becoming increasingly scarce, both wastage and pollution of water present serious challenges. It is important to foster a shift in people's attitudes and encourage the preservation of water. In this regard, the effective use and protection of water resources is one of the most pressing issues. I believe that everyone must approach this important task with equal responsibility [7].

Our President Shavkat Mirziyoyev also paid serious attention to this area, and in order to improve and alleviate the situation, Resolution No. PP-4040 was adopted on November 30, 2018. Accordingly, it includes the following goals: to introduce modern information and resource-saving technologies that ensure metering and monitoring in the water supply and sanitation sector, to equip consumers with modern equipment and devices that meter drinking water, to meet sanitary requirements in housing construction, including the design, reconstruction and construction of sewage systems together with drinking water supply systems, to strengthen the sustainability of the activities of water supply and sanitation enterprises by introducing a new policy that ensures full self-sufficiency in the supply and sale of drinking water, and to involve the private sector in the management and operation of water supply and sanitation facilities, to improve the system of training, retraining and advanced training of personnel in the water supply and sanitation sector based on advanced foreign experience, to introduce information and communication technologies and innovative solutions, as well as modern techniques for metering drinking water [10]. In addition, Resolution No. PP 4486 "On measures to further improve the water resources management system" was adopted on 09.10.2019. The purpose of this resolution is to ensure the comprehensive use and management of water resources, further improve the system of using water management facilities, ensure the effectiveness and development of irrigation and land reclamation projects, organize market relations and mechanisms in the water management system, as well as improve science in this area [8].

The Law of the Republic of Uzbekistan No. ZURQ-784 dated 22.07.2022, the Resolution "On Drinking Water Supply and Wastewater Discharge" is also expected to introduce significant changes in this area. The purpose of this Law is to regulate relations in the field of drinking water supply and wastewater discharge [9].

2. Relevance of the topic

Rainwater, as a natural atmospheric source, plays a vital role in maintaining the water balance and ecological stability of a region. This water resource:

- increases soil moisture;
- recharges groundwater;
- optimizes urban drainage systems;
- serves as a source for reuse in technical and domestic needs.

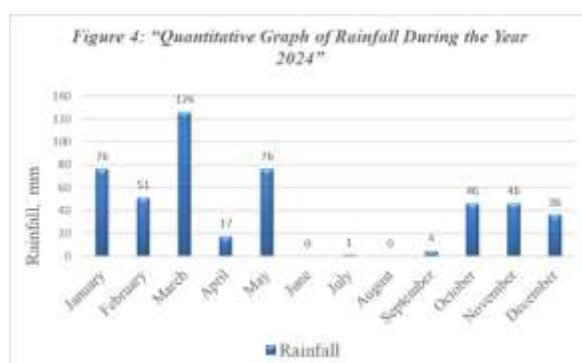
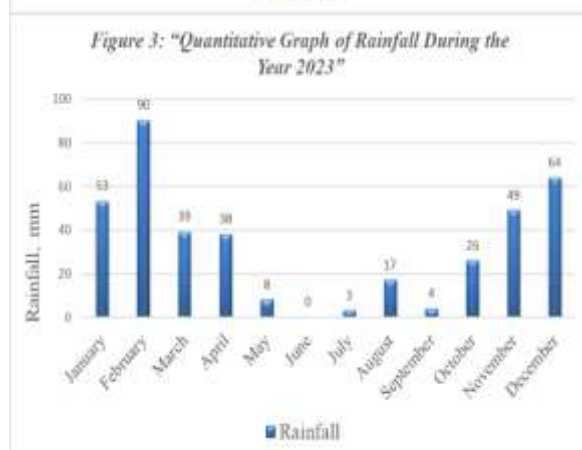
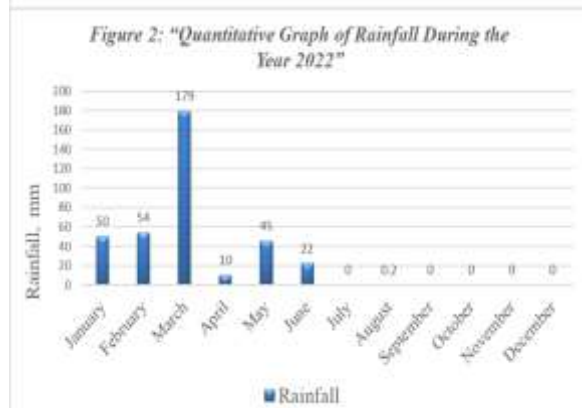
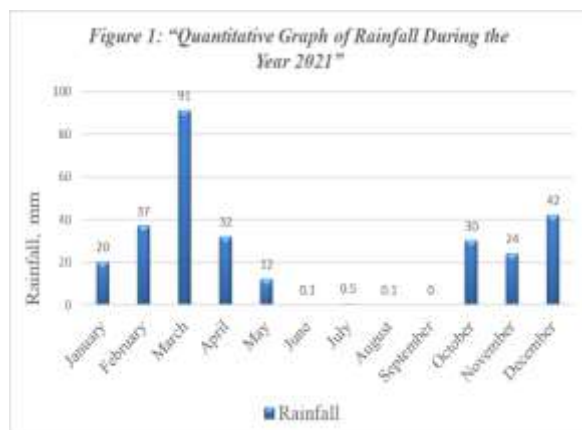
Atmospheric precipitation is a significant part of the hydrological cycle, helping retain soil moisture, support plant growth, and replenish drinking water sources. Rainwater contributes to the enrichment of water resources such as rivers, lakes, and underground aquifers.

Furthermore, rain has a crucial role in regulating climate. Whether a region is dry or humid largely depends on the amount of rainfall it receives. In agriculture, productivity is directly linked to precipitation levels, and insufficient rain can negatively affect crops.

According to experts, at least 40–60% of rainwater collected in urban and rural areas can be reused for secondary purposes [1].

Efficient rainwater management in Uzbekistan is essential for conserving water resources, developing agriculture, and preventing natural disasters. Data on rainfall levels over the past five years show an upward trend, indicating growing opportunities for utilizing this resource.

Rainwater is mainly collected and stored through reservoirs, canals, and collector-drainage systems. In urban areas, however, drainage and sewage systems are not fully developed, leading to flooding on roads during heavy rains due to incomplete infrastructure.



Under current conditions of climate change, drought, and water scarcity in Uzbekistan, the introduction of new technologies and projects for rainwater harvesting and

efficient usage can greatly contribute to sustainable water resource management [2].



Fig. 1. Streets of Tashkent after rainfall

Special equipment or complex structures are not required to collect rainwater. Often, such systems simply consist of collecting water flowing from rooftops into containers through pipes. Using tanks, reservoirs, or special collection tanks, rainwater can be stored for future use. These containers must be clean, covered, and placed in shaded areas to maintain water quality and protect it from contamination.

Rainwater Harvesting Technologies

The main current methods of rainwater harvesting include:

Rooftop collection systems – Rainwater flowing from roofs covered with slate, metal, or tiles is directed through pipes into storage tanks.

Open surface collection method – Rainwater from roads, fields, or yards is collected through drainage systems.

Integrated systems in supermarkets, industrial sites, and public buildings: Water from large surface areas is automatically gathered into specialized reservoirs [3].

Rainwater can be used not only for garden irrigation, but also for various technical and domestic purposes, such as:

- watering gardens and yards;
- washing cars and outdoor areas;
- cleaning tools and equipment;
- toilet flushing;
- mixing cement in construction;
- industrial technical use.

These applications not only help conserve water but also reduce expenses and support environmental sustainability.

3. Experiment methodology

Water Purification Technologies and Their Limitations – Although rainwater is conditionally clean, it is not always safe for direct use. It may contain debris, gravel, heavy metals, small particles, and microorganisms. Therefore, the following purification steps are necessary:

Mechanical filtration – Mesh screens and filters are used to capture large debris.

Sand filters – Effective for removing fine particles through mechanical cleaning.

Carbon filters – Help remove organic substances and gases.

Ultraviolet (UV) or ozone treatment – Used for disinfection and eliminating microorganisms.

Unfortunately, many of these systems are either expensive or energy-inefficient. A more economical solution

is the multi-stage natural filter system (multi-stage bio-sand filter) [4].

Main stages of the system:

[1] Mechanical filtration – Using mesh screens or grates to remove leaves, dust, stones, and coarse debris from rooftop or surface water.

[2] Sand filter – Multi-layered sand and gravel capture smaller particles. Water slowly passes through the sand, allowing both mechanical and partial biological purification.

[3] Activated carbon or coconut fiber layer – Used to reduce odor, color, some bacteria, and heavy metal residues. Roasted coconut shells can be used as a low-cost alternative.

(Optional) UV or solar disinfection – Placing water in the sun for 6–8 hours can make it relatively safe by eliminating bacteria and viruses [6].

Advantages of this system:

Built from local materials: sand, gravel, coconut shell, and metal mesh are widely available.

Minimal maintenance: requires only periodic replacement of sand and carbon.

No electricity required: operates through natural gravity flow.

Low installation cost: small systems can be built for approximately 3–5 million UZS.

Long service life: with proper maintenance, the system can operate effectively for 3–5 years.

For technical uses such as floor cleaning, garden watering, or toilet flushing, the first two or three purification stages are usually sufficient.

The multi-stage natural filter is a cost-effective, efficient, and technically simple purification method. It offers not only economic but also ecological sustainability. This system can be widely implemented in small households, schools, kindergartens, and community housing [5].

4. Conclusion

Collecting and purifying rainwater for secondary use is one of the key directions for conserving water resources and ensuring environmental sustainability. Although rainwater harvesting is not yet widely implemented in Uzbekistan, it is important to adopt practical and innovative approaches to utilize the available potential. If the proposals in this article are implemented, they can improve water supply and raise public ecological awareness.

References

- [1] UNEP (2021). *Rainwater Harvesting: A Lifeline for Human Well-being*. United Nations Environment Programme.
- [2] Ghaffari, A., et al. (2020). *Rainwater Harvesting Systems for Urban Areas: Design, Efficiency, and Sustainability*. Journal of Water Management.
- [3] Ministry of Ecology of the Republic of Uzbekistan (2022). *National Strategy on Rational Use of Water Resources*. Tashkent.
- [4] WHO (2011). *Guidelines for Drinking-water Quality: Rainwater Harvesting and Use*. Geneva.
- [5] Singh, A., & Jain, S. (2019). *Low-cost Filtration Techniques for Rainwater Reuse in Rural Communities*. Water Research Journal.
- [6] FAO (2020). *Rainwater Harvesting and Management: Best Practices for Arid and Semi-arid Regions*.
- [7] Karimov, B., & Mirzayev, S. (2023). *Biotechnological Approaches to Rainwater Treatment*. Scientific Journal of National University of Uzbekistan, No. 1.
- [8] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 09.10.2019 yildagi PQ-4486-son qarori
- [9] O'zbekiston Respublikasining 22.07.2022 yildagi O'RQ-784-son Qonuni.
- [10] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 30.11.2018 yildagi PQ-4040-son qarori.

Information about the authors

- Abdukadirova M.N.** Associate Professor, “Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mecanization Engineers” National Research University.
E-mail: mabduqodirova78@mail.ru
Tel.: +998 90 123 06 60
<https://orcid.org/0000-0003-1188-2662>
- Qosimova H.A.** Doctoral Student, Research Institute of Environmental Protection and Nature Conservation Technologies.
E-mail: khilolakhkhkharova@mail.ru
Tel.: +998900649911
<https://orcid.org/0009-0008-0624-5339>

Innovative technologies in the production of electricity through waste processing: International experience and perspectives

Sh.B. Abdukhalilova, E.I. Mukhtorov ¹

¹Fergana State Technical University, Uzbekistan

Abstract: This article reviews modern innovative technologies for generating electricity from waste. Converting waste into energy is one of the most effective, innovative and economically viable approaches to achieving environmental sustainability today. Also, the introduction of waste-to-energy technology is not only a solution to environmental problems, but also a new development factor for the country's economy. Effective methods are analyzed based on international experience and their environmental and economic advantages are studied. The application of technologies is analyzed using the example of advanced projects from leading countries in the world.

Keywords: Waste processing, Electricity, Environmental sustainability, Green economy, Biogas technologies, Thermal methods, Anaerobic fermentation, WTE technologies

Chiqindilarni qayta ishlash orqali elektr energiyasi ishlab chiqarishda innovatsion texnologiyalar: Xalqaro tajriba va istiqbollar

Abdukhalilova Sh. B., Mukhtorov E. I. ¹

¹Farg'ona davlat texnika universiteti assistenti, O'zbekiston

Annotatsiya: Ushbu maqolada chiqindilarni qayta ishlash orqali elektr energiyasi ishlab chiqarishning zamonaviy innovatsion texnologiyalari ko'rib chiqiladi. Chiqindilarni energiyaga aylantirish — bugungi kunda ekologik barqarorlikka erishish yo'lidagi eng samarali, innovatsion va iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq yondashuvlardan biridir. Shuningdek, chiqindilardan energiya ishlab chiqarish texnologiyasini joriy etish — nafaqat ekologik muammolarga yechim, balki mamlakat iqtisodiyoti uchun yangi rivojlanish omilidir. Xalqaro tajriba asosida samarali usullar tahlil qilinib, ularning ekologik va iqtisodiy afzalliklari o'rganiladi. Jahondagi yetakchi davlatlarning ilg'or loyihalari misolida texnologiyalarning qo'llanilishi tahlil qilinadi.

Kalit so'zlar: Chiqindilarni qayta ishlash, Elektr energiyasi, Ekologik barqarorlik, Yashil iqtisodiyot, Biogaz texnologiyalari, Termik usullar, Anaerob fermentatsiya, WTE texnologiyalari.

1. Kirish

Zamonaviy sanoat va urbanizatsiya jarayonlari chiqindilar hajmining oshib borishiga olib kelmoqda. Chiqindilarni qayta ishlash va ulardan energiya manbai sifatida foydalanish esa barqaror rivojlanish uchun muhim yo'nalishlardan biri hisoblanadi. Bu maqolada chiqindilarni qayta ishlash orqali energiya ishlab chiqarish texnologiyalari, ularning afzalliklari va xalqaro tajriba tahlil qilinadi.

O'zbekiston ham mazkur yo'nalishda faol qadamlar qo'yimoqda. Oxirgi yillarda mamlakatda chiqindilarni qayta ishlash va ulardan energiya ishlab chiqarishga oid qator qarorlar qabul qilindi. Jumladan, 2023 yilda qabul qilingan «Yashil iqtisodiyot» konsepsiyasi doirasida chiqindilardan energiya olishga oid maxsus dasturlar ishlab chiqildi. Shuningdek, xususiy va davlat sherikchiligi asosida chiqindilarni qayta ishlash zavodlari tashkil etish bo'yicha tashabbuslar amalga oshirilmoqda. Bu esa mamlakatning ekologik barqarorligi va energiya manbalarini diversifikatsiya qilishda muhim qadamlardan biri hisoblanadi.

2. Chiqindilardan energiya ishlab chiqarish usullari

1. Termik usullar - Insineratsiya (yondirish) — bu usul chiqindilarni maxsus inseneratorlarda yuqori haroratda yondirishni o'z ichiga oladi. Bu jarayonda chiqindilarning hajmi kamayadi va energiya chiqadi. Yevropa mamlakatlarida inseneratsiya quvvurli issiqlik ta'minoti tizimlari bilan integratsiya qilingan bo'lib, uning yordamida shaharlar issiqlik bilan ta'minlanadi. - Piroliz — chiqindilarni kislorodsiz muhitda yuqori haroratda qayta ishlash jarayoni bo'lib, u gaz, suyuq yonilg'i va qattiq qoldiq mahsulotlarni hosil qiladi. Ushbu jarayon an'anaviy yondirishga nisbatan kamroq zararli moddalar chiqarishi bilan ajralib turadi. - Gazlash (gazifikatsiya) — chiqindilarni yuqori haroratda sintetik gazga aylantirish jarayoni. Bu usulda hosil bo'lgan gaz (singaz) turbinalar yoki generatorlar orqali elektr energiyasi ishlab chiqarishda foydalaniladi.

2. Biologik usullar

- Anaerob fermentatsiya — organik chiqindilar maxsus bioreaktorlarda kislorodsiz muhitda qayta ishlanadi va natijada metan gazi hosil bo'ladi. Metan keyinchalik gaz turbinalari yoki kogeneratsiya qurilmalarida elektr energiyasi ishlab chiqarish uchun ishlatiladi. Bu usul fermer xo'jaliklarida ham keng qo'llaniladi.

- Biogaz texnologiyalari – chiqindilarni anaerob sharoitlarda qayta ishlash orqali metan va karbonat anhidrid gazi olish jarayoni. Hosil bo'lgan biogazdan elektr energiyasi, issiqlik va transport yonilg'isi sifatida foydalanish mumkin. Germaniya va Shvetsiya kabi davlatlar biogaz ishlab chiqarishda yetakchi hisoblanadi.

- Kompostlash – organik chiqindilarni tabiiy tarzda biologik parchalanishini tezlashtirish jarayoni. Kompostlash to'g'ridan-to'g'ri elektr energiyasi ishlab chiqarishga ham, tuproq sifati va qishloq xo'jaligi samaradorligini oshirishda muhim ahamiyatga ega.

3. Mexanik-biologik usullar - Chiqindilarni ajratish, qayta ishlash va energiya manbasi sifatida foydalanish texnologiyalari.



Chiqindilarni qayta ishlash sxemasi

1. Chiqindilar yig'ish 2. Ajratish 3. Termik yoki biologik qayta ishlash 4. Elektr energiyasini ishlab chiqarish 5. Qoldiqlarni qayta ishlash.

Bu jarayon ikki bosqichdan iborat: birinchi bosqichda chiqindilar mexanik ravishda ajratiladi va qayta ishlashga tayyorlanadi, ikkinchi bosqichda esa biologik qayta ishlash jarayonlari amalga oshiriladi. Mexanik-biologik usullar sanoat chiqindilarini kamaytirish va qayta ishlash orqali ekologiyaga ijobiy ta'sir ko'rsatadi. Iqtisodiy va ekologik samaradorlik - Innovation texnologiyalarning investitsiyaviy jozibadorligi. - Karbon izini kamaytirish va iqlim o'zgarishiga qarshi kurash. - Yangi ish o'rinlari yaratish va sanoat sektorini rivojlantirish.

Dunyoning ko'plab ilg'or davlatlari chiqindilarni energiyaga aylantirish texnologiyalarini muvaffaqiyatli joriy etgan. Masalan, Shvetsiyada chiqindilarning 99 foizi qayta ishlanadi yoki yoqib energiya olinadi. Janubiy Koreyada esa chiqindilarni saralab yig'ish va maxsus WTE (Waste to Energy) stansiyalarda qayta ishlash bo'yicha qat'iy tizim mavjud. Xalqaro Energetika Agentligi (IEA) va Jahon banki rivojlanayotgan davlatlarga chiqindilardan energiya olish, iqlim o'zgarishiga qarshi kurashish hamda ekologik infratuzilmani rivojlantirishda ko'mak ko'rsatmoqda. BMT (UNEP) esa chiqindi boshqaruvi strategiyalari, chiqindilarning ekologik xavfsiz usullar bilan qayta ishlash bo'yicha global dasturlarni amalga oshirmoqda.

3. Xulosa

Chiqindilarni energiyaga aylantirish — bugungi kunda ekologik barqarorlikka erishish yo'lidagi eng samarali, innovatsion va iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq yondashuvlardan biridir. Rivojlangan davlatlar tajribasi shuni ko'rsatmoqdaki, chiqindilarni to'g'ri boshqarish va qayta ishlash natijasida bir vaqtning o'zida quyidagi natijalarga erishish mumkin: atrof-muhitni muhofaza qilish, energetika sohasini diversifikatsiya qilish, yangi ish o'rinlari yaratish va resurslardan tejamkorlik bilan foydalanish. Shvetsiya, Janubiy Koreya, Germaniya kabi mamlakatlar chiqindilardan energiya olish orqali ularni poligonlarga olib borishni deyarli to'xtatgan va bu orqali millionlab tonna

issiqlon xona gazlari chiqishini kamaytirgan. Xalqaro tashkilotlar, xususan, BMT, IEA va Jahon banki bu boradagi innovatsion loyihalarni qo'llab-quvvatlamoda va rivojlanayotgan mamlakatlar uchun texnik va moliyaviy yordam ko'rsatmoqda. O'zbekiston ham ushbu yo'nalishda strategik qadamlar tashlamoda. Qabul qilingan qonunlar va milliy strategiyalar, xususan, "Yashil iqtisodiyot" strategiyasi, chiqindilarni qayta ishlash sanoatini rivojlantirishga xizmat qilmoqda. Shuningdek, biogaz, quyosh va shamol energiyasini chiqindilardan energiya olish bilan birlashtirgan gibrid tizimlar kelajakda ekologik xavfsizlikni ta'minlashda muhim rol o'ynaydi. Bundan tashqari, aholining ekologik savodxonligini oshirish, chiqindilarni ajratib yig'ish madaniyatini targ'ib qilish hamda ilmiy-tadqiqot faoliyatlarini kengaytirish zarur. Bu borada oliy ta'lim muassasalari, tadqiqot markazlari va xususiy sektor o'rtasidagi hamkorlik alohida ahamiyat kasb etadi.

Shunday qilib, chiqindilardan energiya ishlab chiqarish texnologiyasini joriy etish — nafaqat ekologik muammolarga yechim, balki mamlakat iqtisodiyoti uchun yangi rivojlanish omilidir. O'zbekiston bu yo'lda xalqaro tajribalardan samarali foydalangan holda, barqaror kelajak sari ishonch bilan odimlamoda.

Foydalanilgan adabiyotlar / References

- [1] Decrees of the President of the Republic of Uzbekistan on Environmental Protection and the Development of the "Green" Economy
- [2] Law "On Environmental Protection"
- [3] The Strategy for Transition to a Green Economy and Ensuring Environmental Sustainability (adopted in 2022)
- [4] United Nations Environment Programme (UNEP)
- [5] International Energy Agency (IEA) – Reports on Renewable Energy Sources
- [6] World Bank – Research on Environmental Sustainability and Climate Change
- [7] Nazarov, A. "Ekologiya va atrof-muhit muhofazasi", Toshkent, 2021
- [8] Xodjayev, Sh. "Yashil texnologiyalar va energiya manbalari", Toshkent, 2020
- [9] Tursunov, B. "Havoni tozalash va chiqindilarni qayta ishlash usullari", Toshkent, 2019
- [10] "Ekologiya va rivojlanish" – O'zbekiston ekologik jurnali
- [11] "Yashil iqtisodiyot va innovatsiyalar" – ilmiy jurnal
- [12] "International Journal of Environmental Science" – xalqaro ekologik tadqiqotlar jurnali
- [13] O'zbekiston Respublikasi Ekologiya, atrof-muhitni muhofaza qilish va iqlim o'zgarishi vazirligining rasmiy sayti: eco.gov.uz
- [14] Xalqaro ekologik tashkilotlar veb-saytlari (UNEP, Greenpeace, WWF)
- [15] Ilmiy va statistik ma'lumotlar joylashtirilgan veb-portallar (ResearchGate, Google Scholar)
- [16] Husanov, N., and Sh Abdukhalilova. "Heat change processes in a shell-and-tube heat exchanger." Science and innovation 1.A7 (2022): 721-725.
- [17] Usmanova, N., and Sh Abdukhalilova. "shell-and-tube heat exchanger design with increased turbulence of the

heated liquid flow" Science and innovation 1.A7 (2022): 726-731.

Mualiflar haqida ma'lumot

Abduxalilova Farg'ona davlat texnika universiteti
Shaxnozakhon assistenti, O'zbekiston
Baxtiyorbek e.mail: shahnozaabduxalilova7@gmail.com
qizi ORCID:0000-0002-6849-5914

Muxtorov Farg'ona davlat texnika universiteti, 8-21
Elbek MKQr guruhi talabasi.
Ilxomjon
o'g'li



Modern equipment for ecology protection

Sh.B. Abdukhalilova¹

¹Fergana State Technical University, Uzbekistan

Abstract: This article analyzes the significance of modern equipment in ensuring environmental sustainability and protection. Technologies such as air purification, waste recycling, water resource conservation, and the utilization of renewable energy sources are extensively discussed as means to mitigate environmental issues. The article also provides information on the state policy being implemented in Uzbekistan regarding environmental protection, the declaration of 2025 as the "Year of Environmental Protection and Green Economy," and advanced innovations in this field. This study aims to reveal the potential for effective use of modern technologies in achieving environmental sustainability.

Keywords: Ecological sustainability, HEPA filter, air purifier, bioplastic, energy efficiency, solar panels, wind turbines, wastewater treatment

1. Introduction

As humanity continues to develop, environmental problems are also on the rise. Environmental pollution, increasing waste, and the unsustainable use of natural resources are creating global challenges. As a result, science and technology are offering effective solutions to these problems. Modern equipment and innovative solutions are creating opportunities to protect nature, conserve natural resources, and reduce waste.

In Uzbekistan, environmental protection is also considered one of the priorities of state policy. Decrees and resolutions adopted by our President are laying the foundation for significant changes in this field. Specifically, the laws "On Ecology and Environmental Protection," programs for waste management and recycling, as well as decrees on the development of green energy projects are aimed at ensuring environmental sustainability.

In today's world, environmental protection is one of the most crucial tasks facing humanity. As technology advances, new innovative methods and modern equipment are being developed to safeguard the environment. This article discusses some contemporary equipment that helps mitigate ecological problems.

2. Air purification equipment

Air pollution has become a major problem as a result of industrialization and urbanization. Modern air purification equipment is being developed to mitigate this issue. For example:

HEPA-filtered air purifiers – effectively remove fine particles from the air and help reduce allergies or respiratory diseases.

HEPA filter – These filters capture up to 99.97% of particles as small as 0.3 microns in the air.

Air purifier equipped with Tefal NanoCaptur® filter – This device effectively eliminates harmful substances such as formaldehyde.

Xiaomi Smart Air Purifier 4 Lite – A compact and smart air purifier that efficiently removes dust, allergens, and other pollutants from the air.

Philips air purifier – This device is equipped with a high-performance HEPA filter, which delivers excellent results in air purification.

Electrostatic filters are used to reduce emissions from industrial enterprises, which prevents air pollution and ensures environmental sustainability.

Vertical forests help purify the air by incorporating plants on the exterior of buildings, which not only improves air quality but also aesthetically enhances the urban environment.

3. Recycling and Waste Management Technologies

Recycling waste is crucial to prevent its accumulation. Some technologies used in this field include:

Automated waste sorting equipment - automatically separates waste by type and accelerates the recycling process, which increases recycling efficiency.

Bioplastic production - products made from biodegradable materials instead of traditional plastic reduce environmental harm and contribute to faster waste decomposition.

Energy conversion plants allow for the generation of energy from waste through recycling, which reduces dependence on traditional energy sources.

4. Water Resources Protection Technologies

Water is a source of life, and its pollution is a serious problem. The following equipment is used for water protection:

Intelligent filters detect and purify harmful substances in water, which improves the quality of drinking water.

Wastewater treatment systems contribute to the treatment and recycling of industrial and domestic wastewater, which contributes to the reduction of pollution of natural water sources.

Drip irrigation systems - are used to reduce water consumption and efficient irrigation, which plays an important role in water conservation for agriculture.

5. Solar and wind energy installations

Traditional energy sources cause many environmental problems. Therefore, the use of renewable energy sources is of great importance:

Solar panels - converting solar energy into electricity, reducing the use of traditional energy sources, while simultaneously reducing electricity costs.

Wind turbines - allow for the efficient use of wind energy, the production of environmentally friendly energy, and reduce harmful emissions into the atmosphere.

Energy-efficient technologies help save electricity in homes and manufacturing enterprises, thereby reducing the carbon footprint.

6. Conclusion

The importance of modern equipment in environmental protection is very great. Maintaining clean air, water, and land, recycling waste, and utilizing renewable energy sources are crucial steps for the future of humanity. Along with the development of technologies, their rational use and the fight against environmental problems is the duty of every person. At the same time, public-private partnership plays a crucial role in overcoming environmental crises. Moreover, raising environmental literacy among the population and encouraging the use of modern technologies will help preserve a clean and healthy environment for future generations.

Foydalanilgan adabiyotlar / References

- [1] Decrees of the President of the Republic of Uzbekistan on Environmental Protection and the Development of the "Green" Economy
- [2] Law "On Environmental Protection"
- [3] The Strategy for Transition to a Green Economy and Ensuring Environmental Sustainability (adopted in 2022)
- [4] United Nations Environment Programme (UNEP)
- [5] International Energy Agency (IEA) – Reports on Renewable Energy Sources
- [6] World Bank – Research on Environmental Sustainability and Climate Change
- [7] Nazarov, A. "Ekologiya va atrof-muhit muhofazasi", Toshkent, 2021

- [8] Xodjayev, Sh. "Yashil texnologiyalar va energiya manbalari", Toshkent, 2020
- [9] Tursunov, B. "Havoni tozalash va chiqindilarni qayta ishlash usullari", Toshkent, 2019
- [10] "Ekologiya va rivojlanish" – O'zbekiston ekologik jurnali
- [11] "Yashil iqtisodiyot va innovatsiyalar" – ilmiy jurnal
- [12] "International Journal of Environmental Science" – xalqaro ekologik tadqiqotlar jurnali
- [13] O'zbekiston Respublikasi Ekologiya, atrof-muhitni muhofaza qilish va iqlim o'zgarishi vazirligining rasmiy sayti: eco.gov.uz
- [14] Xalqaro ekologik tashkilotlar veb-saytlari (UNEP, Greenpeace, WWF)
- [15] Ilmiy va statistik ma'lumotlar joylashtirilgan veb-portallar (ResearchGate, Google Scholar)
- [16] Husanov, N., and Sh Abdukhaliyeva. "HEAT CHANGE PROCESSES IN A SHELL-AND-TUBE HEAT EXCHANGER." Science and innovation 1.A7 (2022): 721-725.
- [17] Usmanova, N., and Sh Abdukhaliyeva. "SHELL-AND-TUBE HEAT EXCHANGER DESIGN WITH INCREASED TURBULENCE OF THE HEATED LIQUID FLOW." Science and innovation 1.A7 (2022): 726-731.

Mualiflar haqida ma'lumot

**Abduxalilova
Shaxnozakhon
Baxtiyorbek qizi** Farg'ona davlat texnika universiteti
assistenti, O'zbekiston
e.mail:
shahnozaabduxalilova7@gmail.com
ORCID:0000-0002-6849-5914



The use of advanced computational methods in reliable river flow prediction

D.E. Atakulov, D.A. Zhumabaeva¹, K.T. Rakhimov²

¹“Tashkent Institute of irrigation and agricultural mechanization Engineers” National Research University, Tashkent, Uzbekistan

²Tashkent State transport University, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: Research on the Yangtze and Narmada Rivers has focused on predicting river flow and preventing flooding. The minimum prediction period of numerical computing methods is about a month ago, which is also achieved because it is calculated too short for use in hydrological applications by combining a deep neural network - empirical mode degradation (EMD) algorithm and an encoder-decoder Long-Short-Term Memory (En-de-LSTM) architecture to predict river flow in a study conducted on the Yangtze River. Monthly flow data from the Hankou hydrological station on the Yangtze River (January 1952 to December 2008) was selected to teach the model, and results were obtained for two years and ten years of continuous predictions of floods. To achieve a reliable and accurate result, modern programs CatBoost, LGBM, Random Forest and XGBoost are used. When checking the consistency of the calculation results, the mean quadrad error (MSE), mean absolute error (MAE), root mean quadrad error (RMSE), root mean quadrad percentage error (RMSPE), normalized root mean quadrad error (NRMSE), and quadrad error (R2) indicators are used. Among the above models, Random Forest has shown to be able to produce effective results even in complex conditions of hydrological prediction.

Keywords: Narmada river, river flow management, cat raising, Lgbm, random medium, XGBoost, LSTM, Yangtze River

Daryo oqimini ishonchli bashorat qilishda ilg'or hisoblash usullaridan foydalanish

Atakulov D.E., Jumabayeva D.A.¹, Rakhimov Q.T.²

¹“Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti” milliy tadqiqot universiteti, Toshkent, O'zbekiston

²Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Yangtze va Narmada daryolaridagi tadqiqotlar daryo oqimini bashorat qilish va toshqinlarning oldini olishga qaratilgan. Raqamli hisoblash usullarning minimal bashorat davri taxminan bir oy oldin bo'lib, bu esa gidrologik qo'llanmalarda foydalanish uchun juda qisqa hisoblanganligi uchun ham Yangtze daryosida olib borilgan tadqiqotda daryo oqimini bashorat qilish uchun chuqur neyron tarmog'i - Empirik Rejimni Degradatsiya qilish (EMD) algoritmi va Kodlovchi-Dekodlovchi Uzun-Qisqa Muddatli Xotira (En-De-LSTM) arxitekturasini birlashtirish orqali amalga oshiriladi. Yangtze daryosidagi Hankou gidrologik stansiyasining oylik oqim ma'lumotlari (1952-yil yanvardan 2008-yil dekabr gacha) modelni o'rgatish uchun tanlandi va toshqinlar bo'lgan ikki yil va o'n yillik doimiy bashoratlari uchun natijalar olindi. Ishonchli va aniq natijaga erishish uchun CatBoost, LGBM, Random Forest va XGBoost zamonaviy dasturlari qo'llaniladi. Hisoblash natijalari muvofiqligini tekshirishda o'rtacha kvadrat xatolik (MSE), o'rtacha absolyut xatolik (MAE), ildiz o'rtacha kvadrat xatolik (RMSE), ildiz o'rtacha kvadrat foiz xatosi (RMSPE), normallashtirilgan ildiz o'rtacha kvadrat xatolik (NRMSE) va kvadrat xatolik (R2) ko'rsatkichlaridan foydalaniladi. Yuqoridagi modellar orasida Random Forest gidrologik bashoratlarning murakkab sharoitida ham samarali natija bera olishini ko'rsatdi.

Kalit so'zlar: Narmada daryosi, daryo oqimini bashorat qilish, CatBoost, LGBM, Random Forest, XGBoost, LSTM, Yangtze daryosi

1. Kirish

Daryo oqimlarining murakkabligi va ularning dinamikasi jadal o'zgarib turishi sababli, ularni aniq va ishonchli prognoz qilish suv resurslarini to'g'ri tarzda boshqarishda katta ahamiyatga ega. An'anaviy hisoblash usullari yordamida bo'lsa aniq natijaga erishish ehtimoli juda ham kam. Sababi, bu usullar aksariyat hollarda daryo tizimlaridagi murakkab bog'liqlikni to'liq hisobga olmaydi va o'zgaruvchan muhitga moslasha olmaydi [1].

An'anaviy hisoblash usullaridan farqli ravishda zamonaviy hisoblash usuli atrof - muhit o'zgarishiga moslashgan va daryo oqimining ko'p yillik tarixiy ma'lumotlari asosida ish olib boradi. An'anaviy raqamli modellar odatda faqat bir oy oldingi prognozlarni bera oladi — bu esa amaliy gidrologik natijalar uchun juda qisqa muddatdir. Ikkinchidan, ko'plab statistik usullar to'liq yuqori toshqin oqimini aniq prognoz qila olmaydi, holbuki bu oqim prognozining asosiy maqsadi hisoblanadi. Uchinchidan, daryo oqimlari prognozi bo'yicha olib borilgan ko'pgina tadqiqotlar yillik, mavsumiy, kundalik

yoki hattoki soatlik miqyoslarda bo'lgan. Biroq, Yangtze daryosida toshqin mavsumi odatda yiliga 2–3 oy davom etadi. Shu sababli, oylik oqim prognozining asosiy maqsadi toshqinlarni nazorat qilish va tabiiy ofatlarga qarshi kurashdir. Suv xo'jaligi tashkilotlari uchun 2–3 oy yoki hatto 6 oy oldindan yuqori oqimdagi keskin o'zgarishlar haqida ma'lumotga ega bo'lish nihoyatda muhim. Bu gidrologik ofatlarning oldini olish va yumshatishda katta ahamiyatga ega. Zamonaviy hisoblash usullari jarayonni amalga oshirish uchun ma'lumotlarning sifati, yaratilayotgan modelning tushuntirilishi va katta hajmdagi ma'lumotni talab etadi. So'nggi yillarda ma'lumotlarga asoslangan modellashirish yondashuvlari, Empirik Model Dekompozitsiyasi (EMD) bilan birlashtirilib, fizik asosli modellar o'rniga keng qo'llanilmoqda [2]. Bir nechta tadqiqotchilar EMD va uning modifikatsiya qilingan turlarini mashinali o'rganish modellariga qo'shib, oqim oqimi tendensiyalarini prognoz qilishga harakat qilishgan. Masalan, Huang va boshqalar hamda Meng va boshqalar modifikatsiya qilingan EMD usulidan foydalangan va yaxshiroq natijalarga erishgan. Wang, Xu va boshqalar esa PSO algoritmi yordamida EMD va Support Vector Machine (SVM) ni birlashtirib, yog'ingarchilik oqimni bashorat qiluvchi modelni taqdim etgan. Biroq bu EMD asosidagi SVM modellarida sekin o'rganish, lokal minimumda "ilinish", sadel nuqtalar va ortiqcha moslashish (overfitting) kabi kamchiliklar mavjud. Bundan tashqari, ularning hech biri 5 yildan uzun muddatli prognoz bermagan [3]. Ushbu tadqiqotda EMD va Enkoderni-dekoderli uzoq qisqa muddatli xotira tarmog'i (En-De-LSTM) ni birlashtirgan model taklif etildi. Ushbu model Yangtze daryosidagi Hankou gidrologik stansiyasi uchun 10 yillik oylik oqim ma'lumotlarini prognoz qilishga qaratilgan. Taklif etilgan model EMD usulining turli chastotali ma'lumotlarni ajratish afzalliklari va LSTM neyron tarmog'ining vaqt qatorlarini qayta ishlashdagi ustunliklarini o'zida mujassamlashtiradi. Bu yondashuv an'anaviy raqamli va fizik asosli modellar hamda ANN lar olib keladigan muammolarni bartaraf etishga xizmat qiladi [4]. Shuningdek, so'nggi yillarda ko'pchilik tadqiqotchilar zamonaviy hisoblash modellaridan gidrologiya sohasida keng foydalanib kelishmoqda. Bu modellarining o'zgaruvchan muhitda samaraliligi tufayli dunyoning eng rivojlangan Xitoy, AQSH kabi davlatlari ham foydalanib, yuqori aniqlikdagi har soatlik, kunlik va oylik ma'lumotlarga ega bo'lishmoqda. Masalan, Lin et al FFNN va LSTM modellari yordamida Xitoyning Andun ko'rfazini soatlik daryo oqimi ma'lumotlarini olishga erishgan. Rasouli et al SVR va MLR modellarini o'rganish orqali Kanada suv havzasining kunlik oqimlar bashoratini olgan [5]. Fut et al ham LSTM modeli yordamida Malayziyaning Kelantan daryosi oqimini bashorat qilishda yuqori natijaga erisha oldi. Achieng bo'lsa iqlim o'zgarishining daryo oqimiga ta'sirini SVR modelini yordamida o'rganib chiqqan. Olimlar shu kabi tadqiqotlarida zamonaviy hisoblash usullari bo'lgan ANFIS, AdaBoost, ELB, ANN-BP, ELM, MLP, CNN kabi dasturlardan gidrologiya sohasida keng foydalanishmoqda. Har qanday tabiiy jarayonlarni modellashirishda jarayonning geografik imkoniyatlari bilan birgalikda zamonaviy hisoblash usuli o'rtasida uzviy bog'liqlik mavjud [6]. Yuqoridagi kabi samarali dasturlar prognozlash sohasida sezilarli natija ko'rsatishiga qaramasdan Narmada daryosida bu yo'nalishdagi ishlar yetarli darajada amalga oshirilmagan [7]. Tadqiqotda foydalanilgan 4 ta model ham zamonaviy model hisoblanib, har bir tegishli ko'rsatkichlari bo'yicha ustunlikka ega.

2. Tadqiqotning maqsadi

Yangtze daryosida yiliga 2-3 oy davomida toshqin holati kuzatilganligi bois, ushbu hududda o'tkazilgan tadqiqot aynan ushbu jadal suv toshqini davrini oldindan bashorat qilib, tabiiy talofatlarning oldini olish va suv toshqini hajmining eng yuqori qiymati ma'lumotlariga 6 oy oldindan ega bo'lishga qaratilgan. Tadqiqotni amalga oshirish uchun (En-De-LSTM) va EDM dasturlarini kombinatsiyalashtirgan holda uzoq muddatli bashoratga erishish hisoblanadi. Narmada daryosi suv oqimini prognoz qilishda daryoning oldindan belgilab olingan 5 ta stansiyasidan olingan tarixiy ma'lumotlaridan foydalanib ilg'or hisoblash dasturlari hisoblanadigan CatBoost, LGBM, Random Forest, XGBoost lardan foydalanish va qaysi dastur samarali natija berishini aniqlashdan iborat. Natijada, gidrologik jarayonlarni chuqur o'rganibgina qolmasdan, ushbu hududda sel va toshqin kuzatilishi ma'lumotlarini oldindan bilib, tayyorgarlik ko'rish imkoniyati yaratiladi.

3. Tadqiqot obyekti

Yangtze daryosi Xitoydagi eng katta va dunyoda uzunligi bo'yicha 3-o'rinni egallovchi daryo hisoblanadi. Uzunligi 5800 m², havzasining maydoni 1808,5 ming km². Kengligi 300-600 metr, daralardan o'tgan joyida 120–200 m, chuqurligi 80-110 m. O'rtacha suv sarfi 34 ming m³/sek, rejimi mussonli, yoz oylarida tekislik qismida suv sathi 10 m gacha ko'tariladi. Ushbu tadqiqot ma'lumotlari Hankou gidrologik stansiyasidagi gidrologik ma'lumotlarga asoslangan. Hankou gidrologik stansiyasi, Vuxan shahrida joylashgan bo'lib, Yantsze daryosining o'rta va quyi havzasi chegarasida joylashgan. Vuxan shahri, Tsyanxan tekisligining sharqiy qismida joylashgan bo'lib, markaziy Xitoydagi eng yirik shahar va Yantszi daryosi havzasidagi eng katta shaharlardan biridir. Aynan shu yerda Yantszi daryosining eng katta irmog'i - Xanjiang daryosi Yantszi daryosi tizimiga qo'shiladi. Xitoydagi toshqinlarning taxminan 70 foizi Yantszi daryosi havzasida sodir bo'ladi. Xitoy meteorologiya boshqarmasi ma'lumotlariga ko'ra, ushbu daryodagi toshqinlar asosan musson mavsumida, ya'ni iyun-sentabr oylarida ro'y beradi. Ayrim yillarda esa vayronkor toshqinlar yuz bergan. Vuxanning geografik joylashuvi tufayli har safar katta toshqinlar shaharga ham katta zarar yetkazgan. 1998-yilda, subtropik yuqori bosim zonalarida ta'sirida bir necha hafta davom etgan kuchli yog'ingarchilik Yantszi daryosi havzasida suv sarfini toshqin mavsumidagidan uch baravar oshishiga olib kelgan. Natijada, bu Yantszi daryosi havzasida so'nggi 50 yildagi eng katta toshqinga aylangan.

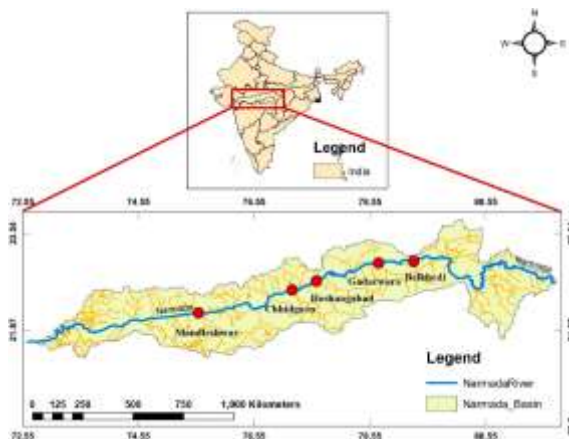


1-rasm. Yangtze daryosi havzasi va Wuhan shahridagi Hankou gidrologik stansiyasining joylashuvi

Ilgari Narbada nomi bilan ham tanilgan yoki Nerbudda nomi bilan atalgan Narmada daryosi Hindistondagi eng uzun 5-daryo va umuman mamlakatdagi eng uzun g'arbiy daryodir. Bu Madhya-Pradesh shtatidagi eng katta oqadigan daryo hamdir. Bu daryo Hindistonning Madhya-Pradesh va Gujarat shtatlaridan oqib o'tadi. Narmada daryosi nafaqat ekotizim uchun balki insoniyat jamiyati uchun ham muhim suv manbai hisoblanadi. hududning qishloq xo'jaligi, sanoat va kommunal xo'jalik sohaslarini suv bilan ta'minlashda katta ahamiyatga ega.

4. Ma'lumot yig'ish

Tadqiqot obyekti hisoblangan Narmada daryosining oqimini prognozlashdagi har kunlik ma'lumotlar daryoning yirik stansiyalari bo'lgan - Belkhedi, Gadarwara, Hoshangabad, Chhidgaon and Mandleshwar stansiyalaridan olindi. Bundagi 1978-yildan 2020-yilgacha bo'lgan gidrologik ma'lumotlar bilan Hindiston Suv Resurslari Ma'lumoti Tizimi ta'minladi.



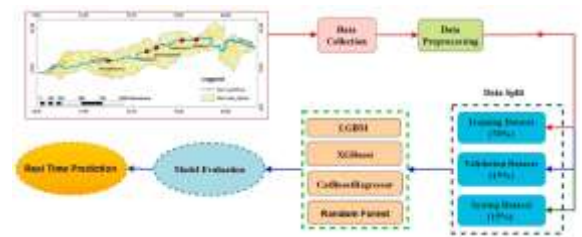
2-rasm. Narmada daryosining 5 ta stansiya bo'ylab joylashuvi

Yangtze daryosida olib borilgan tadqiqotda Hankou gidrologik stansiyasidagi oqim sarfi (streamflow) ma'lumotlariga qaratilgan. Tadqiqotda foydalanilgan ma'lumotlar Yantszi daryosi suv resurslari komissiyasi tomonidan to'plangan va 1952-yil yanvardan 2018-yil dekabr gacha bo'lgan oyma-oy oqim sarfi ma'lumotlarini o'z ichiga oladi. Ushbu tadqiqotda 1998 va 2016 yillardagi (ikki eng halokatli toshqin yili) Hankou gidrologik stansiyasining oqim sarfi ma'lumotlari tanlanib, prognoz qilish ishlari amalga oshirildi. Bundan tashqari, 2009-yil yanvardan 2018-yil dekabr gacha bo'lgan o'n yillik uzluksiz harakatlanuvchi prognozlar asosida uzoq muddatli prognozlash salohiyati tekshirildi.

5. Metod

Modelni qurish uchun birinchi navbatda ko'p yillik tarixiy ma'lumotlar (1978 – 2020) – meteorologik o'zgarishlar va gidrologik parametrlar yig'ildi. Keyingi bosqich ma'lumotlarni tozalash, yetmayotgan ma'lumotlarni to'ldirish va analiz qilishdan iborat. Keyin tajribada ko'rilayotgan 4 ta modeldan eng samaralisi tanlab olindi va model qurildi. Bu bosqichda eng kamida 1 million ma'lumot talab qilinadi. Bu ma'lumotning 70 % i modelni

qurish uchun, 30 % I model aniqligini tekshirish uchun foydalanildi.



3-rasm. Bajirilgan ishlar ketma-ketligi

Tegishli ko'rsatkichlarni aniqlash formulalari:

$$MSE = (1/n) * \sum [(y_i - \hat{y}_i)^2] \quad (1)$$

$$MAE = (1/n) * \sum |y_i - \hat{y}_i| \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{MSE} = \sqrt{[(1/n) * \sum [(y_i - \hat{y}_i)^2]]} \quad (3)$$

$$RMSPE = \sqrt{[(1/n) * \sum [(y_i - \hat{y}_i)/y_i]^2]} \quad (4)$$

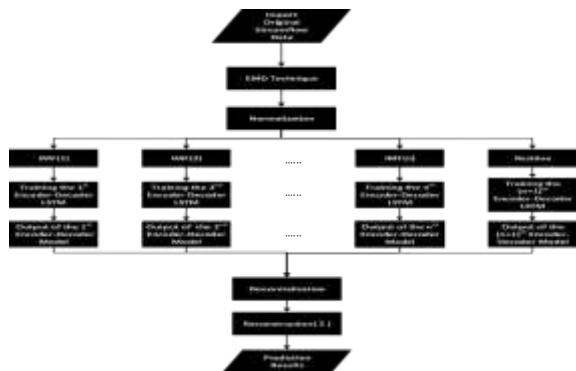
$$NMSPE = \frac{\sqrt{MSE}}{\max(y) - \min(y)} \quad (5)$$

$$R^2 = 1 - (\sum [(y_i - \hat{y}_i)^2] / \sum [(y_i - \bar{y})^2]) \quad (6)$$

Bu yerda, n ma'lumotlar nuqtalarining umumiy sonini ifodalaydi. y_i – umumiy ma'lumotlar uchun bog'liq o'zgaruvchining haqiqiy kuzatilgan qiymati. $\hat{y}_i$ – umumiy ma'lumot nuqtalari uchun bog'liq o'zgaruvchilari taxmin qilingan qiymati. $\max(y)$ $\min(y)$ – haqiqiy maqsadli o'zgaruvchining maksimal va minimal qiymati. Σ – har bir nuqta uchun kvadrat og'ishlar qiymati, $\bar{y}$ – bog'liq o'zgaruvchining o'rtacha qiymati. EMD (Empirical Mode Decomposition) usuli yordamida vaqt qatoridagi ma'lumotlar bir nechta ichki modalar (IMF) va qoldiqqa ajratiladi. Bu usul chiziqli va o'zgaruvchan bo'lmagan signallarni bo'lib, har bir qismini alohida tahlil qilish imkonini beradi. Har bir IMF original signal bilan bir xil uzunlikda bo'lib, signalning turli chastotali xususiyatlarini ifodalaydi. Keyin ushbu IMFlar alohida normalizatsiya qilinib, En-De-LSTM (Encoder-Decoder LSTM) modeliga kiritiladi. LSTM esa vaqt ketma-ketligidagi uzoq muddatli bog'liqliklarni eslab qolish va keraksiz ma'lumotni unutish xususiyatiga ega. Bu xususiyatlar noaniq va murakkab ma'lumotlarni prognoz qilishda katta yordam beradi. En-De-LSTM arxitekturasida esa signalni kodlab, keyin uni qayta tiklash orqali yanada aniqroq prognozlarni yaratadi. Shu tarzda, har bir IMF uchun alohida prognoz qilinadi. Modelni o'qitishda uning parametrlarini optimallashtirish uchun Grid Search usuli qo'llaniladi. Bu usul model uchun eng yaxshi parametrlarni topishda yordam beradi. Barcha IMFlar bo'yicha olingan natijalar asl o'lchovga qaytariladi va ularning yig'indisi sifatida yakuniy oqim prognozi hosil qilinadi. Shunday qilib, EMD va En-De-LSTM yondashuvlari birgalikda murakkab, o'zgaruvchan gidrologik vaqt qatorlarini yuqori aniqlikda prognoz qilish imkonini beradi. Bu esa oqim bashoratlarining ishonchligini oshiradi va ekstremal holatlarni yaxshiroq aniqlashga yordam beradi.

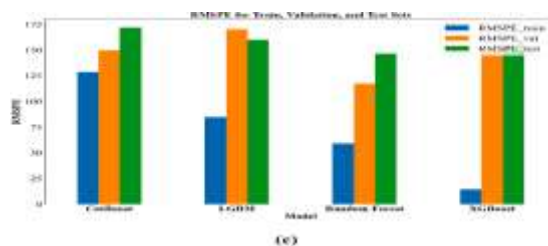
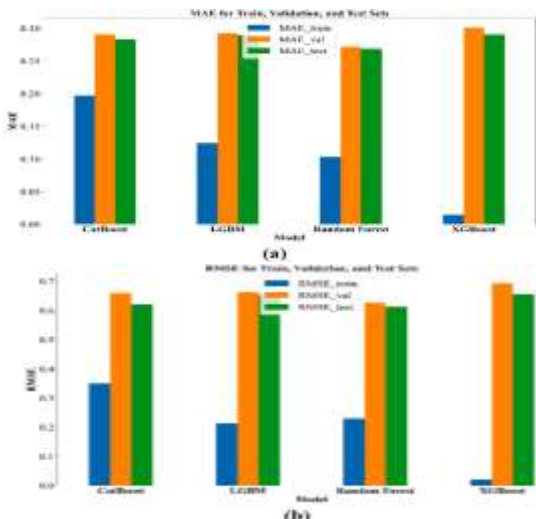
6. Natijalar

Ushbu modellarning ishlashini baholashda asosiy ko'rsatkichlar sifatida o'rtacha kvadrat xatolik (MSE), mutloq xatolik (MAE), o'rtacha ildiz kvadrat xatolik (RMSE), me'yorlashtirilgan kvadrat xatolik (NRMSE) va kvadrat xatolik (R2) olindi.

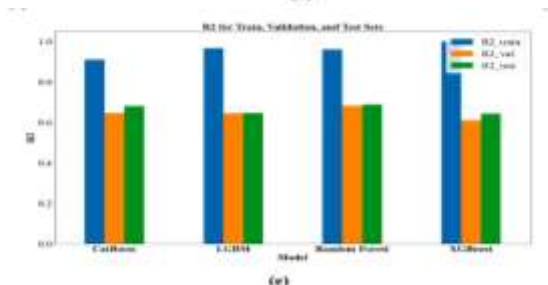
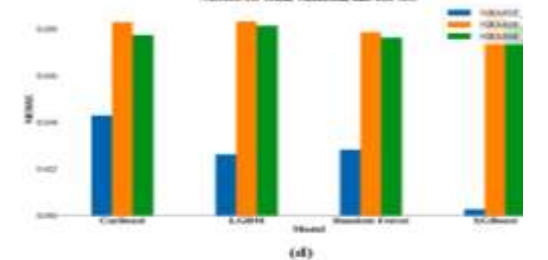


4-rasm. Taklif etilgan modelning blok-sxemasi

Har bir model bashorat qilish aniqligining turli sohaslarida o'zining kuchli tomonlarini ko'rsatdi. MAE 0.2 va RMSE 0.35 ko'rsatkich bilan CatBoost aniq prognoz qila olishini ko'rsatdi. 0.91 R bilan oqim ma'lumotlarining asosiy tendensiyalarini qamrab olish xususiyatini ko'rsatdi. LGBM MSE 0.05 va RMSE 0,21 bilan Car Boost va Random Forest dan yuqori ko'rsatkichga erishdi. XG Boost 0.98 R2 qiymatga ega bo'lib, mukammal bashoratli aniqlikni va oqim dinamikasini aniq qayd etishini ko'rsatdi. Random Rorest esa 0.96 R2 natijani ko'rsatdi. MAE qiymat bo'yicha CarBoost va LGBM 0.29, XG Boost 0,31 va Random Forest 0,27 qiymatga ega bo'ldi. Natijada Random Forest modeli bashorat qilishi aniqroq ekanligini ko'rsatdi. RMSE 0.63 bilan Random Forest tekshiruvdan so'ng xatolarni kamaytirishi mumkinligini ko'rsatdi. NRMSE 0.08 va RMSPE 115.6 qiymatlari bilan istiqbollari natijalar berishini ko'rsatdi.

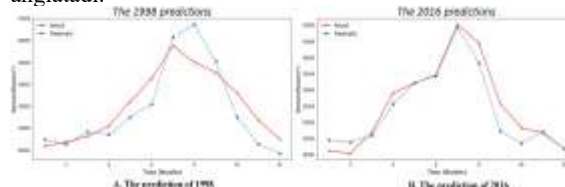


Yangtze daryosidagi tadqiqotda 2016-yil natijalari bo'yicha, yanvardan avgustgacha bo'lgan bashorat juda aniq bo'lib, ayniqsa toshqin mavsumida bashorat qilingan qiymatlar amaldagi ma'lumotlarga deyarli to'g'ri keladi.



5-rasm. Dasturlarning tegishli ko'rsatkichlar ((MSE), (MAE), (RMSE), (RMSPE), (NRMSE), (R2)) bo'yicha natijalari

2016 va 1998 yillarning har ikkala holatida ham R2 qiymati 0.8 dan yuqori va LMI qiymatlari 0.65 ga yaqin. Shuningdek, 2016-yildagi bashorat 1998-yildagi bashoratga qaraganda aniqroq bo'lgan. 1998-yilda kuzatilgan maksimal suv sarfi 2016-yildagi bashoratga qaraganda taxminan 40% ga yuqori bo'lgan. 1998-yildagi bashoratlar uchun ishonch oralig'i 2016-yildagiga qaraganda kengroq, bu esa tarixiy ekstremal qiymat (eng yuqori suv sarfi) bilan bog'liq. Oddiy yillardagi bashoratlar haqiqiy qiymatlarga anomal toshqin yillaridagi bashoratlarga qaraganda yaqinroq. Shuning uchun, 1998-yildagi kabi ekstremal maksimal holatlar, masalan, yuqori suv sarflarini hozirgi model yordamida bashorat qilish qiyin. Shunga qaramay, deyarli barcha nuqtalar regressiya chizig'iga yaqin joylashgan, bu esa taklif etilgan modelning toshqin bashorat qilish salohiyati yetarli ekanligini anglatadi.



6-rasm. 1998 – va 2016-yillardagi haqiqiy va bashorat qilingan oqim

7. Muhokama

Har bir ko'rsatkich ma'lum tomondan yaxshi natija berdi: XGBoost mukammal bashoratli aniqlik va oqim dinamikasini aniq qayd etishini ko'rsatdi. Lekin, 5 – rasmdagi natijalardan xulosa qilgan holda Random Forest eng yuqori aniqlikda daryo oqimi harakatini bashorat qila olishi va xato qilish ko'rsatkichi kam deya xulosa qilindi. CarBoost, LGBM va XG Boost ham ma'lum yo'nalishda o'z ustunliklariga ega bo'lishlarda, umumiy ko'rsatkichda Random Forest kabi ishonchli va aniq bashoratlay olmaydi degan xulosaga kelindi. Taklif qilingan model EMD va En-De-LSTM arxitekturasida asosida 6 oylik Min-Pd bilan birlashtirilgan. Eng yaxshi natijalarni aniqlash uchun turli LSTM modellari (Vanilla LSTM, Stacked LSTM, En-De-LSTM) va har xil Min-Pd qiymatlarini 2018 yilgi 12 oylik oqim ma'lumotlari yordamida taqqosladik. Birinchi bosqichda, Vanilla LSTM'dan En-De-LSTM'gacha bo'lgan modellar taqqoslandi. Model qatlamlari soni ortgan sayin aniqlik yaxshilandi. En-De-LSTM eng murakkab va eng aniq natijalarni berdi. Bu shuni ko'rsatadiki, qatlamlar soni ko'paygani sayin modelning natijasi ham barqaror va ishonchli bo'ladi. Keyin turli Min-Pd (6, 12, 18, 24 oy) qiymatlari uchun modellar sinovdan o'tkazildi. 12 oylik Min-Pd yillik oqim o'zgarishini to'liq saqlaydi va oqim tendensiyalarini yaxshi o'rgana oladi. 6 oylik Min-Pd esa yil davomidagi yarmi uchun ma'lumotdan foydalanadi va eng aniq bashoratlarni beradi. 18 va 24 oylik Min-Pd esa uzoqroq muddatni qamrab oladi, lekin oqimdagi asosiy o'zgarishlarni to'liq aks ettira olmaydi, shuning uchun natijalar kamroq aniq chiqadi. Grafik va jadvallar ko'rsatganidek, En-De-LSTM modeli bilan 6 oylik Min-Pd eng yaxshi natijalarni berdi. Ushbu modelda xatoliklar (RMSE) eng past va prognozlar real ma'lumotlarga eng yaqin. Bundan tashqari, 12 oylik Min-Pd ham yaxshi natijalar ko'rsatdi, lekin 6 oylik Min-Pdga qaraganda biroz pastroq. Vanilla LSTM va Stacked LSTM modellari EMD bilan birlashtirish ham natijalarni yaxshiladi, lekin En-De-LSTM bilan solishtirganda, ular biroz pastroq darajada qoladi. 7-rasm. Vanilla, Stacked va En-De LSTM modellari EMD bilan birlashtirilgan holdagi taqqoslash. Xulosa qilib aytganda, EMD va En-De-LSTM arxitekturasida, ayniqsa 6 oylik Min-Pd bilan birgalikda, oqim bashoratlarida eng ishonchli va aniq natijalarni beradi. Bu model suv oqimining o'zgarishini yaxshi tushunadi va eng muvaffaqiyatli prognozlarni yaratadi.

8. Xulosa

Ushbu maqolada Yantsze daryosining oylik oqim sarfini prognoz qilish uchun EMD asosidagi yangi gibril Encoder-Decoder LSTM modeli (6 oylik minimal davr bilan) taklif qilindi. Bashorat ikki jihatdan amalga oshirildi:

1. Toshqin bashorati, ya'ni toshqin mavsumi bashorati. Bu qismda 1998 va 2016 yillardagi to'liq ma'lumotlar modelning samaradorligini baholash uchun ishlatildi. Ushbu yillarda tadqiqot hududi toshqinlardan aziyat chekkan. Toshqin bashoratining yakuniy natijalari qoniqarli bo'lib, R^2 qiymati har ikkala yilda ham 0.8 dan yuqori bo'ldi, LMI (Linear Matching Index) qiymati esa 0.65 ga yaqinlashdi. Bu natijalar modelni toshqinlarni oldindan prognoz qilishda foydalanish mumkinligini ko'rsatadi, aniqlik darajasi esa kamida 70% ga yetadi.

Ushbu tadqiqotda 2009 yildan 2018 yilgacha bo'lgan so'nggi 10 yillik davr bo'yicha prognoz amalga oshirildi. Bu tajriba bo'yicha WI (Willmott Index), LMI va R^2 ko'rsatkichlari juda yuqori bo'lib, modelning ishonchliligi va moslik darajasini tasdiqlaydi. Bundan tashqari, RMSE (Root Mean Square Error) atigi 1171.9 m³ bo'ldi. Yanada muhimrog'i — har bir yildagi mahalliy maksimumlar (toshqin cho'qqilari) kuzatilgan qiymatlar bilan deyarli to'g'ri yoki ulardan yuqori tarzda prognoz qilindi. Bu esa yillik suv taqsimoti, o'z vaqtida favqulodda toshqinlarga javob choralarini ko'rish va iqtisodiy rivojlanish uchun muhim ahamiyat kasb etadi.

Xulosa qilib aytganda zamonaviy hisoblash usullari qo'llanilishi Narmada daryosi hududida oqim bashorat qilishda yaxshi natijalarga erishdi. Bu bizga daryolar qanday ishlashi haqida ko'proq ma'lumot olishga yordam berdi. Kelajakda voqealarni to'g'ri bashorat qilishda ularning har biri ma'lum qismlarda eng yaxshi natijaga erishdi. XG Boost mashg'ulot vaqtida eng samarali usul edi. MAE va MSE ko'rsatkichida kam xatolarga yo'l qo'ydi. Ammo Random Forest treningda ma'lumotlar to'plamini sinovdan o'tkazish va saqlashda kuchli ekanini ko'rsatdi. Ushbu modellar Narmada daryosi kabi daryolarni boshqarishda qanday yo'l tutish kerakligi haqida tezkor qaror qilishda yordam beradi.

Foydalanilgan adabiyotlar / References

- [1] Liu D. et al. Streamflow prediction using deep learning neural network: case study of Yangtze River //IEEE access. – 2020. – T. 8. – C. 90069-90086.
- [2] Kedam N. et al. River stream flow prediction through advanced machine learning models for enhanced accuracy //Results in Engineering. – 2024. – T. 22. – C. 102215.
- [3] Abbass, Z. D., Maatooq, J. S., & Al-Mukhtar, M. M. (2023). Monitoring and modelling morphological changes in rivers using RS and GIS techniques. Civil Engineering Journal, 9(3), 531–543. Doi: 10.28991/CEJ-2023-09-03-03
- [4] Nones, M. (2020). Remote sensing and GIS techniques to monitor morphological changes along the middle-lower Vistula river, Poland. International Journal of River Basin Management, 19(3), 345–357. <https://doi.org/10.1080/15715124.2020.1742137>
- [5] Chadwick, A. J., Greenberg, E., & Ganti, V. (2023). Remote sensing of riverbank migration using particle image velocimetry. Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 128(6), e2023JF007177. <https://doi.org/10.1029/2023JF007177>
- [6] Islam, M. S., & Mitra, J. R. (2024). Quantification of Historical Riverbank Erosion and Population Displacement Using Satellite Earth Observations and Gridded Population Data. Earth Systems and Environment, 9, 375–388.
- [7] Zhou, N., Sheng, S., He, L.-Y., Tian, B.-R., Chen, H., & Xu, C.-Y. (2023). An Integrated Approach for Analyzing the Morphological Evolution of the Lower Reaches of the Minjiang River Based on Long-Term Remote Sensing Data. Remote Sensing, 15(12), 3093

Mualiflar haqida ma'lumot

**Atakulov
Dinislam
Ermag'anbet
o'g'li**

Toshkent "Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti" milliy tadqiqot universiteti, O'zbekiston, Toshkent

**Jumabayeva
Dinara Azat
qizi** Toshkent“Toshkent irrigatsiya va qishloq
xo‘jaligini mexanizatsiyalash muhandislari
instituti” milliy tadqiqot universiteti,
O‘zbekiston, Toshkent

**Raximov
Qudratjon
Toshbotirovich** Toshkent davlat transport universiteti,
O‘zbekiston, Toshkent



Assessment of hydraulic efficiency of inter-farm irrigation channels in the context of Field Research

A.J. Obidjonov¹, A.Kh. Suvankulov², A.R. Babaev¹, U.R. Chorashanbiev¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

²O'zsuvta'minoti AJ, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: 90-91% of the water resources in our country are focused on agriculture. More than 80% of the inter-farm irrigation channels are soil-dominated, and 30-35% of the water in these channels is lost by filtration. Studies suggest that the useful operating coefficient of irrigation networks is on average 0.63, indicating the need to improve the efficiency of water resource utilization. In this article, the hydraulic efficiency of the inter-farm irrigation channels located in the Tashkent region was assessed by taking natilas in field conditions. Ways were proposed to determine water consumption in canals, calculate filtration losses, and improve efficiency.

Keywords: Water consumption, irrigation network, hydraulic efficiency, filtration, field experience.

Xo'jaliklararo sug'orish kanallarini gidravlik samaradorligini dala tadqiqotlari sharoitida baholash

Obidjonov A.J.¹, Suvankulov A.X.², Babayev A.R.¹, Chorashanbiyev U.R.¹

¹Toshkent davlat transport universiteti, O'zbekiston, Toshkent

²O'zsuvta'minoti AJ, O'zbekiston, Toshkent

Annotatsiya: Mamlakatimizdagi suv resurslarining 90-91 foizi qishloq xo'jaligiga yo'naltirilgan. Xo'jaliklararo sug'orish kanallarining 80 foizdan ortig'i tuproq o'zanli bo'lib, ushbu kanallarda suvning 30-35 foizi filtratsiya natijasida yo'qoladi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatmoqdaki, sug'orish tarmoqlarining foydali ish koeffitsiyenti o'rtacha 0,63 ni tashkil etadi, bu esa suv resurslaridan foydalanish samaradorligini oshirish zarurligini ko'rsatadi. Ushbu maqolada Toshkent viloyatida joylashgan xo'jaliklararo sug'orish kanallarining gidravlik samaradorligi dala sharoitida natilalar olib baholab chiqildi. Kanallarda suv sarfini aniqlash, filtratsiya yo'qotishlarini hisoblash va samaradorlikni oshirish yo'llari taklif etildi.

Kalit so'zlar: Suv sarfi, sug'orish tarmog'i, gidravlik samaradorlik, filtratsiya, dala tajribasi.

1. Kirish

Qishloq xo'jaligida suv resurslaridan samarali foydalanish bugungi kundagi eng dolzarb muammolardan biridir. Ko'pgina hududlarda kanallar o'zanidan suvning bexuda sizib chiqishi muhim muammo bo'lib, bu holat muhandislik gidravlikasi va gidrotexnika sohalarida izchil tadqiqotlarni talab etmoqda. O'zbekiston Respublikasining 2030-yilgacha mo'ljallangan Harakatlar strategiyasida magistral va xo'jaliklararo kanallarning beton qoplamali qismini 13,1 ming kmga yetkazish ko'zda tutilgan. Biroq beton qoplamalarning yuqori qiymati va murakkab ekspluatatsiyasi yangi, arzonroq va samaraliroq qoplamalarni ishlab chiqish zaruratini yuzaga keltiradi. Shu sababli kompozit polimer qoplamalar asosida yangi texnologiyalar ishlab chiqish ushbu tadqiqotning asosiy yo'nalishlaridan biridir [1-3].

Suv resurslarining yildan-yilga qisqarishi natijasida ulardan oqilona foydalanish, tuproq o'zanli kanallarni qoplamali kanallarga o'zgartirish va kanalning foydali ish koeffitsiyentini oshirish bo'yicha ko'plab ishlar amalga oshirilmoqda[4-6].

2. Metodlar

Mamlakatimizda foydalanib kelinayotgan xo'jaliklararo sug'orish kanallarining 65 foizdan ortig'ini tuproq o'zanli

kanallar tashkil etadi. Ko'plab o'tkazilgan ilmiy tadqiqotlar natijasida kanaldagi suv yo'qotishlarining asosiy qismi filtratsiya jarayoni natijasida yuzaga kelishi aniqlangan[1-2]. Xo'jaliklararo sug'orish tarmog'i - bu suvni magistral kanaldan olib, uni foydalanuvchigacha yetkazib beruvchi oraliq tarmoq bo'lib, odatda tuproq o'zanli kanallar shaklida bo'ladi. Ko'plab tadqiqotlar suvning asosiy yo'qotish sababi filtratsiya ekanligini ko'rsatmoqda. Kanalning foydali ish koeffitsienti (FIK) quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$FIK = \frac{Q_{bosh}}{Q_{oxir}} \quad (1)$$

Bu yerda, Q_{bosh} - boshlang'ich suv sarfi, Q_{oxir} - oxirgi nuqtadagi suv sarfi.

O'zanida suvning o'rtacha tezligi quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$v = C \cdot \sqrt{Ri}, \text{ m/s} \quad (2)$$

Bu yerda, v - kanaldagi suv tezligi, m/s; C - Shezi koeffitsienti, $\text{m}^{0.5}/\text{s}$; R - gidravlik radius, m; i - gidravlik qiyalik (nishablik)[4-5].

Kanaldagi suv sarfi quyidagi formula orqali hisoblanadi:

$$Q = \omega \cdot C \cdot \sqrt{Ri}, \text{ m}^3/\text{s} \quad (3)$$

Bu yerda, ω - kanalning to'liq inlanayotgan kesim maydoni, m^2 ;

Shezi koeffitsientini N.P. Pavlovskiy taklif qilgan formula yordamida aniqlash tavsiya etiladi:

$$C = \frac{1}{n} \cdot R \quad (4)$$

Bu yerda, n - kanalning notekislik koeffitsienti.

To'rtburchak ko'ndalang kesimga ega kanal uchun kesim maydoni quyidagicha hisoblanadi:

$$\omega = b \cdot h \quad (5)$$

Yer o'zanidagi uzluksiz harakatlanuvchi kanallarda filtratsiya yo'qotishlarini hisoblash uchun N.N. Pavlovskiy tomonidan berilgan formuladan foydalanish lozim.

$$Q_f = 0,0116 \cdot (B_y + 2h) \cdot k_f, \quad (6)$$

kanalning 1 km.ga, m^3/s , yoki

$$\sigma = \frac{0,16 \cdot (B_y + 2h) \cdot k_f}{Q_f} \quad \text{kanalning 1 km.ga, \%}$$

Bu yerda, Q_f - kanaldagi filtratsiya natijasida 1 km uchun yo'qotilgan suv sarfi, m^3/s ; B_y - suv qisqartmasi bo'yicha o'zan kengligi, m; k_f - o'zan tuprog'ining filtratsiya koeffitsienti, m/kun; h - kanal suvining chuqurligi [4-6].

3. Natijalar

Toshkent viloyatida joylashgan xo'jaliklararo sug'orish tarmoqlari tadqiqot obyekti sifatida tanlab olindi. Xo'jaliklararo sug'orish tarmoqlari o'zani va uning atrofidagi hududlarning tuproq turlari jihatidan xilma-xildir. Xo'jaliklararo sug'orish tarmoqlari o'zani asosan to'q tusli bo'z tuproqlar, och tusli bo'z tuproqlar, suglinok, gil aralashmali, qum, shag'al va qumloq tuproqlardan tashkil topgani aniqlandi.

Turli joylardagi 5 ta xo'jaliklararo sug'orish tarmoqlari tanlab olindi (1-rasm) va ulardagi filtratsiya natijasida yo'qotilayotgan suv sarfi dala tajribalari natijasida aniqlangan.



1-rasm. Xo'jaliklararo sug'orish tarmog'lari

Suv sarfi xo'jaliklararo sug'orish tarmog'ining boshlang'ich nuqtasi va undan ma'lum bir masofadan keyin aniqlab olindi. O'lchov ishlari uchun uzunligi 2 metr, eni 1 metr, chiqarligi 1,5 metrga teng bo'lgan ko'chma metral qurilma ishlab chiqarildi. Suvning o'rtacha tezligini aniqlash uchun gidrometrik vertushkadan foydalanildi (2-rasm).



2-rasm. O'lchov qurilmalari

Har bir xo'jaliklararo sug'orish tarmog'ining ma'lum nuqtalarida qurilmadan o'tayotgan suvning chuqurligi hamda shu kesimdagi suvning turli chuqurliklardagi o'rtacha tezliklari aniqlandi. Dala tadqiqotlari 5 ta xo'jalik kanalining boshida va undan ma'lum bir masofada takroran tajribalar o'tkazish orqali amalga oshirildi, olingan natijalar esa jadvallarda keltirildi.

1-jadval

Boshlang'ich nuqtadagi olingan va hisoblangan qiymatlar

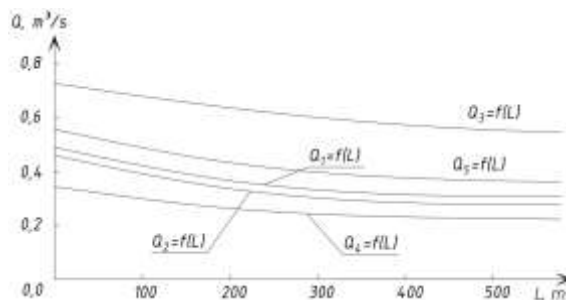
Kanal nomeri	h_{qur} , m	$v_{o'r}$, m/s	Q , m^3/s
№1	0,8	0,59	0,412
№2	0,75	0,65	0,3525
№3	1,25	0,72	0,6375
№4	0,6	0,62	0,304
№5	0,9	0,64	0,431

2-jadval

Boshlang'ich nuqtadan 1 km masofada keyin olingan va hisoblangan qiymatlar

Kanal nomeri	h_{qur} , m	$v_{o'r}$, m/s	Q , m^3/s
№1	0,73	0,58	0,3658
№2	0,69	0,65	0,3481
№3	1,13	0,71	0,6077
№4	0,56	0,61	0,2714
№5	0,81	0,63	0,4189

O'tkazilgan dala tadqiqotlari natijalari shuni ko'rsatmoqdaki, xo'jaliklararo sug'orish tarmoqlari orqali o'tayotgan suv miqdorining qariyb 70-75 foizi filtratsiya jarayonlari hisobiga yo'qotilmoqda. Ushbu yo'qotishlar ko'lami, ayniqsa, kanallarning tub va yon devorlarining tabiiy o'simliklar bilan qoplanib qolishi natijasida filtratsiya sathining kengayishi hisobiga yanada ortmoqda. Bu holat sug'orish tarmoqlarining gidravlik samaradorligini keskin kamaytirib, mavjud suv resurslaridan foydalanish samaradorligiga salbiy ta'sir ko'rsatmoqda.



3-rasm. Uzunlik bo'yicha tajribalar o'tkazilgan kanaldagi suvning kamayish garafigi

4. Xulosa

O'tkazilgan tadqiqotlar natijalariga ko'ra, Toshkent viloyatidagi xo'jaliklararo sug'orish tarmoqlarida suv resurslarining sezilarli qismi - taxminan 70-75 foizi filtratsiya jarayonlari natijasida yo'qotilayotgani aniqlandi. Ushbu yo'qotishlarga ta'sir qiluvchi asosiy omillardan biri sifatida kanallar tubi va yon devorlarining tabiiy o'simliklar bilan qoplanib qolishi tufayli filtratsiya yuzasining ortib borayotgani qayd etildi. Dala tajribalari natijasida har bir kanal kesimida suv sarfi, chuqurligi va tezligi aniqlanib,

foydali ish koeffitsienti (FIK) hisoblab chiqildi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatmoqdaki, mavjud tuproq o'zanli kanallar gidravlik samaradorlik jihatidan yetarlicha talabga javob bermaydi hamda suv resurslaridan oqilona foydalanishni ta'minlamaydi. Shu boisdan, kanallarda filtratsiya yo'qotishlarini kamaytirish, FIKni oshirish va sug'orish samaradorligini yaxshilash maqsadida iqtisodiy jihatdan maqbul, ekologik xavfsiz va texnologik jihatdan qulay qoplama materiallaridan, xususan, kompozit polimer qoplamalardan foydalanish dolzarb hisoblanadi. Ushbu yo'nalishda ilmiy izlanishlarni davom ettirish hamda innovatsion yondashuvlarni amaliyotga joriy etish suv resurslaridan foydalanish samaradorligini oshirishda muhim omil bo'lib xizmat.

Foydalanilgan adabiyotlar / References

- [1] Obidzhonov A., Babaev A. Hydraulic efficiency of coated and uncoated open channels //Universum: технические науки. – 2023. – №. 10-6 (115). – С. 64-68.
- [2] Obidjonov, A., Ibadullayev, A., Babayev, A., & Chorshanbiyev, U. Kanallardan suyuqlikni sizib chiqish jarayonlarini modellashtrish //Вестник транспорта-Transport xabaromasi. – 2025. – Т. 2. – №. 1. – С. 24-28
- [3] Obidjonov A.J., Babayev A.R., Kaxarov B.B., Raximov Q.T., Chorshanbiyev U.R. Asosi turli gruntli beton qoplamali kanallarda filtratsiya jarayonini aniqlash. Me'morchilik va qurilish muammolari, 2025 yil 1-son.
- [4] SHNQ 2.06.03-12 Sug'orish tizimlari. Loyhalash normalari.
- [5] Yavov A. U., Abdug'aniyev X. A. Kanallardagi suv isrofini kamaytirish usullari (Amu-qorako'l kanali misolida) //Экономика и социум. – 2024. – №. 12-2 (127). – С. 979-981.
- [6] Mirzayeva F. Sh., Telegenova G. M. Sug'orish tarmoqlarining suv isrofi, foydali ish koeffitsientini oshirish chora-tadbirlari // Ilm – fan ta'limda innovatsion yondashuvlar, muammolar, taklif va yechimlar. - 2022.- B. 1-5

[7] Давлетов Т.Г. Ирригация ва мелиорация. – Тошкент: "IQTISOD-MOLIYA", 2020

[8] Muratov A. R. et al. Irrigatsiya tarmoqlarida suv shimilishiga qarshi ekranlar yaratish texnologiyalarining tahlili //International scientific and scientific-technical conference "water-energy and food security in the context of global climate change and water scarcity". – 2025. – Т. 1. – №. 1. – С. 534-538.

[9] Xamidov M. X., Shukurlayev X. I., Mamataliyev A. B. Qishloq xo'jaligi gidrotexnika melioratsiyasi //Toshkent, Sharq. - 2008.

[10] Sh J. S., Qosimov T. O., Habibullayev M. J. Qoplamasiz kanal gidravlik parametrlarini "River surveyor S5 system manual" Tizimli o'lchov jihozi asosida tahlil qilish //Ilm, tadqiqot va taraqqiyot/Hayka, исследования и развитие. – 2025. – Т. 1. – №. 9. – С. 70-75.

[11] Tursunboyev O. et al. "Do'stlik" kanali bosh inshooti suv o'tkazish qobiliyatini baholash //International scientific and scientific-technical conference "water-energy and food security in the context of global climate change and water scarcity". – 2025. – Т. 1. – №. 1. – С. 496-500.

Mualiflar haqida ma'lumot

Obidjonov A.J.	Toshkent davlat transport universiteti, O'zbekiston, Toshkent E-mail: obidjonov0777@mail.ru
Suvanqulov A.X	O'zsuvta'minoti AJ raisi, O'zbekiston, Toshkent
Babayev A.R	Toshkent davlat transport universiteti, O'zbekiston, Toshkent
Chorashanbiyev U.R	Toshkent davlat transport universiteti, O'zbekiston, Toshkent

Structural analysis of disperse systems and energy-efficient rheological modeling in hydrotransport processes

M.A. Musajonov, A. Ibadullaev¹, U. Chorshanbiev¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This article provides a comprehensive overview of the modern theoretical foundations, classification, physicochemical and rheological properties, as well as the electrokinetic and kinetic characteristics of disperse systems, including the mechanisms of their formation and stabilization. The role of disperse systems in hydrotransport, along with the impact of their interaction with polymer composites on pressure dynamics, is analyzed based on international scientific research. The article covers both theoretical and practical approaches aimed at enhancing the significance of disperse systems in construction, mining, environmental protection, the food industry, and the oil and gas sectors.

Keywords: Dispersing systems, pipe cleaning and materials strength, hydrotransport systems.

1. Introduction

Disperse systems are complex physicochemical structures widely used in modern chemistry, hydraulics, construction materials science, food technology, pharmaceuticals, and many other fields. At the core of any colloid chemistry or nanomaterials technology lie disperse systems. The role of disperse systems in hydrotransport is particularly significant in terms of increasing the efficiency of industrial pipelines and reducing resistance that forms on their internal surfaces. All disperse systems share certain common characteristics.

Disperse systems are physicochemical systems in which one substance is evenly distributed (dispersed) within another. These systems consist of two main components:

Dispersed phase – the substance distributed in the form of small particles within another substance;

Dispersion medium – the primary substance that contains the dispersed phase.

In colloid chemistry, the classification of systems is based on several key characteristics of colloidal systems. All colloidal systems are classified according to the following features:

- a) The size and fineness of the dispersed phase particles (degree of dispersion);
- b) The physical (aggregate) state of the disperse system;
- c) The interactions between the dispersed phase and the dispersion medium.

Based on the particle size of the dispersed phase, disperse systems are categorized accordingly.

A specific formula is used to measure dispersity.

$$D=1/a, \quad (1)$$

Here, D represents the dispersity, and a denotes the transverse dimension of a dispersed phase particle. For example, in the case of a spherical particle, a is taken as the diameter, while for a cubic particle, a corresponds to the edge length of the cube.

The smaller the particle size, the greater the degree of dispersion in the system. The specific surface area (S_{sol}) is determined by the ratio of the total surface area S of the particles to the unit volume V (or sometimes the mass) of the dispersed phase:

$$S_{sol}=S/V, (m^{-1}) \quad (2)$$

$$S^{sol}=S/m, (m^2/kg) \quad (3)$$

To express dispersity, formula (3) is commonly used. For disperse systems, the specific surface area typically ranges from 10 to 10⁶ m²/kg. If S_{sol} does not exceed 10³ m²/kg, a coarse disperse system is formed. This category includes suspensions, emulsions, and powders. For colloidal and aerosol systems, a value of S_{sol} greater than 10⁴ m²/kg is considered typical. According to the size of the dispersed phase particles, disperse systems are classified as follows:

1. Coarse Disperse Systems

Particle size: >1000 nm. Appearance: Particles are visible to the naked eye or through an optical microscope.

Example: Muddy water (solid particles dispersed in water).

2. Colloidal Systems

Particle size: 1–1000 nm. Appearance: Particles are very small but can be observed using specialized techniques.

Example: Milk (liquid fat particles dispersed in water).

3. Molecular Disperse Systems

Particle size: <1 nm

Appearance: Particles are uniformly distributed at the molecular level. Example: Salt dissolved in water.

V. Ostwald proposed classifying disperse systems based on their aggregate states. Depending on the aggregate states of the dispersed phase and the dispersion medium, disperse systems can be divided into nine different types.

2. Object and method of study

Disperse systems possess properties such as degree of dispersion, specific surface area, density, viscosity, particle size distribution, and stability. These characteristics, especially in colloidal systems, determine their stability. Rheologically, disperse systems often exhibit non-Newtonian behavior, meaning their viscosity depends on the applied shear stress.

Among the most well-known rheological models is the Bingham model (flow after yield stress), which states that a certain threshold shear stress (τ_0) must be exceeded before the fluid begins to flow:

$$\tau=\tau_0+\mu p \cdot du/dy \quad (4)$$

Examples: oil, concrete mixtures, thick clay.

Pseudo-plastic (shear-thinning) fluids exhibit a decrease in viscosity with increasing shear rate. Examples include polymer solutions, paints, and muddy suspensions. Their mathematical model (Ostwald–de Waele law) is given by:

$$\tau=K \cdot (du/dy)^n, n<1 \quad (5)$$

Dilatant (shear-thickening) fluids show an increase in viscosity as the shear rate increases.

Examples include concentrated starch solutions.

They are described by the Ostwald–de Waele model with $n > 1$. Transporting disperse systems through industrial pipelines (hydrotransport) is widely used in construction, oil and gas, chemical, and mining industries. To improve their efficiency, polymer additives are introduced into the dispersion medium. This:

- Reduces internal friction;
- Decreases pressure loss;
- Saves energy;
- Extends the service life of pipelines.

Currently, a number of scientists and researchers worldwide are conducting scientific studies on the hydrotransport of dispersed systems and the influence of polymer compositions on pressure in pipelines. Among them are:

Professor Donald G. Baird, Virginia Tech Institute and State University (USA). Research on “Polymer rheology and processing, polymer compositions, and their flow properties.”

Dr. Jianfeng Wu, Xi'an Jiaotong University (China). Research on “Hydrodynamics of dispersed systems, friction reduction by polymer additives, and turbulence control.”

Professor Georgios C. Georgiou, Cyprus University (Cyprus). Research on “Rheology and hydrodynamics of polymer solutions, friction reduction by polymer additives, and improvement of energy efficiency.”

Dr. Maria Antonietta Aiello, Salento University (Italy). Research on “Polymer compositions and their application in construction materials, enhancing the strength and durability of hydrotransport pipelines.”

Professor Suresh G. Advani, University of Delaware (USA). Research on “Polymer compositions processing technologies, rheology, and behavior in hydrotransport processes.”

Professor Vladimir V. Makarov, Moscow State University of Civil Engineering (Russia). Research on “Friction reduction in hydrotransport systems with polymer additives, rheological properties of dispersed systems.”

Professor Anatoliy P. Grishin, Belarus National Technical University (Belarus). Research on “Application of polymer compositions in hydrotransport pipelines, corrosion protection of pipelines.”

Professor Nikolay I. Lebedev, Saint Petersburg State Technological Institute (Russia). Research on “Rheology of dispersed systems and efficiency improvement of hydrotransport processes with polymer additives.”

Professor Yevgeniy S. Petrov, Kyiv National University of Construction and Architecture (Ukraine). Research on “Application of polymer coatings in hydrotransport systems, reduction of pressure losses in pipelines.”

Professor Shinichi Koyama, Tokyo Institute of Technology (Japan). Research on “Friction reduction and energy efficiency improvement in hydrotransport systems using polymer additives.”

Professor Jong-Ho Kim, Seoul National University (South Korea). Research on “Improving corrosion resistance and extending service life of hydrotransport pipelines using polymer compositions.”

Professor Rashid A. Karimov, Baku State University (Azerbaijan). Research on “Application of polymer compositions in hydrotransport pipelines, corrosion protection of pipelines.”

These scientists and researchers conduct important studies in this field. Naturally, in our country there are also many scientists who conduct significant scientific research in this area. The development of colloid chemistry in Uzbekistan is associated with the research and practical achievements of Uzbek chemists such as K.S. Akhmedov, Kh.U. Usmonov, M.A. Asqarov, and their students. Regarding improving hydrotransport of dispersed systems in pressure pipelines, scientific studies have been carried out by Yu.G. Abrosimov, Hoang Zan Bin, A.H. Mirzajanzada, N.M. Lebedev, K. Sellin, I.L. Povkh, Na Tiong Lin, M.I. Valiyev, J.W. Hoyt, M.P. Tulin, I.I. Yeroshkina, F.I. Frankl, G.I. Barenblatt, V.M. Makkaveyev, M.M. Gareyev, I.I. Levi, Kh. Rauz, Yu.A. Buyevich, A.N. Krayko, S. Sou, G. Uoilis, A. Fortye, D.F. Fayzullaev, Kh.A. Rakhmatulin, K.Sh. Latipov, S.I. Kril, A.A. Shakirov, I. Khujayev, S. Khudaykulov, I.E. Makhmudov, Kh. Ilkhomov, A.I. Umarov, S.S. Negmatov, A.G. Jalilov, T.A. Atakuziyev, A.S. Ibadullayev, Kh.E. Yunusov, E.U. Teshabayeva, A.R. Babayev, and other scientists. They introduced methods to improve efficiency and maintain particle balance in dispersed systems used in construction and mining industries, including the physical-chemical properties, concentration, machinery and apparatus involved in hydrotransport under pressure.

Electrokinetic phenomena in dispersed systems — such as electrophoresis, electroosmosis, sedimentation potential, and streaming potential — depend on the motion of charged particles in the system.

Brownian motion, diffusion, osmosis, and sedimentation represent the kinetic movements of particles. If Brownian motion is related to the thermal movement of medium molecules, then particles of the dispersed phase are also subject to thermal motion. This implies that the dispersed phase — the collection of particles, gases, and solutions — must obey the statistical laws of molecular-kinetic theory. Einstein and Smoluchowski developed this theory, basing it on the law of diffusion, because the randomness of Brownian motion is necessary to equalize the concentration of the dispersed phase in all dispersive media.

The Einstein-Smoluchowski equations mathematically describe particle motion and diffusion:

$$\frac{R \cdot T}{6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot N_A} \quad (6)$$

N_A – Avogadro number (Avogadro soni), R – Universal gas constant (Umumiy gaz konstantasi), T – Temperature, Kelvin (Harorat, K), η – Viscosity of the dispersion medium, $N \cdot s/m^2$ (Dispers muhitning yopishqoqligi), r – Radius (size) of the diffusing particle, meters (Diffuziya qilayotgan zarrachaning o'lchami, m).

The application of molecular-kinetic laws, statistical laws, and entropy laws to solutions allows them to be viewed simultaneously as systems possessing the properties of heterogeneous-dispersed systems and true solutions. At the same time, colloidal solutions (lyosols) must also obey the laws of osmotic pressure. Osmosis is the one-way diffusion of substances through semipermeable membranes from a solution with a higher concentration to a solution with a lower concentration. For lyosols, the osmotic pressure, P_{osm} , is calculated according to the van't Hoff equation.

$$P_{osm} = \frac{C_v \cdot R \cdot T}{N_A} \quad (7)$$

R is the universal gas constant; T is the absolute temperature; C_v is the partial concentration (the number of colloidal

particles per unit volume). From the equation, it can be understood that the osmotic pressure P_{osm} increases with the increase in the number of colloidal particles in a given volume, even if the mass of the dispersed phase remains constant (with increasing dispersity). For two identical lyosols with different partial concentrations, the change in osmotic pressure is directly proportional to their partial concentrations. The osmotic pressure in colloidal solutions is much smaller compared to true solutions because the particle concentration in true solutions is higher than in colloidal solutions (sols). The characteristic property of suspensions, emulsions, powders, and aerosols is the tendency of dispersed phase particles to settle or rise.

The process of settling of dispersed phase particles is called sedimentation, while the rising of particles is known as reverse sedimentation (flotation). Each particle in the system is subjected to gravitational force and Archimedes' force. These forces act constantly but in opposite directions. The resultant force causing sedimentation is calculated as follows:

$$F = \frac{4}{3} \pi r^2 (\rho - \rho_0) g \quad (8)$$

F — gravitational force, kg·m/s² (Newtons); r — radius of the dispersed phase particle, meters (m); ρ — density of the dispersed phase particle, kilograms per cubic meter (kg/m³); ρ_0 — density of the dispersion medium, kilograms per cubic meter (kg/m³); g — acceleration due to gravity, 9.8 m/s²; η — viscosity of the dispersion medium. Equation for calculating the sedimentation velocity of a particle

$$V_{sub} = \frac{2g(\rho - \rho_0)r^2}{9\eta} \quad (9)$$

The equation shows that the constant sedimentation velocity of a particle is proportional to the square of its radius, proportional to the difference in densities between the dispersion medium and the dispersed phase, and inversely proportional to the viscosity of the medium. If $\rho > \rho_0$, the particle settles down; if $\rho < \rho_0$, the particle rises, which is typical for gases and most liquid emulsions, where the reverse sedimentation phenomenon occurs. The sedimentation of particles occurs in suspensions, aerosols, and emulsions according to this law.

Dispersion: The breakdown of large substances into smaller ones (e.g., colloidal mills, ultrasound).

Condensation: The aggregation of molecules, atoms, or ions to form colloidal particles. Since small particles have high surface energy, stabilizers such as ions, surfactants, or polyelectrolytes are used to stabilize them.

Dispersed systems are characterized by two main types of stability:

Sedimentation (kinetic) stability – the particles do not settle.

Aggregative stability – particles do not stick to each other.

Coagulation – the process where particles aggregate to form large clusters;

Peptization – the reverse process, where aggregated particles break apart.

3. Research results and discussion

Various researchers have attempted to explain experimental results in different ways and proposed several

theories. However, each of them had certain limitations, neglecting many important factors, and therefore could not provide a fully substantiated explanation. Developing a single, comprehensive theory for the stability of dispersed systems turned out to be a complex task. Today, the scientific community widely accepts a theory that simultaneously takes into account the electrostatic repulsive forces between particles and the intermolecular attractive forces. This theory is especially effective in practice for lyophobic dispersed systems, i.e., systems where the adsorption stability factor plays a minor role.

This theory was first developed by Soviet scientists B.V. Derjaguin and L.D. Landau during 1937–1941. Later, it was independently advanced in 1948 by Dutch scientists E. Verwey and J.T.G. Overbeek. The theory is called the DLVO theory, named after the initials of its main authors.

The theory studies how Van der Waals attractive forces and electrostatic repulsive forces (interactions between the double electric layers) work together. According to Derjaguin, if particles are separated by a liquid, when they approach each other, a “disjoining pressure” arises. This pressure governs the interaction between particles based on the balance of attractive and repulsive forces. In other words, this pressure either facilitates the establishment of interaction between particles (positive pressure) or, conversely, their aggregation into coagulation (negative pressure). Experiments have confirmed the existence of this disjoining pressure. This phenomenon can be viewed as the difference between the hydrostatic pressures on the particle surface and in the surrounding liquid, explained by the difference in the energy state of liquid molecules in the free volume close to and far from the particles. The total interaction energy between two particles is expressed as follows:

$$U = U_e + U_m \quad (10)$$

Here, U_e is the repulsive energy, and U_m is the attractive energy. In this formula, the first term represents the repulsive energy arising from electrostatic effects, while the second term corresponds to the attractive energy caused by Van der Waals forces. According to the DLVO theory, these interactions determine the behavior of dispersed systems. Their stability or the rate of coagulation depends on the magnitude and direction of the total potential energy between the particles. The positive repulsive energy $U_e(h)$ decreases exponentially with increasing distance h , whereas the negative attractive energy $U_m(h)$ is inversely proportional to the square of the distance. The existence of this minimum is associated with the phenomenon of thixotropy, i.e., the ability of many sols to revert to gels. At intermediate distances, the maximum value represents the potential barrier that prevents particle aggregation. These interaction forces can act over distances of hundreds of nanometers, with the highest energy values reaching approximately 10^{-2} J/m² or greater on the particle surface. The increase in the potential barrier occurs due to a small increase in the surface potential φ_s of the particles. In practice, it has been observed that when $\varphi_0 \approx 30$ mV, a barrier forms that ensures the aggregative stability of the dispersed system. The coagulation threshold depends directly on the detection time, observation methods (light scattering, rheological properties, etc.), and the concentration of the sol, so experimental conditions must always be clearly specified.

Hidden and visible coagulation stages are distinguished. Initially, particles grow in size, which is unclear even to the naked eye (hidden coagulation), and later the particle size



becomes visible, transitioning hidden coagulation into visible coagulation. The coagulation strength of an electrolyte varies significantly depending on its charge and interaction with ions of opposite charge. Experiments show that as the charge of ions increases, coagulation begins even at low ion concentrations. This phenomenon is known as the Schulze-Hardy rule. The DLVO theory allows the calculation of the critical concentration of the electrolyte, beyond which the coagulation process becomes irreversible. This concentration is known as the coagulation threshold.

Deryagin and Landau determined that the energy barrier between colloidal particles disappears when the coagulation threshold is reached. Thus, at high potentials, the rapid coagulation threshold is inversely proportional to the charge of the counterion, which correlates well with the Schulze-Hardy rule. At low potentials, the coagulation threshold on the particle surface is inversely proportional to the square of the counterion charge and also depends on the magnitude of the potential (i.e., if the system has a small barrier, coagulation slows down).

The slight deviation from the z^6 dependence in the experimental relation with ion charge is explained by the increasing role of specific adsorption as ion charge increases. In this way, simplified forms of the DLVO theory help correctly describe the main laws of coagulation experimentally using electrolytes. According to DLVO theory, there are two extreme states in the coagulation process:

Neutralization coagulation, where stability loss occurs due to the loss (neutralization) of the charge of colloidal particles and reduction of their surface potential φ_0 ;

Concentration coagulation, where stability loss is not due to reduction of φ_0 , but due to compression of the diffuse electrical double layer (DEDL or ITEQ).

According to DLVO theory, adding electrolyte to a dispersed system compresses the diffuse layer around particles, causing them to approach each other, and attractive forces dominate at this close range. Compression of the diffuse layer is related to the replacement of counterions by coagulating electrolyte ions. This compression occurs due to two factors: first, a decrease in potential through specific adsorption of the added electrolyte ions, and second, a reduction in thermal repulsion of counterions caused by increased ionic strength of the solution. Which mechanism dominates helps differentiate coagulation into neutralization and concentration types. Neutralization coagulation is more pronounced in systems where particles have low electrical potential. In this case, the added electrolyte ions specifically adsorb onto the particle surface, especially ions with the same charge as the counterions. They reside in the diffuse layer and significantly reduce the surface potential φ_0 , while the neutralization of the φ_0 -potential occurs in the adsorption layer. If the charge of the ions exceeds φ_0 , the particle surface may undergo charge reversal (overcharging). In neutralization coagulation, the absence of aggregative stability is typical between the minimum and maximum concentrations of the electrolyte. If the amount of electrolyte added exceeds a certain maximum limit, it can transfer the dispersed system into a second stability zone, where particles acquire a charge opposite to that in the first stability region. As the ion charge increases, the importance of specific adsorption grows; therefore, neutralization coagulation intensifies when electrolytes with multivalent ions are added. The effect of adsorption on stability and coagulation can be envisioned as a reduction in hydration or the formation of less dissociated compounds on the particle

surface. In both cases, interaction with the environment decreases, surface tension increases, and as a result, the aggregative stability of the dispersed system is lost.

Dispersed systems are practically applied in the following fields:

- Drinking and industrial water purification (coagulation);
- Construction (concrete, clay);
- Pharmaceuticals (emulsions, suspensions);
- Food industry (oils, milk, sauces);
- Cosmetics (creams, lotions);
- Oil industry (drilling suspensions).

4. Conclusion

Dispersed systems are complex systems with not only theoretical but also significant practical importance, and their in-depth study is crucial in the context of modern scientific and technological progress. By thoroughly investigating their role in hydrotransport, as well as their rheological and physicochemical properties, industrial efficiency can be significantly improved. These systems can be further optimized based on polymer compositions and international experience. Hydrotransport of dispersed systems refers to the technology of transporting mixtures of solid and liquid substances through pipelines under various conditions. This technology finds broad application in many industries such as mining, chemical, oil and gas, construction, and utilities. Enhancing the efficiency of these systems improves not only technological processes but also substantially increases economic benefits. To boost the technological efficiency of hydrotransport, it is necessary to deeply analyze and optimally control the rheological properties of the mixtures, including viscosity, density, and particle size. Additionally, selecting and properly arranging equipment such as pumps, pipelines, and separators, as well as integrating modern automated control systems, greatly enhance overall performance. Implementing energy-efficient technologies, employing recycling circulation systems, using materials that reduce friction, and systematically organizing technical maintenance ensure the economic efficiency of hydrotransport systems. Moreover, reducing operational costs and material losses increases the profitability of the process.

Thus, by harmonizing technological and economic approaches in the hydrotransport of dispersed systems, maximal system efficiency can be achieved. This contributes to stabilizing production capacities, conserving resources, and improving environmental safety.

Reference

- [1]. Мусажонов, М. А. У., & Умарова, Д. З. (2018). Инженерные коммуникации зданий. Вопросы науки и образования, (8 (20)), 30-31.
- [2] Usmanova, N. A., & ugli Musajonov, M. A. (2023). Classification of energy efficient buildings. Golden brain, 1(1), 228-230.
- [3] Musajonov, M. A., & Raxmonberdiyeva, F. A. (2023). Suv ta'minoti tizimida maxalliy qarshiliklarni va quvurlardagi bosim yo'qolishini o'tish sohalari bo'yicha aniqlashning matematik modelashtirish: suv ta'minoti tizimida maxalliy qarshiliklarni va quvurlardagi bosim yo'qolishini o'tish sohalari bo'yicha aniqlashning matematik modelashtirish.

[4] Мусаџонов, М., & Жураев, А. (2023). Рекомендации и требования к проектированию тоннелей в Узбекистане. Тенденции и перспективы развития городов, 1(1), 237-239.

[5] Chorshanbiev, U., Ibadullaev, A., Babaev, A., & Kaxarov, B. (2023). Study of the motion of modified solid particles in hydratransport systems. In E3S Web of Conferences (Vol. 401, p. 03027). EDP Sciences.

[6]. Axmedov, K. S., & Usmonov, X. U. (2015). Investigating the efficiency of polymer composites in hydrotransport systems. Journal of Applied Chemistry and Technology, 32(4), 152–167.

[7]. Asqarov, M. A. (2018). Influence of dispersions on fluid transport efficiency in industrial pipelines. Proceedings of the International Conference on Chemical Engineering and Materials Science, 54, 205–212.

[8]. Smith, J. D., & Brown, L. R. (2020). Advances in polymer composites for industrial applications. Materials Science and Engineering A, 781, 119162.

[9]. Wang, T., Zhang, Y., & Liu, H. (2021). Polymer-based cleaning agents for industrial pipeline maintenance. Chemical Engineering Journal, 414, 128748.

[10]. Patel, R., & Kumar, S. (2019). Influence of pressure and mechanical properties on hydrotransport systems. Journal of Fluid Mechanics, 876, 112–130.

[11]. Anderson, P., & White, G. (2022). The role of adsorption and wetting in polymer-based cleaning processes. Surface and Interface Analysis, 54(3), 324–339.

[12]. Omonov, A., & Rakhimov, U. (2023). Application of hybrid polymer coatings for hydrotransport pipe maintenance. International Journal of Polymer Science and Technology, 41(1), 75–90.

[13] Tadros, Th.F. Colloids in Paints: Principles and Applications, Wiley-VCH, 2011.

[14] Hunter, R.J. Foundations of Colloid Science, Oxford University Press, 2001. — Dispers tizimlarning fizik-kimyoviy asoslari va tasnifi.

[15] Gregory, J. Particles in Water: Properties and Processes, CRC Press, 2009. — Dispers tizimlarning suvda tarqalishi va yuzaki jarayonlar.

[16] Georgiou, G.C., Papageorgiou, D.T., & Karapantsios, T.D. (2015). Polymer Additives in Hydrotransport: Rheology and Energy Efficiency. Journal of Applied Polymer Science, 132(22), 42391.

[17] Wu, J., Zhang, L., & Li, Y. (2017). Friction Reduction and Turbulence Control by Polymer Additives in Hydrotransport Pipelines. Chemical Engineering Science, 170, 72-83.

[18] Baird, D.G. (2020). Polymer Rheology and Processing, Polymer Compositions, and Their Flow Properties. Virginia Tech Press.

Information about the authors

Musajonov M.	Engineering communications and systems, Tashkent State Transport unversitet, Uzbekistan e-mail: musajonov.mihammadrasul@ferpi.uz (ORCID 0009-0002-5613-5134)
Ibadullaev I.	Engineering communications and systems, Tashkent State Transport unversitet, Uzbekistan e-mail: ibadullaev1957@bk.ru (ORCID 0000-0002-8089-2592)
Chorshanbiev U.	Engineering communications and systems, Tashkent State Transport unversitet, Uzbekistan e-mail: umartymikq25@gmail.com (ORCID 0000-0001-5268-3075)



Environmental education as the foundation of environmental protection activities

R.Kh. Khalilova¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: The article examines transport as a source of environmental pollution. It analyzes the educational process in environmental disciplines at foreign and domestic universities. The teaching methodology of the "Ecology" course is discussed with a focus on shaping an environmentally conscious worldview among future transport industry specialists. The approach considers production-specific factors and aims to foster student interest and creativity through extracurricular activities. Measures are proposed to further improve environmental education by nurturing students' love for nature, respect for their chosen profession, and a deep understanding of the goals of the "Ecology" discipline. These improvements are to be achieved through enhanced integration between educational institutions and industry.

Keywords: environmental education, environmental competence, environmental situation, environmental safety, environmental protection activities, natural environment, transport, pollution, adverse effects, disease, education, integration.

Экологическое образование – основа природоохранной деятельности

Халилова Р.Х.¹

¹Ташкентский Государственный Транспортный Университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация: В статье приведены сведения о транспорте как источника загрязнения природной окружающей среды. Проанализирован учебный процесс по экологической дисциплине в зарубежных и отечественных вузах. Рассмотрена технология обучения курса «Экология» для формирования природоохранного мировоззрения у будущего специалиста транспортной отрасли с учетом специфики производства, повышения интереса и творческого отношения в дисциплине на основе мероприятий со студентами вне аудитории в свободное от занятий времени. Предложены меры по дальнейшему повышению экологического образования путем воспитания у студентов любви к природе и уважения к выбранной профессии; глубокого понимания цели дисциплины «Экология» и творческого интереса к ней; на основе дальнейшей интеграции образовательного учреждения с производством.

Ключевые слова: экологическое образование, экологическая компетенция, экологическая ситуация, экологическая безопасность, природоохранная деятельность, природная окружающая среда, транспорт, загрязнение, неблагоприятное воздействие, заболевание, воспитание, интеграция.

1. Введение

Одним из приоритетов развития Узбекистана в Год защиты окружающей среды и «зеленой» экономики определено создание условий для формирования экологического образа жизни [1].

По данным Организацией Объединенных Наций заболевания от загрязнения почвы составляют -70%, вод в водных объектах -20% и атмосферного воздуха -10% [2].

В мировом сообществе на причину загрязнения сред указывают природные и технологические процессы [3]. Транспорт отдельной строкой записан в международных проектах как серьезный источник загрязнения. Выброс от автотранспорта содержит более 200-х загрязняющих веществ различных по физической и химической природе. В то время как при идеальном сжигании углеводородного топлива образуются водяной пар и тепло [4].

Перевозка груза транспортом связано как с загрязнением среды, что приводит к заболеванию населения, так и с отрицательным воздействием на

инженерное сооружение, приводящего его к разрушению. Например, при перевозке угля железнодорожным транспортом мелкодисперсные частицы попадают в придорожную среду и на поверхность пути. В случае песчаного грунта они проникают до основания земляного полотна и со временем на дне балластной призмы образуется загрязненный частицами угля слой толщиной до 100 мм. Поскольку частицы угля способны накапливать в себе дождевую воду, в загрязненном песке возрастает величина влаги. В результате устойчивость земляного полотна под динамической нагрузки транспорта ухудшается.

При транспортировании нефтепродуктов от места добычи до места использования, его более чем в 20 раз перезагружают с одного транспорта на другой. В результате нефтепродукт испаряется, теряется от утечек, одновременно загрязняет среду [5].

Причинами загрязнения также относят неэффективную работу очистных сооружений [6].

Зададимся вопросами: кто спроектировал неэффективную установку? или же неэффективно

эксплуатирует очистную установку? в чем причина выброса многочисленных веществ транспортом? не совершена конструкция камеры сжигания? не налажен процесс сжигания топлива? некачественное топливо? или на выброс транспортных средств влияет техническое состояние дороги? кто в ответе за организацию перевозки на транспорте и т.д. и т.п.

Из практики известно в ответе специалисты, работающие в этих сферах.

Закономерен вопрос: в стенах образовательных учреждений будущие специалисты производства получили необходимые экологические знания для принятия природоохранных решений как, следствие, по охране инженерного сооружения и т.д.?

Целью настоящего исследования является технология обучения курса «Экология» для формирования природоохранного мировоззрения у будущего специалиста транспортной отрасли и разработка мер по дальнейшему его совершенствованию.

Задачами исследования были анализ «цели изучения дисциплины «Экология», содержания учебной программы, предназначенных для студентов, обучающихся по направлению транспортной отрасли авторами разных стран.

2. Материалы и методы

Объектами исследования были программы по дисциплине «Экология», разработанной Ташкентским техническим университетом для всех направлений, в том числе «Транспорт» и «Инженерная экология», разработанная Петербургским государственным университетом путей сообщения Императора Александра I по специальности «23. 05.04-Эксплуатация железных дорог» [7, 8] и ряда других учебно-методических материалов отечественных и зарубежных авторов [9, 10].

Исследование проводили на предмет какая цель была поставлена авторами учебной литературы и ее соответствие «Концепции непрерывного экологического образования Республики Узбекистан»; название дисциплины - в соответствии с определением, которое Э.Геккель дал науки «экология»; на однозначность применения природоохранных терминов авторами книг и их соответствие со стандартным определением; содержания учебного материала - теоретического, практического и для самостоятельной работы и оценка на достаточность этого объема знаний для формирования экологического мышления у будущего специалиста транспортной отрасли.

3. Результаты и их обсуждение

Наука «Экология» является научным фундаментом природоохранной деятельности. В соответствии с «Концепцией непрерывного экологического образования Республики Узбекистан» для высших образовательных учреждений целью обучения дисциплины «Экология» определено «формирование специального экологического мировоззрения и умение решать природоохранные проблемы при выполнении профессиональных обязанностей соответственно по направлениям образования или освоение углубленных знания по выбранной специальности» [11].

Анализ учебных материалов в родственных вузов показал, что в них:

-определение экологии отлично от определения Эрнеста Геккеля;

-цель изучения дисциплины трактуется различно;

-содержание учебного материала экологического курса не может служить базой для формирования экологического мышления у студентов, обучающихся по данному направлению образования. Для науки «экология» характерны свойственные ей термины и определения. В проанализированной учебной литературе используют термины, характерные для других наук, например, выражение «экологическая среда».

Наука экология включает термины «природная среда» и «природная окружающая среда». Природная среда - эта среда, образованная в результате природных процессов, а природная окружающая среда – эта природная среда, содержащая инженерное сооружение: автомобильную дорогу, железнодорожный мост, жилое и промышленное или производственное здание и т.д. Пояснение «экологической среде» ни в одной из источников не имеется.

Учебные программы не содержат вопросы по «охране растительного и животного мира», «о мониторинге природной среды». В то время как, Конституция Республики Узбекистан гласит: «Земля, ее недра, ...растительный и животный мир ... являются общенациональным богатством, подлежит рациональному использованию и охраняются государством» [12].

Практические и лабораторные занятия направлены в основном на получения навыков по вопросам атмосферного воздуха. Программы не предусматривают работ по водной и почвенной среде [7, 8].

В учебных программах по дисциплине «Экология» в Ташкентском государственном транспортном университете, введенных в учебный процесс в 2024году, особое внимание уделено вопросам специфики работ, которые будущие специалисты транспортной отрасли должны будут решать при исполнении своих профессиональных работ [13, 14, 15].

Технология образовательной система структурно объединена в соответствии со строением Земли и факторам воздействия транспорта на литосферу, атмосферу и гидросферу. Поскольку растительный и животный мир существуют на суше и воде, вопросы фауны и флоры выделены в самостоятельные модули. Вопросы мониторинга, экономика природопользования, экологическое образование и воспитание – это необходимые знания современного профессионала любой отрасли. Теоретический материал сопровождается одновременно с получением практических навыков по расчетам и замерами лабораторных работ. Самостоятельная работа на тему «Анализ экологической ситуации местности местожительства» включает схему местожительства студента, качественный анализ, прилегающих к дому, объектов загрязнения в радиусе 2 км от дома студента и меры по снижению или полной ликвидации факторов воздействия. Работу студент завершает заключением о состоянии экологической ситуации в районе своего дома. Выполнение самостоятельной работы позволяет получить навыки экологической экспертизы и иначе более внимательно относиться к территории своего проживания [16]. В свободное от занятий время



студенты получают добавочные знания в кружке «Эколог» [17]. В университете прошла студенческая конференция, где студенты раскрыли конституционные основы природоохранного законодательства. Докладчики остановились на законах «Об отходах», «Об охране атмосферного воздуха» и других законах и их исполнение в транспортной отрасли. Также студенты выступили с докладами о природоохранных законах Великобритании, ОАЭ, Германии, Республики Корея, России и Турции. Здесь студенты показали не только правовую и экологическую грамотность, но и знание иностранных языков, поскольку материал был изложен на языках этих стран. Во время дискуссии студентами было отмечено, что конференция позволила глубже осознать необходимость бережного отношения к природным ресурсам и задуматься о том, какой вклад в поддержание экологического баланса может сделать каждый из нас [18].



Рис. 1 Докладчики и участники студенческой конференции «Конституция Узбекистана - основа природоохранного законодательства»

Другая студенческая конференция, посвященная 22 марту-Всемирному Дню Воды под названием «Вода и авиация» позволила узнать о расходах воды на борту самолетов, о расходе воды на мойку самолетов, на авиапредприятиях и интересных факторов связанных с водой. Студенты свои экологические исследования опубликовали в российском журнале «Образование, наука и инновационные идеи в мире» [18]. В День Памяти и почести студенты встретились с ветеранами авиации. На этой встрече прозвучали доклады о «Крылатых героях Узбекистана»



Рис. 2. Участники конференции «Крылатых героях Узбекистана»

Вопросам профессиональной ориентации и экологическим проблемам и их решениям в авиационной отрасли была посвящена встреча студентов обучающихся по направлениям авиационного транспорта и работников управления «охрана труда и экология» АО Uzbekistan Airwaysn эколога авиационного завода №243.

Технология обучения студентов в аудиториях и проведение познавательных мероприятий в свободное время на много повысил интерес студентов к дисциплине «Экология» и улучшили их академические показатели.

4. Выводы

Глава государства почти в каждом выступлении подчеркивает, что повышение качества обучения, являющегося основой человеческого капитала – это единственно верный путь развития Узбекистана. На международном рынке труда наиболее востребованы специалисты с экологической компетенции.

Анализ материала существующей учебной литературе, предназначенной для студентов, обучающихся по направлению транспорт определил, что этого не достаточно для получения необходимых знаний по вопросам загрязнения и отрицательного воздействия на компоненты окружающей среды хозяйственной деятельности транспортной отрасли и мер по их устранению.

Динамика роста транспорта и транспортных предприятий обязывают специалистов разных стран руководствоваться принципами охраны окружающей среды и рационального использования природными ресурсами и включить это в предмет обучения в вузах с учетом специфики отрасли.

Принцип интеграции образования с производством, подход к технологии обучения совместно с экологическим воспитанием вне аудитории в свободное от учебы время являются основой формирования экологической компетенции будущего специалиста транспортной отрасли.

Использованная литература / References

- [1] Шавкат Мирзиев. Поздравление Узбекистана / Газета «Народное слово». 6 декабря 2024 года, №248 (8826)
- [2] Study on the environmental risks of medicinal products. Final Report. Executive Agency for Health and Consumers. 12 December 2013.
- [3] Жаксыбаева Б., Мирахмадов С, Халилова Р. Влияние дождевого стока с железнодорожного моста на качество речной воды /«Transportda resurs tejankor texnologiyalar». //Сб. трудов Международной научно-технической конференции/ декабрь, 2024.- 102-107с.
- [4] Жуков Е.В. Автотранспорт и человек. -Москва: «Транспорт», 2002.-208с.
- [5] Рябец В.В., Леванчук А.В. Экологическая характеристика влияния транспортно-дорожного комплекса на водные объекты урбанизированных территорий // «Техносферная и экологическая безопасность на транспорте (ТЭБТРАНС-2012). Материалы III Международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург 21-23 ноября 2012г.». Санкт-Петербург, ПГУПС, 2012.- С.171-172.
- [6] Абдураимов С.Б., Авалбаев Ж.О., Халилова Р.Х. Загрязнение воды в канале Бозсу стоками объектов железнодорожного транспорта// I научно-практическая конференция молодых научных исследователей студентов бакалавриата и магистратуры / Ташкент: ТГТУ, 2021.-с.186-188.
- [7] Ташкентский государственный технический университет. Экология. Учебная программа. Для всех направлений обучения. Ташкент, 2018. -12с.
- [8] Петербургским государственным университетом путей сообщения Императора Александра I. Рабочая программа дисциплины «Инженерная экология» по специальности «23. 05.04-Эксплуатация железных дорог». Санкт-Петербург, 2023.- 9с.
- [9] Прикладная экология: учебное пособие / Н.А.Бабакб И.А.Горшкова, О.Ю.Макарова. СПб: ПГУПС, 2014. -55 с.
- [10] Gary Skinner, Ken Crafer, Melissa Turner, Ann Skinner, John Stacey. Environmental Management Coursebook. Buyuk Britaniya: Cambrige university press, 2017. - P.98.
- [11] Халилова Р.Х. Концепция непрерывного экологического образования в Республике Узбекистан//Экологическое образование и воспитание – залог здоровой среды и здорового поколения //Научная и учебно-методическая конференция. 23-24 сентября 2005года. Ташкент, ТашИИТ, 2005.- с.3-15.
- [12] Конституции Республики Узбекистан. – Ташкент: Издательство «Узбекистан», 2023.- с.26.
- [13] Ташкентский государственный транспортный университет. Экология. Учебная программа. 60712600 – Havo kemalarining texnik ekspluatatsiyasi Ташкент, 2024. 8с.
- [14] Т.ашкентский государственный транспортный университет. Экология. Учебная программа. 60713200 – Transportda tashishni tashkil etish va boshqarish (temir yo'l transporti). Ташкент, 2024. 10с.
- [15] Ташкентский государственный транспортный университет. Экология. Учебная программа. 60730800 – Yo'l muhandisligi (temir yo'llar ekspluatatsiyasi) Ташкент, 2024. 9с.
- [16] Xalilova R.X. Ekologiya: darslik. Toshkent: «O'zbekiston», 2020. – 296 b
- [17] Т.ашкентский государственный транспортный университет. Круг «Эколог». Ташкент, 2024. – с.83.
- [18] Халилова Р.Х. Вклад в сохранение экологического баланса. Газета «Народное слово» №33 (8877).
- [19] Эргашев Ш.М., Хабибов М.И., Халилова Р.Х. Рациональное использование воды в авиационной отрасли. Образование, наука и инновационные идеи в мире. Выпуск журнала № 68. Часть 5. (2025).

Информация об авторах

Халилова Р.Х. Ташкентский государственный транспортный университет
Ташкент, Республика Узбекистан
r-xalilova@mail.ru

II-SHO'BA: QURILISHDA ZAMONAVIY BINO VA INFRATUZILMA OB'EKTLARI, SUN'IY INSHOOTLAR, YASHIL IQTISODIYOT

Influence of annual atmospheric precipitation on the potential for sand encroachment on roads

M.K. Muzaffarova¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This article investigates the correlation between the potential for sand encroachment on a newly constructed railway line and the annual precipitation levels. An expert survey was conducted among specialists directly and indirectly involved with this issue, alongside a statistical analysis of natural and climatic winter-spring precipitation over several years in regions where the under-construction railway intersects dune sands. The annual precipitation data were compared with the occurrence of sand drifts. The results of the expert survey, monitoring of potential railway sand encroachment, and precipitation analysis are presented. It was established that the manifestation of sandstorms, and consequently the potential for sand encroachment on infrastructure, is dependent on the amount of rainfall during the winter-spring period. Utilizing the findings of this research will enable the elimination of unnecessary annual measures for protecting the new railway line from sand drifts, specifically those related to the stabilization of mobile sands.

Keywords: railway protection, sand stabilization, combined method, atmospheric precipitation, expert survey

Влияние годовых атмосферных осадков на возможность песчаных заносов дорог

Музаффарова М.К.¹

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация: В статье исследована связь возможности заносимости песком строящейся железной дороги от количества осадков в течение одного года. Были проведены экспертный опрос специалистов, связанных непосредственно и косвенно с данной проблемой и статистический анализ количества природных и климатических зимне-весенних осадков за несколько лет в районах пересечения дорогами барханных песков, их ежегодное сравнение с песчаными заносами. Представлены результаты экспертного опроса, мониторинга пескозаносимости дорог и анализа выпадения осадков. Установлено, что проявление песчаных бурь, следовательно пескозаносимость объектов зависит от дожливости зимне-весеннего периода. Использование результатов исследования позволит исключить излишние в данном году мероприятия по защите железных дорог от песчаных заносов, связанные с закреплением подвижных песков.

Ключевые слова: защита железных дорог, закрепление песков, комбинированный метод, атмосферные осадки, экспертный опрос

1. Введение

Опустынивание - мировой процесс, связанный с глобальными изменениями в природе. В условиях дефицита воды в районах распространения песков образуются особые формы пустынь – подвижные пески. Борьбе с опустыниванием придают важное значение во многих странах мира, в том числе и в Узбекистане. Строительство и эксплуатация железных дорог осуществляется в зависимости от физико-климатического расположения в различных условиях, представленных строительно-технологическими характеристиками условий реализации специфических строительных работ. [1-3]. В связи с линейностью объектов железные и автомобильные дороги республики по географической конфигурации имеют продолжительные пересечения регионов с

неблагоприятными климатическими условиями, а именно с песчаными пустынями. Для этих районов характерны периодические процессы - песчаные заносы [4, 5]. Песчаные заносы отрицательно воздействуют на строительство и эксплуатацию железных дорог. Нанесенный песок резко ухудшает технико-эксплуатационные показатели дороги, например, модуль упругости пути железных дорог, что приводит к преждевременному выходу из строя рельсов, локомотивов и подвижного состава и повышает затраты на содержание дороги [6, 7]. После песчаных бурь принимаются меры по очистке от занесенной массы песка строительных и эксплуатируемых участков. Следовательно ущерб хозяйственной деятельности приносят не только заносы точечных объектов, но и постоянные затраты на ликвидацию заносов дорожной сети, объектов гидромелиоративных систем,

орошаемых плантаций. Ежегодно дистанциями пути выполняются работы по очистке занесенных песком участков железных дорог средним объемом 200 км развернутой длины путей в год. Актуальность защиты природно-технических систем от песчаных заносов возрастает в связи с растущей скоростью движения поездов, сопровождаемой переводом с дизельного на электрическую тягу, являющейся стратегической линией дальнейшего развития единой сети железных дорог. Переход на высокоскоростное движение пассажирских поездов в направлении Бухара-Мискен выведет эту проблему в ряд важнейших в обеспечении безопасности их движения. В связи с этим ведутся широкомасштабные работы по улучшению условий строительства и содержания железных дорог в аридных районах, связанные с обеспечением безопасности. [5, 8]. Выполнение этих работ сопровождается немалыми затратами. Работы по защите производственно-технических систем от песчаных заносов в условиях песчаных пустынь выполняются закреплением и (или) задержкой песков, соответственно, развеваемых и подносимых к объекту. Эти меры, известные как пескозакрепительные работы (ПЗР), в широком смысле означают мелиорацию подвижных песков [9, 10].

ПЗР располагают банком технологических решений – методы и способы, сгруппированные в три вида технологий: биологические; инженерные и комбинированные.

Среди методов закрепления подвижных песков экологически чистым и надежным является классический биологический метод. Заключается он в закреплении подвижных песков выращиванием на их поверхности песколюбивых растений. Его применение в чистом виде ограничено в силу ряда обстоятельств, связанных с состоянием почвы и климатом (засоление, незначительные осадки, высокая испаряемость), что обуславливает низкую результативность метода [9, 10]. Процесс прорастания семян имеет решающее значение для роста растений и производства пророщенных семян. На этот процесс влияют различные параметры, такие как доступность воды, температура и свет. Растительность на песчаных дюнах может существовать при наличии осадков выше минимального порога не менее 50 мм/год [11]. Климату пустынь характерно невыносимо жаркое лето, осадки в основном зимой и весной. Экстремальные температуры опускаются ниже -35°C в суровые зимы и превышают $+50^{\circ}\text{C}$ в летнюю жару. Равнинный регион получает минимум 80-200 мм/год, в то время как предгорья - целых 300-400 мм/год и около 600-800 мм/год на западных и юго-западных склонах горных хребтов. [9, 10]. Растительный покров на песчаных дюнах в основном зависит от силы ветра и осадков. Когда этот покров уменьшается ниже минимального процента, дюны начинают двигаться. Поэтому необходимо изучить на первых порах влияние осадков на современную активность дюн, чтобы предсказать вероятную будущую их подвижность, а именно перемещение песка под воздействием ветра в текущем году [13]. Эффективными методами закрепления песков, комбинируемыми с биологическим методом, являются инженерные методы: физико-химический (ФХМ), состоящий из способов, отличающихся, главным образом, применяемым вяжущим веществом (химическим мелиорантом) [7, 8] и механический, а именно, разработка канава-валов [4, 9]. Неотъемлемой частью большинства способов закрепления подвижных

песков является расход воды. С момента рассеивания семена зависят от наличия воды, температуры и, в некоторых случаях, света, чтобы инициировать прорастание или просто выйти из состояния покоя [11]. Возможно использование воды, расходуемой при ФХМ в качестве дополнительного полива в биологическом способе приведет к увеличению его результативности. Ведь прорастание семян — сложный процесс, включающий ряд физиологических изменений, опосредованных экологическими сигналами [11]. Гипотетически предполагается, выявление зависимости проявления пескозаносимости железных дорог от количества выпавших климатических осадков и применение результатов исследований в планировании сезонных работ по пескозащите, на наш взгляд, упразднит эти работы или уменьшит их объем, тем самым сократит затраты на эти работы. Обобщенный системобразующий результат функционирования железной дороги состоит в обеспечении безопасного и бесперебойного движения поездов. Песчаные заносы оказывают непосредственное влияние на состояние железнодорожного пути, на возможность проезда поездов по нему. Поэтому оценка пескозаносимости пути в зависимости от количества выпавших осадков в течение 1 года в зимне-весенний период на достижение конечного заданного результата имеет важное значение.

2. Методика исследования

Ввиду отсутствия количественных показателей по пескозаносимости объектов на первом этапе исследований применен эвристический метод, в частности, экспертный опрос. Было решено изначально провести опрос людей, обладающих многолетним стажем, прямой или косвенной связью с этой проблемой. Целью процедуры опроса было выявление зависимости песчаных заносов в текущем году от наличия природных осадков в предыдущий зимне-весенний период. Опрос проведен среди специалистов, деятельность которых связана напрямую или косвенно с пескозаносимыми участками железных дорог. Исследования проведены в Навоийской области на территории, прилегающей к пескозаносимым участкам железной дороги (участок Учкудук 2 – Кызылкудук. При ранжировании экспертов учтены такие характерные черты как должность, специальность, стаж работы, образование, возраст человека. Выполнена оценка информированности экспертов об исследуемой проблеме, аргументации ими объектов и установлены весовые нормированные коэффициенты, учитывающие их вклад в решение проблемы. Второй этап заключался в выполнении мониторинга выпадения осадков в исследуемых районах с барханными песками в течение времени, охватывающего период опросов экспертов. Количественные значения по выпадению осадков приняты по сводкам метеорологической станции в Навоийской области (место нахождения станции: широта 40.1331, долгота 65.3497, высота над уровнем моря 341 м).

3. Результаты

Обработка результатов экспертного опроса выполнена по модифицированному методу Дельфи. [1].

Применена методика оценки информированности экспертов об исследуемой проблеме, аргументации ими объектов и определения весовых нормированных коэффициентов, учитывающих их вклад в установление достоверности гипотезы. Эксперты 1 группы, на мнение которых вполне можно положиться уверенно отметили то, что после очередной дождливой весны следует сезон без песчаных заносов - 93 %. Также положительным был ответ 87 % вполне компетентных и 62 % компетентных экспертов. Воздержались от ответа 3 % из первой, 10 % из второй и 20 % экспертов из третьей группы (в свое время не принимали это во внимание, не понимали, о чем идет речь, не помнили). Остальная незначительная часть экспертов игнорировала этот вопрос.

Результаты опросов и мониторинга приведены в таблице.

Таблица – Критерии пескозаносимости объектов по объёму атмосферных осадков

Проявление песчаных заносов в году	Осадки, мм
В году	В том числе весной
Без песчаных заносов	≥ 220 ≥ 120
С песчаными заносами	< 220 < 120 .

4. Обсуждение

Экспертами единодушно выделены годы без наблюдавшихся песчаных бурь. Таковыми указаны 2019, 2022 и 2024 годы. Этим годам по мнению экспертов присуща дождливая весна. По метеорологическим данным в эти годы годовой объем осадков превышает 215 мм, а веснам соответствует выпадение осадков в количестве 120 мм и более. Однако, в 2016 году также не наблюдались песчаные заносы, несмотря на то, что годовой объем осадков достиг всего лишь 70 мм, в том числе весной выпало всего 2,6 мм. Незаносимость участков в этот год объясняется природным наводнением, затопившим поверхность пустынь, принесшим семена травянистых растений, взрослых с исчезновением воды над земной поверхностью (70 %). В 2021 году годовое количество осадков более 150 мм, но весенний объем 105 мм не достиг предела 120 мм. Следовательно, допустимое условие заносимости железных дорог, т.е. количественной характеристикой понятия “дождливая” является количество климатических осадков в весенний период не менее 120 мм. Все дело в том, что на исследуемых участках максимальная заросленность площадей составляла 45 %. Остальная поверхность оставалась открытой. Тем не менее уноса песка с этих поверхностей не наблюдалось. В то же время, при проведении натурных и лабораторных экспериментов было замечено: при высыхании с потерей влаги в верхней части увлажненного песка образуется сухая корка, состоящая из самосклеившихся (слипшихся) зерен субстрата. Толщина корки зависит от глубины пропитки воды. Можно предположить, что при выполнении агрегированного условия ветроустойчивости данная корка сможет выполнять роль защитной корки, создающей влажностно-температурный режим в один вегетационный период.

5. Выводы

В результате обработки результатов опроса получена информация, подтверждающая предположение о зависимости песчаных заносов участков железной дороги от выпавших годовых атмосферных осадков, а именно осадков в весенний период.

Установлено – Существует зависимость природно-климатических явлений - количественных значений сезонных осадков и экзогенных явлений – песчаных бурь с характерными песчаными заносами объектов.

Зафиксировано – песчаные заносы незначительны или даже исключены при выпадении осадков годовых осадков не менее 220 мм, в том числе в весенний период их количество не менее 120 мм;

песчаные бури не наблюдались при покрытии поверхности песков растениями порядка 30-45 %. Открытая без растений часть поверхности обладала песчаной коркой из склеившихся частиц.

Таким образом, при планировании работ по пескоборьбе в целях сокращения предстоящих затрат на содержание пути в текущем году представляется актуальным предусмотреть количество сезонных осадков, а именно весенних.

Использованная литература / References

- [1] Мирахмедов М. Основы методологии комплексной системы организации пескозакрепления и защита производственно-технических систем от песчаных заносов. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Ташкент, 2003. – 363с.
- [2] Фазилов Т.И. Органо-минеральные противодефляционные покрытия, полученные пропиткой подвижных песков. Автореф...докт. тех. наук. –Харьков, ХИСИ,1991. –44с.
- [3] Muzaffarova, M. Dilatation of the method of the fixation of moveable sands. Transport Problems, 2022, 17(4), страницы 79–89.
- [4] Адыходжаев, А.И. Применение госсиполовой эмульсии в качестве вяжущего для закрепления подвижных песков/ Диссертация на соискание ученой степени канд. тех. наук. – Ташкент, 1978. –241с.
- [5] Мирахмедов М., Ивушкина А.А. Прогнозирование строительно-технологических характеристик способов технической мелиорации песков/ I Республиканская конференция магистров// Сб. докл., ч.2. –Ташкент, ТГТУ, 2003. –С.34-36.
- [6] Закиров Р.С., Омаров А.Д. Организация сооружения земляного полотна при строительстве дорог в аридных регионах. Монография. Издательство «Бастау», КазАТК им. М. Тынышпаева, Алматы, 2001. – 156 с.
- [7] Muzaffarova, M., Mirakhmedov, M. Differences and commonalities impregnation of dry and wet sand. Transport Problems, 2014, 9(3), S.S. 91–97.
- [8] Mirakhmedov, M., Muzaffarova, M. Expansion of a scope of methods protection the railways from entering by sand. Transport Problems, 2013, 8(2), страницы 55–61

[9] Бабаев А.Г. Принципы и методы закрепления подвижных песков. Монография. Центр международных проектов ГКНТ. Москва, 1986 г.

[10] Muzaffarova, M., Mirakhmedov, M. Differences and commonalities impregnation of dry and wet sand. Transport Problems, 2014, 9(3), S.S. 91–97.

[11] Джессика Адель Сильва Сантос , Кейла Соуза Гарсия. Ethylene in the regulation of seed dormancy and germination: Biodiversity matters./ Seed Germination. The Crop Journal, 2021. <https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/seed-germination>.

[12] Ashkenazy, Y., Yizhaq, H., Tsoar, H. Sand dune mobility under climate change in the Kalahari and Australian deserts. Climatic Change. 2012. Vol. 112. Issues 3-4. P. 901-923.

Информация об авторах

Музаффарова Ташкентский государственный
Маужуда транспортный университет PhD,
Кадырбаевна доцент, e-mail: mauguda@mail.ru



Increasing the stability of the railway track surface using modern building materials

Sh.A. Tadjibaev¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This article examines measures to ensure the stability of the earth's crust slopes using geosynthetic materials. The effectiveness of using geosynthetic materials, which is one of the modern technologies widely used today in the construction industry of developed countries, for increasing the strength and service life of the railway track using modern construction materials and ensuring its stability, has been presented. At the same time, ways to improve the physical and mechanical properties of sandy soils by laying geosynthetic materials on the embankment slopes and increasing the stability of retaining forces were discussed. The calculation scheme of the forces acting on each cell of the geogage mesh during the reinforcement of the embankment slopes with volumetric geogages is also considered. An analysis of the change in the stability coefficient of slopes during strengthening with volumetric geogates was conducted, taking into account the retaining forces acting on each cell of the geogates.

Keywords: earthwork, embankment slope, geosynthetic materials, retaining forces, geotextiles, geo-grid, stability coefficient

Temir yo'l yer polotnosini zamonaviy qurilish materiallardan foydalangan holda barqarorligini oshirish

Tadjibayev Sh.A.¹

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Ushbu maqolada geosintetik materiallardan foydalangan holda yer polotnosi qiyaliklari ustivorligini ta'minlash choralari ko'rilgan. Zamonaviy qurilish materiallardan foydalangan holda temir yo'l yer polotnosining mustaxkamligi va xizmat muddatini oshirish hamda barqarorligini ta'minlashda bugungi kunda rivojlangan davlatlarning qurilish sohasida keng qo'llanilayotgan zamonaviy texnologiyalardan biri bo'lgan geosintetik materiallarni qo'llash samaradorligi keltirilgan. Shu bilan birga qumli gruntlarning fizik va mexanik xususiyatlarini geosintetik materiallarni qo'tarma qiyaliklariga yotqizish orqali yaxshilash va tutib turuvchi kuchlarning barqarorligini oshirish usullari muhokama qilingan. Shuningdek ko'tarma qiyaliklarini hajmiy geopanjaralar bilan mustahkamlashda geopanjaraning har bir yacheykasiga ta'sir etuvchi kuchlarning hisobiy sxemasi ko'rib chiqilgan. Har bir geopanjara yacheykasiga ta'sir etuvchi tutib turuvchi kuchlarni hisobga olgan holda hajmiy geopanjaralar bilan mustahkamlashda qiyaliklarning ustuvorlik koeffitsientining o'zgarishi tahlil qilingan

Kalit so'zlar: yer polotnosi, ko'tarma qiyaligi, geosintetik materiallar, tutub turuvchi kuchlar, geotekstil, geopanjara, ustuvorlik koeffitsienti

1. Kirish

Temir yo'l yer polotnosini barpo etishda texnik parametrlariga ko'ra xalqaro standart va me'yorlar talablariga javob beradigan, temir yo'llarning ishonchli va xavfsiz ishlashini, yo'lovchilar va yuklarning tezroq o'z manziliga yetkazib berilishi, transport harajatlarning kamaytirilishini ta'minlaydigan mamlakat temir yo'llari infratuzilmasini shakllantirish va rivojlantirishga doir vazifalar majmui hal qilinishi bilan bog'liq bo'ladi [1,2,3]. Temir yo'llarning yer polotnosi, u tashqi muhit ta'sirlariga ochiq (poezd yuklamasi va tabiiy-iqlimiy omillar), dinamik (vaqtga doir amal qiladigan), barqarorlikni ta'minlash kabi aniq maqsadga qaratilgan, diagnostika va monitoring natijalariga ko'ra uning holati to'g'risida yetarli ma'lumotga ega bo'lgan holda boshqariluvchan (tuzilmaviy, konstruksion, texnologik va boshqa qarorlar qabul qilish bilan), murakkab geotexnik tizim bo'lib hisoblanadi [2,4]. Yo'l turg'unligini (barqarorligini) ta'minlash muammolari butun dunyo temir yo'llari uchun dolzarb muammo bo'lib keladi. o'qqa tushadigan yuklamalar va harakatlanuvchi tarkib harakatlanish tezligi ortishi bilan ular tobora ko'proq,

ayniqsa yer polotnosining asosiy maydonida bo'sh gruntlardan foydalanish sharoitlarida (sho'rlanish, bo'sh asos, yer osti suvlari sathining yuqori darajasi) yer polotnosi asosiy texnologik parametrlarining yomonlashuviga olib keladi [1,3-4]. Tabiiy va grunt sharoitlari og'ir bo'lgan hududlarda yer inshootlarining qurilishi tobora murakkablashib boradi. So'nggi yillarda rivojlangan mamlakatlarda transport qurilishida temir yo'l yer polotnosini mustahkamlashning eng istiqbolli va zamonaviy usullaridan biri bo'lgan geosintetik materiallar keng qo'llanilmoqda. Ushbu materiallarning bajaradigan vazifasiga qarab quyidagi (geotekstil, geoto'r, geopanjara, geomembrana, geoto'shama, geokompazit) turlarga bo'linadi. Bugungi kunda ushbu materiallarni O'zbekistonda ham ishlab chiqarish yo'lga qo'yilmoqda. [1-2]. Zamonaviy geosintetik materiallardan grunt qatlamini mustahkamlashda (ko'tarma ishchi zonasi, asosiy maydoni), ballast qatlamini mustahkamlashda, ballast qatlami va grunt qatlamini gruntning mayda zarralari bilan ifloslanishiga yo'l qo'ymaslik maqsadida ajratishda, qiyaliklarni mustahkamlashda va ularni eroziyadan himoya qilishda, gorizontal va vertikal drenajlashda, shuningdek grunt

qatlamini tebranishga qarshi ximoyalashda, gidroizolyatsiya, issiqlik izolyatsiyasi va boshqalarda keng qo'llaniladi.[2-3].

2. Asosiy qism

Turli gruntlardan barpo etilgan yer polotnosi qiyalik ustuvorlik koeffitsienti gruntning fizik-mexanik hossasi va balandlikka bog'liq holda turlicha bo'lishi mumkin. Lekin barcha hollarda ustuvorlik koeffitsienti $K \geq 1,2$ bo'lishi kerak [3,4].

Qumli gruntlardan barpo etilgan temir yo'l ko'tarmasi ustuvorligini oshirish, yer polotnosi qiyaliklarini mustahkamlash, ko'tarma gruntlarining deflyatsiyasi va deformatsiyalanishini kamaytirish uchun yangi konstruksiyalarini ishlab chiqish va qiyaliklarini mustahkamlash texnologiyasini takomillashtirishning bir necha usullari ishlab chiqilgan[4,7,8].

Rivojlangan mamlakatlarning tajribalarini o'rganish shuni ko'rsatadiki, temir yo'l yer polotnosi ko'tarma qiyaliklari ustuvorligini oshirishning eng samarali usuli, uni geosintetik materiallar bilan mustahkamlash hisoblanadi. Shuningdek barxan qumlaridan barpo qilingan ko'tarma qiyaliklari mustahkamligini oshirishda geosintetik materiallarni qo'llash yaxshi natija beradi [5,6,7].

Geosintetik materiallar bilan mustahkamlagan holda qiyalikning ustuvorlik koeffitsientini hisoblashda geopanjara va geotekstilning har bir i-katakchasiga ta'sir etadigan kuchlarni hisobga oluvchi taklif etilayotgan T_{geo} tutib turuvchi kuchlarni e'tiborga olish kerak bo'ladi [9].

Shundan so'ng yangi formula quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n (c_i l_i + f_i N_i + T_{itt}) + T_{geo.p} + T_{geo.t}}{\sum T_{isil}} \quad (1)$$

bu yerda:

$T_{(geo.p)}$ - geopanjara har bir i-katakchasida ta'sir qiluvchi kuchlarni hisoblash uchun geopajaradan yuzaga keluvchi tutib turuvchi kuch;

$T_{(geo.t)}$ - geopanjara ostiga yotqizilgan geotekstildan yuzaga keluvchi tutib turuvchi kuch;

Qumli gruntlarda balandligi 12 metrgacha bo'lgan ko'tarma qiyaligining ustuvorlik koeffitsientini ta'minlash maqsadida qiyaliklarni geotekstil materiallar bilan mustahkamlash hisoblab chiqiladi.

Tajriba tadqiqotlarda qo'llanilgan hajmiy geopanjara har bir geometrik o'lchamlari quyidagicha:

Katak uzunligi – 200 mm

Katak kengligi – 200 mm

Katak balandligi – 100 mm

Bunda 12 metr balandlikka ega ko'tarma qiyaligining uzunligi 26,7 m ni tashkil etadi va bunga yer polotnosi obochinasini ham qo'shib hisoblaganda ushbu uzunlikka o'rtacha 142 dona katak joylashtirish mumkin.

Geopanjara va geotekstilning har bir i-katakchasidagi grunt zarrachalarining ilashish kuchi yuzaga keladi va natija quyidagiga teng bo'ladi.

$$F_{ssgi} = \sum_{i=1}^n C_{gi} l_{gi} \quad (2)$$

$$F_{ilkuch} = 2 \cdot 0,2 \cdot 142 = 56,8 \text{ kN}$$

va geopanjara va geotekstilning har bir i-katakchasidagi ishqalanish kuchi quyidagiga teng bo'ladi:

$$F_{ishqkuch} = \sum_{i=1}^n f_{gi} N_{gi} \quad (3)$$

$$F_{ishqkuch} = 35,89 \text{ kN}$$

Shuningdek, geopanjara va geotekstilning har bir i-katakchasida urinma kuchlar yuzaga keladi va qiymat quyidagiga teng bo'ladi:

$$P_{geoi} = 21,479 \text{ kN} \quad (4)$$

K_{tgeo} koeffitsientni hisobga olgan holda T_{geo} tutib turuvchi kuchlarni hisoblash formulasi quyidagicha bo'ladi:

$$T_{geo} = \sum_{i=1}^n S_{gi} l_{gi} + f_{gi} N_{gi} + P_{gi}$$

$$T_{geo} = 56,8 + 21,479 + 35,89 \cdot 1,15 = 114,2 \text{ kN}.$$

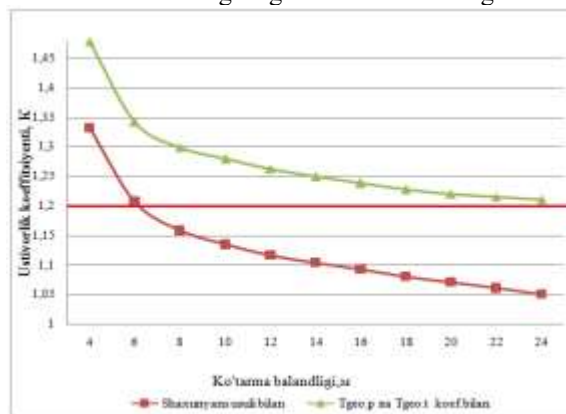
Qumli gruntlarda barpo etilgan ko'tarma qiyaligining ustuvorlik koeffitsientini ta'minlash uchun T_{geo} tutib turuvchi kuchni hisobga olgan holda yangi olingan (1) formuladan foydalaniladi:

$$K = \frac{34,18 + 963,92 + 7,17 + 114,2}{900,6} = 1,243$$

Qumli gruntlardan barpo etilgan balandligi 12 metrga teng ko'tarma qiyaligining ustuvorlik koeffitsienti T_{geo} tutib turuvchi kuchni hisobga olgan holda ta'minlanadi.

Ko'tarma qiyaligining ustuvorlik koeffitsientini T_{geo} tutib turuvchi kuchni hisobga olgan holda qumli gruntlarda hisoblangan.

T_{geo} tutib turuvchi kuchni hisobga olgan holda qumli gruntlardan barpo etilgan ko'tarma qiyaligining ustuvorlik koeffitsienti grafigi 1- rasmda keltirilgan



1-rasm. T_{geo} tutib turuvchi kuchni hisobga olgan holda qumli gruntlardan barpo etilgan ko'tarma qiyaligining ustuvorlik koeffitsienti grafigi

3. Xulosa

1. Qumli gruntlardan barpo etilgan yer polotnosi qiyaliklarini geosintetik materiallar bilan mustahkamlashda qo'shimcha hisobiy parametrlar $T_{geo.p}$ va $T_{geo.t}$ evaziga tutib turuvchi kuchlarning T_{tt} o'rtishi, ustuvorlik koeffitsienti Kust oshishi hisobiga, barcha hollarda

ustuvorlik ko'effitsientining talab etiladigan $K \geq 1,2$ shartining ta'minlash imkonini beradi.

2. So'nggi yillarda rivojlangan mamlakatlarda transport qurilishida temir yo'l yer polotnosini mustahkamlashning eng istiqbolli va zamonaviy usullaridan biri bo'lgan geosintetik materiallar keng qo'llanilmoqda. Ushbu materiallarning bajaradigan vazifasiga qarab quyidagi (geotekstil, geoto'r, geopanjara, geomembrana, geoto'shama, geokompazit) turlarga bo'linadi.

3. Geosintetik materiallardan foydalanilganda ko'tarma qiyaliklarining ustuvorlik ko'effitsienti 15% gacha oshishini ko'rish mumkin.

4. Qumli gruntlarda geosintetik materiallarni qo'tarma qiyaliklariga yotqizish orqali fizik va mexanik hususiyatlarini yaxshilash imkoniyati tug'iladi.

5. Ko'tarma qiyaliklarini hajmiy geopanjara bilan mustahkamlashda geopanjara har bir yacheykasiga ta'sir etuvchi kuchlarning hisobiy sxemasi ko'rib chiqilgan. Har bir geopanjara yacheykasiga ta'sir etuvchi tutib turuvchi kuchlarni hisobga olgan holda hajmiy geopanjara bilan mustahkamlashda qiyaliklarning ustuvorligi ta'minlanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar / References

[1] Закиров Р. С., Омаров А.Д. Противодеформационное укрепление земляного полотна из песчаного грунта в Казахстане. Алматы: «Гылым», 1999- 164 с.

[2] Шахунянц Г.М. Железнодорожный путь: учебник для вузов ж.-д. трансп. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1987. – 479 с.

[3] Tadjibayev Sh.A. Murakkab sharoitlarda geosintetik materiallarni o'llagan holda yer polotnosi qiyaligi ustivorligini ta'minlash. "Me'morchilik va qurilish muammolari" ilmiy-texnik jurnal, Samarqand, SamDAQU, № 1, 2025y. 174-176 b.

[4] Lesov K.S., Tadjibayev Sh.A. Qumli gruntlardan barpo qilingan temir yo'l yer polotnosi ustivorligini oshirishda zamonaviy innovatsion texnologiyalarni qo'llash. "Arxitektura, qurilish va dizayn" ilmiy – amaliy jurnal Toshkent. TAQU. maxsus son №2 2023 y. 212-215

[5] ОДМ 218.5.005-2010 Классификация, термины, определения геосинтетических материалов применительно к дорожному хозяйству

[6] ISO 10318:2005 Geosynthetics–Terms and definitions (Геосинтетические материалы. Термины и определения)

[7] Таджикибаев Ш.А. Исследование устойчивости откосов насыпи земляного полотна при укреплении объемных георешеток. UNIVERSAM: техническое науки (международный научный журнал) Москва, 2022г. выпуск:9(114), част 3 С. 5-9.

[8] Лесов К.С., Таджикибаев Ш.А., Кенжалиев М.К. Современные способы повышения устойчивости земляного полотна с укладкой геосинтетических материалов. Материалы международной конференции "Technical and technological sciences in the modern world" Москва, май 2023г. С 28-33

[9] Лесов К.С., Таджикибаев Ш.А. Исследование устойчивости откосов земляного полотна железных дорог при укреплении геосинтетическими материалами. UNIVERSAM: техническое науки (международный научный журнал) Москва, 2022г. выпуск:8(101), част 1, С. 57-61.

Mualliflar to'g'risida ma'lumot/ Information about the authors

**Tadjibayev
Sherzod
Amirkulovich**

Toshkent davlat transport universiteti "Temir yo'l muhandisligi" kafedrasida dotsenti (PhD)
E-mail: sherzod140585@mail.ru
Tel.: +99893 293 51 20
<https://orcid.org/0000-0001-9748-2568>

Methodology for calculating the strength of balastless track design

Kh. Umarov¹, J. Kodirov¹, R. Choriev¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: In the world today, the construction of high-speed railway highways and the use of ballast-free railway structures are becoming increasingly relevant. Taking into account the experience of foreign countries, it is advisable to analyze its various variants and determine the prospects for the development of a ballast-free track on the railways of Uzbekistan. Currently, in the context of the development of high-speed railway lines in Uzbekistan, the development of a methodology for calculating the strength of a ballastless track is relevant.

Keywords: ballastless track, strength, high-speed railway, structure, earthwork, railway track

Ballastsiz yo'lining mustahkamlikka hisoblash metodikasi

Umarov X.¹, Qodirov J.¹, Choriyev R.¹

Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekistan

Annotatsiya: Jahonda yuqori tezlikdagi temir yo'l magistrallarini qurish bugungi kunda temir yo'lining ballastsiz konstruksiyasidan foydalanish dolzarb bo'lib qolmoqda. Xorijiy mamlakatlar tajribasini hisobga olgan holda uning turli variantlarini tahlil qilish va O'zbekiston temir yo'llarida ballastsiz yo'lni rivojlantirish istiqbollarini belgilash maqsadga muvofiqdir. Bugungi kunda yuqori tezlikdagi temir yo'li O'zbekistonda yuqori tezlikdagi temir yo'l magistrallarini rivojlantirish sharoitida ballastsiz yo'lining mustahkamlikka hisoblash metodikasi ishlab chiqish dolzarb hisoblanadi.

Kalit so'zlar: ballastsiz yo'l, mustahkamlik, yuqori tezlikdagi temir yo'l, konstruksiya, yer polotnosi, temir yo'l izi

1. Kirish

So'nggi yillarda O'zbekiston iqtisodiyotining rivojlanishi temir yo'llarda yuk oqimlarining oshishi vagon o'qlariga tushayotgan yukning oshirish masalalari ko'rilmog'ida. Shu bilan birga, tezyurar va yuqori tezlikdagi poyezdlarga yo'lovchi oqimi o'smog'ida bu esa aviatsiya va avtomobil transporti bilan raqobat zaruriyati paydo bo'lmoqda. Bir qator uchastkalarda va butun yo'nalishlarda tashish va o'tkazish qobiliyati zaxiralari bo'lmagan tugayotgan taqdirda yuk va yo'lovchilarni tashishning ortib borayotgan hajmini rivojlantirish muammosini hal qilish poyezdlarning massasi, uzunligi va tezligini oshirishni ta'minlaydigan yangi yo'l konstruksiyalaridan foydalanish zarurligini, shuningdek, barcha turdagi yo'l ishlari uchun vaqtni minimallashtirishni ta'minlash talab etmoqda.

Zamonaviy ish sharoitida bitta o'qqa tushayotgan yukning oshishi, poyezdlarning massasi va uzunligining o'sishi bilan yo'lining deformatsiyasi asosiy muammolardan biriga aylanadi. Ballastsiz konstruksiyadan foydalanish yo'l barqarorligini oshirish variantlaridan biri hisoblanadi. Xorijda yo'lining balast va balastsiz yuqori tuzilishida yuqori tezlikda harakatlanish tajribasi mavjud va muammosiz ekspluatatsiya qilib kelinmoqda. O'zbekiston tezyurar va yuqori tezlikdagi temir yo'llarida, shu jumladan yuk tashish uchun balastsiz yo'ldan keng foydalanishning maqsadga muvofiqligi masalasi ochiq qolmoqda.

2. Tadqiqot metodikasi

Ballastsiz yo'lining mustahkamlikka hisoblash "1520 mm izli temir yo'llar. Loyihalash me'yorlari"da O'zbekiston

temir yo'llarida ekspluatatsiya qilish uchun mo'ljallangan yo'lining yuqori qurilishi konstruksiyalariga taalluqlidir.

Yo'lni mustahkamlikka ko'p variantli hisoblash yo'lining boshlang'ich parametrlarini berilgan diapazonlarda o'zgartirib bajarilgan va yo'l elementlaridagi (rekslar, shpallar, ballast va yo'l polotnosi) kuchlanishlar qiymatlari olingan [1-4]. Yo'l mustahkamligini baholash mezonlari 2.1-jadvaldan tanlab olindi. Ushbu hisob-kitoblar natijalariga ko'ra, boshlang'ich parametrlaridan qaysi biri yakuniy qiymatlarga ko'proq ta'sir qilishini aniqlash mumkin.

1-jadval

Yo'lining mustahkamligini baholash omillari

Omillar	Yuk zo'riqishida mustahkamlikni baholash omillarining qiymatlari mln.t. yiliga km ga to'g'ri keladigan brutto		
	50-25	24-10	10 dan kichik
Relsdagi chetki kuchlanishlar, σ_k MPa	200	240	340
Rels ostidagi kuchlanishlar asos, σ_{sh} MPa	1,6	2,0	3,0
Yuk ko'taruvchi qatlamdagi kuchlanishlar, σ_q MPa	0,42	0,45	0,5
Asosiy maydondagi yo'l polotnosi kuchlanishlari σ_p MPa	0,1	0,11	0,12



2000-yilda Myunxen shahridagi Texnika universiteti professori Y. Ayzeman va G.Leykauf "Relsli yo'llar uchun ballastsiz yo'l" ilmiy ishida ballastsiz yo'lning matematik modelining quyidagi variantini taklif qilgan [5]. Ularning taxminlariga ko'ra, gruntga tushadigan ruxsat etilgan siqish kuchi N/mm^2 da quyidagi formula bo'yicha hisoblanishi mumkin:

$$zul\sigma_z = \frac{0,006 \cdot E_{dyn}}{1 + 0,7 \cdot \lg(n)}$$

Bunda, $n=2 \cdot 10^6$ va $E_{dyn}=E_{stat}=E_{v2}=45 \text{ N/mm}^2$ bo'lganda, $zul\sigma_z=0,050 \text{ N/mm}^2$ ni olamiz. Haqiqiy $E_{dyn}>E_{stat}$ bo'lgani uchun, bu qiymat ma'lum zaxira bilan olingan.

Relsdan yuk ko'taruvchi plitaga uzatiladigan tayanch nuqtalaridagi zo'riqlashlarni hisoblash Vinklarning elastik asosidagi to'sinning hisobiy modelida amalga oshirilishi mumkin [6]. Yuk ko'taruvchi plitaning egilishdagi bikrligi elastik tayanchli relsga nisbatan ancha katta bo'lganligi sababli, tayanch nuqtalaridagi zo'riqlashlarni hisoblashda bu bikrlilik cheksiz katta deb qabul qilinishi mumkin.

Elastik asosdagi to'sin nazariyasiga ko'ra relsning tayanch nuqtalaridagi kuchlarni hisoblash tenglamalari quyidagicha bo'ladi.

Relsning elastik xarakteristikasi $L \text{ mm}$ da:

$$L = \left[\frac{4 \cdot E \cdot I}{b \cdot c} \right]^{0,25}$$

Relsning egilishi $y_z \text{ mm}$ da:

$$y_z = \frac{1}{2 \cdot b \cdot c \cdot L} \cdot \sum (Q_i \cdot \eta_i)$$

$$\eta_i = \frac{\sin \xi_i + \cos \xi_i}{e^{\xi_i}},$$

Bunda

$$\xi_i = \frac{x_i}{L},$$

Tayanch nuqtadagi S kuch N da:

$$S = b \cdot c \cdot a \cdot y,$$

Bunda E – relsning elastiklik moduli, H/mm^2 ;

I – rels kesimining inersiya momenti, mm^4 ;

b – shartli balka kengligi, mm ;

c – asos (ballast) ning yotish koeffitsiyenti, H/mm^3 ;

Q_i – yakka o'qqa tushayotgan yuk, H ;

η_i – qo'shni o'qlarni hisobga olish uchun ta'sir omili;

x_i – qo'shni o'q bilan tayanch o'q orasidagi masofa,

mm ;

a – tayanch nuqtalar orasidagi masofa, mm .

$b \cdot c$ ko'paytma formulalarga o'zgaras koeffitsiyent sifatida kiritilganligi sababli, uni $b \cdot c = c/a$ bilan almashtirish mumkin, bunda c – rels bilan bog'lanishning elastik doimiysi, N/mm . Rels tayanch nuqtalarining elastik doimiysi uchun $c=40 \text{ kN/mm}$ bo'ladi.

$$L = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot 2.1 \cdot 10^5 \cdot 3055 \cdot 10^4 \cdot 550}{40000}} = 804 \text{ mm}$$

Shpallarning minimal uzunligi $2,4 \text{ m}$ bo'lganda, ko'ndalang yo'nalishda tayanch nuqtalarida yuklar $3,0-3,2 \text{ m}$ kenglikdagi yuk ko'taruvchi beton plitaga yetarlicha taqsimlanadi. Bunda yo'llar orasining kengligi va muzlashdan himoyalovchi qatlarning qalinligiga bog'liq

bo'ladi. Bu holda o'lchamlarni aniqlash uchun elastik asosdagi balkaning hisobiy modeli qo'llanilishi mumkin.

Ikki qatlamli yuk ko'taruvchi plitalar uchun yaxlit armaturalangan yuk ko'taruvchi beton plita va gidravlik bog'langan yuk ko'taruvchi qatlam yoki asfaltbeton yuk ko'taruvchi plita va gidravlik bog'langan yuk ko'taruvchi qatlam o'rtasidagi I-“tutashmasiz” va II-“tutashmali” tizimlarni farqlash lozim. Tizim ma'lumotlarini hisoblash (I-tizim uchun asosning yotish koeffitsiyenti va h_I ; h_{II} , I , e_0 va II-tizim uchun e_0) haqiqiy uch qatlamli tizimni shartli ikki qatlamli tizimga (ekivalent balandligi h_I yoki h_{II} bo'lgan bo'ylama balka) aylantirish shartidan amalga oshirilishi mumkin [7-8].

Ikkinchi bosqichda shartli balkaning elastiklik xarakteristikasi L_E quyida keltirilgan formulalar yordamida hisoblanadi.

Uchinchi bosqichda bu formulalar bo'yicha har ikkala sistema uchun oldingi bo'limda keltirilgan tayanch nuqtalaridagi kuchlardan hosil bo'ladigan eguvchi momentlarni hisoblash mumkin, bunda tayanch nuqtalaridagi kuchlar faqat momentlar chizig'ining musbat sohasida ($\mu > 0$) hisobga olinishi kerak.

To'rtinchi bosqichda ma'lum formulalar bo'yicha har ikkala qatlarning pastki qirrasida egilishdagi σ_I va σ_2 normal cho'zuvchi kuchlanishlar hisoblanadi.

Shartli balkaning L_E elastiklik xarakteristikasi mm da:

$$L_E = \left[\frac{4 \cdot E_E \cdot I_E}{b_E \cdot C} \right]^{0,25}$$

Shartli balka kesimining L_E inersiya momenti, mm^4 :

$$I_E = \frac{b_E \cdot h_{I,II}^3}{12}$$

Shartli balkadagi M_{II} eguvchi moment, $N \cdot mm$:

$$M_{I,II} = \frac{L_E}{4} \cdot \sum (S_i \cdot \mu_i),$$

bunda

$$\mu_i = \frac{-\sin \xi_i + \cos \xi_i}{e^{\xi_i}}$$

bu yerda E_E – shartli balkaning elastiklik moduli, H/mm^2 ;

b_E – shartli balka kengligi, mm ;

k – Eisenmann usuli bo'yicha asosning ekivalent yotish koeffitsiyenti, H/mm^3 ;

S_i – tayanch nuqtalaridagi kuchlar, H ;

μ_i – qo'shni o'qlarni hisobga olish uchun ta'sir omili.

Elastik asosdagi gidravlik bog'langan yuk ko'taruvchi qatlam bilan bog'lanmagan yuk ko'taruvchi plitadan iborat uch qatlamli tizimda eguvchi kuchni hisoblash:

Asosning ekivalent yotish koeffitsiyenti, N/mm^3 :

$c = 0,83$ noorganik bog'lovchi moddalar uchun;

$c = 0,90$ organik bog'lovchi moddalar uchun;

1. Bir xil qattqlikka ega bo'lgan ekivalent tizimning qalinligi $E=E_I$, mm :

2. Ekivalent sistema uchun eguvchi moment $M_I - k$, h_1 va E_1 :

3. 1 va 2 qatlamlardagi egilishdagi normal cho'zuvchi kuchlanish, $N \cdot mm$:

$$M_1 = M_I \cdot \frac{E_1 \cdot h_1^3}{E_1 \cdot h_1^3 \cdot E_2 \cdot h_2^3}$$

$$M_2 = M_I \cdot \frac{E_2 \cdot h_1^3}{E_1 \cdot h_1^3 \cdot E_2 \cdot h_2^3}$$

$$\sigma_{r2} = 6 \cdot \frac{M_1}{h_1^2},$$

$$\sigma_{r2} = 6 \cdot \frac{M_2}{h_2^2},$$

Elastik xarakteristika, mm

$$L_I = \sqrt[4]{\frac{E_1 \cdot h_1^3}{12 \cdot (1 - \mu^2) \cdot k}}$$

bu yerda μ - ko'ndalang kengayish koeffitsiyenti;
 $\mu_{beton} = 0,15$, $\mu_{asfalt} = 0,20$.

Elastik asosda gidravlik bog'langan qatlam bilan bog'langan yuk ko'taruvchi plitadan iborat uch qatlamli tizimda eguvchi yukni hisoblanadi.

1. I-tizimdagi kabi asosning ekvivalent yotish koeffitsiyenti

2. Bir xil qattqlikka ega bo'lgan ekvivalent tizimning qalinligi $E=E$, mm:

$$h_{II} = h_1 + 0,9 \cdot h_2 \cdot \sqrt[3]{\frac{E_2}{E_1}},$$

3. Ekvivalent tizim - k , h_{II} va E_i uchun M_{II} momentni aniqlanadi.

4. Bir xil bikrlikka ega bo'lgan plitaning bitta balkasi uchun olingan 1 va 2-qatlamlardagi egilishdagi normal cho'zuvchi kuchlanish N/mm^2 .

$$E=E_1 \text{ bo'lganda } X = \frac{E_2}{E_1}$$

$$I = \sum (I_i + F_i \cdot x_i^2);$$

$$e_0 = \frac{\sum F_i \cdot x_i}{\sum F_i},$$

bu yerda I - kesimning inersiya momenti, mm^4 ;

$$e_0 = \frac{h}{2} \cdot \frac{E_2 \cdot h_2}{E_1 \cdot h_1 + E_2 \cdot h_2} + \frac{h_1}{2}$$

$$e_u = h - e_0,$$

$$\sigma_{r1,0} = \frac{M_{II}}{I} \cdot e_0;$$

$$\sigma_{r1,u} = \frac{M_{II}}{I} (h_1 - e_0),$$

$$\sigma_{r2,0} = X \cdot \frac{M_{II}}{I} (h_1 - e_0),$$

$$\sigma_{r2,u} = X \cdot \frac{M_{II}}{I} \cdot e_u$$

Elastik xarakteristika, mm

$$L_{II} = \sqrt[4]{\frac{E_1 \cdot h_{II}^3}{12 \cdot (1 - \mu^2) \cdot k}}$$

Beton yoki asfaltbeton yuk ko'taruvchi plitaning B_1 va gidravlik bog'langan yuk ko'taruvchi qatlam yoki asfaltbeton yuk ko'taruvchi qatlamning B_2 turli kengligi ($B_2 \leq B_1 + 2 \cdot h_2$, yukning taqsimlanish burchagi $\leq 45^\circ$) yaxshi tarkibda quyidagicha hisobga olinishi mumkin.

σ_1 va σ_2 - kuchlanishlar quyidagi ifodalar bilan aniqlanadi:

I-tutashuvsiz tizim:

- yuk ko'taruvchi plitaning tagida:

$$\sigma_1 = \frac{6 \cdot \beta_1 \cdot M_1}{B_1 \cdot h_1^2}$$

$$\sigma_2 = \frac{6 \cdot \beta_2 \cdot M_2}{B_1 \cdot h_2^2}$$

- yuk ko'taruvchi qatlam tagida:

$$\beta_1 = \frac{E \cdot h_1^3}{E_1 \cdot h_1^3 + E_2 \cdot h_2^3},$$

$$\beta_2 = (1 - \beta_1),$$

II-tutashtirilgan tizim:

- yuk ko'taruvchi plitaning tagida:

$$\sigma_1 = \frac{M_{II} \cdot (h_1 - e_0)}{B_1 \cdot I}$$

$$\sigma_1 = \frac{E_2 \cdot M_{II} \cdot e_u}{E_1 \cdot B_2 \cdot I},$$

Shpalning 300 mm kengligini hisobga olsak, eguvchi moment M taxminan 10% kam bo'ladi. Bundan tashqari, egilishda normal cho'zuvchi kuchlanishlarni hisoblash chekli elementlar usuli bilan amalga oshirilishi mumkin.

Moment ta'sir chizig'ining musbat sohasida q (N/mm) bir tekis yuklanish uchun $(-0,25 \cdot \pi) \leq (x/L) \leq (0,25 \cdot \pi)$ ikkala tutashtirilmagan va tutashtirilgan tizimlar uchun $H \cdot mm$ da eguvchi moment quyidagi formula bo'yicha hisoblanishi mumkin:

$$M_{I,II} = 0,161 \cdot q \cdot L_{I,II}^2$$

3. Natija va muhokamalar

Modifikatsiyalangan *Rheda* ballastsiz yo'l ustki konstruksiya uchun mustahkamlikka hisoblash 2-jadvalda keltirilgan.

2-jadval

***Rheda* ballastsiz konstruksiyasining mustahkamlikka hisoblash natijalari**

Nomlanishi	1-tizim (o'rtasidagi bog'lanishsiz qatlamlar bilan)		2-tizim (qatlamlar orasidagi bog'lanish bilan)	
$B1, mm$	3200		3200	
$B2, mm$	3800		3800	
$h1, mm$	180		180	
$h2, mm$	300		300	
$E1, N/mm^2$	34000		34000	
$E2, N/mm^2$	5000	10000	5000	10000
$E3, N/mm^2$	120	120	120	120
c	0,83	0,83	0,83	0,83
h_x, mm	1844,493	2068,866	1844,493	2068,866
$C=k, N/mm^3$	0,065	0,058	0,065	0,058
$h1,2, mm$	214,016	239,706	322,515	359,558
$L1,2, mm$	1143,138	1280,813	1554,805	1736,016
μl	0,268	0,327	0,421	0,470

μ_2	-0,090	-0,038	0,061	0,120
I_u , mm^4/mm	-	-	2,80E+06	3,87E+06
$\beta_1(e_0)$	0,595	0,423	342,756	311,053
$\beta_2(e_u)$	0,405	0,577	137,244	168,947
$M_{1,2}$, mN/mm	3,383E+07	4,063E+07	5,462E+07	6,410E+07
σ_1 , N/mm^2	1,165	0,996	0,261	0,057
σ_2 , N/mm^2	0,240	0,411	0,259	0,398
$max\sigma_1$, N/mm^2	2,097	1,792	0,470	0,103
$max\sigma_2$, N/mm^2	0,433	0,740	0,466	0,717

4. Xulosa

1. Modelning ishlashi natijasida Rheda ballastsiz yo'l konstruksiyasining egilishdagi eguvchi momentlar va normal cho'zuvchi kuchlanishlar aniqlandi.

2. Ushbu matematik modelda ikkita hisoblash tizimi mavjud bo'lib, ulardan biri gidravlik bog'langan yuk ko'taruvchi qatlamli va beton yuk ko'taruvchi plita orasidagi tutashuv va tutashuvga ega yo'l konstruksiyasini tavsiflaydi.

3. Hisoblash bir vaqtning o'zida gidravlik bog'langan yuk ko'taruvchi qatlamli ikkita holat uchun olib borildi, ular yuklanishning ikkinchi bosqichining o'zgaruvchan deformatsiya moduli orqali ifodalanadi:

3.1. Kuchlanishni olib tashlashga mos keladigan ($E_2 = 5000 N/mm^2$) strukturaviy yoriqlar mavjud bo'lgan gidravlik bog'langan yuk ko'taruvchi qatlam holati.

3.2. Yaqqol ifodalangan strukturaviy yoriqlari bo'lmagan gidravlik bog'langan yuk ko'taruvchi qatlam holati ($E_2 = 10000 N/mm^2$).

Foydalanilgan adabiyotlar / References

[1] ВСН 450-Н Ведомственные технические указания по проектированию и строительству. Железные дороги колеи 1520 мм. Ташкент, 2011. ГАЖК «ЎТЙ»;

[2] ВСН 448-Н Инфраструктура высокоскоростной железнодорожной линии Ташкент – Самарканд. Общие технические требования. Ташкент, 2010. ГАЖК «ЎТЙ»;

[3] ВСН 354-Н Ведомственные технические указания по проектированию земляного полотна железных дорог колеи 1520 мм. Ташкент, 2011. ГАЖК «ЎТЙ»;

[4] SHNK-2.05.01-19 "1520 mm izli temir yo'llar. Loyihalash me'yorlari" /O'zbekiston Respublikasi Qurilish vazirligi-Toshkent, 2019 y;

[5] Em.o. Prof. Dr.-Ing. J. Eisenmann, Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. G. Leykauf Feste Fahrbahn für Schienenbahnen. Sonderdruck aus Beton Kalenlir.- Berlin, 2000;

[6] Савин, А.В. Испытания безбалластных конструкций пути [Текст] / А.В. Свин, А.В. Петров, К.И. Третьяков // Техника железных дорог. – 2016. – № 5. – С. 28–38;

[7] Чернышев, М.А. Практические методы расчета пути [Текст] / М.А. Чернышев. – М.: Транспорт, 1967. – С. 80–117;

[8] Савин А.В. Условия применения безбалластного пути: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – А.В. Савин, – М, 2017. – 444 с.

Mualliflar to'g'risida ma'lumot / Information about authors

Umarov Xasan Kobilovich / Khasan Umarov	PhD, v.b. professor, Toshkent davlat transport universiteti, Temir yo'l muhandisligi kafedrası. E-mail: janobhuk@mail.ru Tel.: +998 90 443 49 14 https://orcid.org/0000-0003-0397-2780
Qodirov Jamshid Zulfiqor o'g'li / Jamshid Kodirov	Doktorant, Toshkent davlat transport universiteti, Temir yo'l muhandisligi kafedrası. Tel.: +998 90 129 68 68
Choriyev Rustam Alisher o'g'li / Rustam Choriyev	YMTQ-5 guruh talabasi, Toshkent davlat transport universiteti, Temir yo'l muhandisligi kafedrası. E-mail: choriyev888@gmail.com Tel.: +998 91 797 80 85

Assessment of the stability of the excavation tunnel and vertical movements of the earth's surface

Sh. Normurodov¹, D.A. Lintang², Y. Usmonaliev¹, H. Normurodov¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

²Jakarta Global University, Jakarta, Indonesia

Abstract: In the work, a new numerical modeling method for solving the problems of determining the stress-deformation state of the ground massif around the artificial void of the metropolitan walking tunnels under construction is presented. The initial stress and deformation state of the ground array before tunnel excavation, that is, under the influence of volume loading, is determined, and then the values of additional stresses in the array are determined due to the effects of the stresses measured around the artificial space caused by the excavation. In order to increase the potency of the proposed calculation method, development of algorithm and program for digitization of finite elements and their nodes according to order: modern algorithms for graphically outputting data on initial data, displacements in nodes, deformation and stresses in elements were developed

Keywords: tunnel, stress, viscoelastic, seismic impact, vertical stresses, tangential stress, elastic deformation, inelastic deformation

1. Introduction

Checking the stress- deformation condition round tunnels is one of the main issues of the mechanic's of underground structures. Excavation of an artificial space associated with the removal of a certain volumes of ground from the massive leads to a violation of the existing balance in it and a change in the initial field of stresses. In the process of solving the problem of elastic or inelastic parcelling of stresses around artificial spaces located in the ground massif, it is necessary to use a calculation scheme that allows to get rid of rather large errors in determining the stresses and displacements around the artificial space.

The calculation scheme proposed by I.V. Rodin is based on the use of the superposition method [1-9]. At the same time, the stress- deformation state of the undisturbed ground massive under the influence of the initial stresses before tunneling is determined, and then excavation works are performed and the state after "removal" of the stresses on the contour of the artificial cavity is re-measured. The sum of the initials and additional values of stresses and deformations gives the solution of the problem (Figures 1-2).

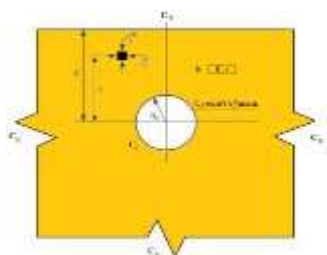


Fig. 1. The scheme for determining the state of stress-deformation round the artificial cavity of the tunnel

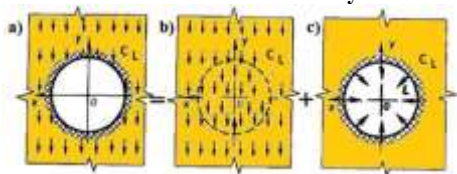


Fig. 2. The scheme for determining the state of tension and deformation round the artificial cavity of the tunnel:

a - artificial cavity with real tension; b – the initial stresses in the specified soil circle; c - "removable" stresses on the contour of the artificial cavity

2. Materials and methods

The sought-after components of the total stresses in the ground field S can be expressed as the summ of two addends, as shown above:

$$\begin{aligned}\sigma_x &= \sigma_x^{(0)} + \sigma_x^{(1)}, \\ \sigma_y &= \sigma_y^{(0)} + \sigma_y^{(1)} \\ \tau_{xy} &= \tau_{xy}^{(0)} + \tau_{xy}^{(1)},\end{aligned}\quad (2.1)$$

The vertical and horizontal components of the pressure of the ground mass at a certain depth equal to the average specific gravity g are calculated according to certain formulas:

$$\sigma_y^{(0)} = \gamma H; \quad \sigma_x^{(0)} = \lambda \gamma H \quad (2.2)$$

The loads imposed on the considered part of the array can also be imposed by volumetric gravity forces, divided by boundary normal and shear forces. Appropriate conditions are modeled to prevent perpendicular movement of the considered soil mass zone S at the far boundaries. If the array is multi-layered, the stresses vary considerably from layer to layer and the more the elastic characteristics of the stresses differ, the greater the variation in stresses. Therefore, the parcelling of stresses around the contour of the ground rock at the intersection of the excavation site with layers with different initial stress states is quite different from the homogeneous model. The linear elastic model is based on Hooke's law of isotropic liners elasticity. The model includes two constants: Young's modulus (E) and coefficient Poisson's (ν). We assume that the deformations caused by these forces are small and correspond to the following basic equations [10]:

1. Equilibrium equations (Static equations)

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \bar{X} = 0, \quad \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \bar{Y} = 0 \quad (2.3)$$

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \tau,$$

where X and Y are volumetric forces in the form of initial stresses or in matrix form $A\vec{\sigma} + \vec{P} = 0$,

$$\text{here, } A = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} \end{bmatrix}, \quad \vec{\sigma} = [\sigma_x \sigma_y \tau], \quad \vec{P} = [\bar{X} \bar{Y}].$$

2. Connections between deformation and displacements (geometric equations)

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}, \quad \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}, \quad \gamma_{xy} = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}, \quad (2.4)$$

$$\text{or} \quad \vec{\varepsilon} = A^T \vec{U},$$

$$\text{here, } A^T = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix} \vec{\varepsilon} = [\varepsilon_x \varepsilon_y]^T, \quad \vec{U} = [u \ v]^T.$$

3. Physical equations (Hooke's law)

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} (\sigma_x - \nu \sigma_y),$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E} (\sigma_y - \nu \sigma_x), \quad (2.5)$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G}$$

$$\text{or} \quad \vec{\varepsilon} = B \vec{\sigma} \quad \text{here}$$

$$B = \frac{1}{E} \begin{bmatrix} 1 & -\nu & 0 \\ -\nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2(1+\nu) \end{bmatrix}.$$

Analysis of the stress-deformation state with the finite element method allows to evaluate the deformation and stress changes that occur in the system as a result of the non-uniformity of elastic properties and changes in geometric shapes, fulfilling the conditions of the static equilibrium state. Face stability during tunneling is one of the most important static problem's in the field of tunneling. Nowadays, the tunnel usually collapses due to troubles in the excavation of the face. This phenomenon is observed both in tunnels made in the ground and those made in rock. In addition, collapses in the tunnel were recorded in both shallow and deep tunnels [11-14].

3. Numerical results and discussion

In this regard, we will consider the problem of determining the stability of a tunnel excavation, which was carried out using a Herrenknecht TBM. In the course of solving the problem, the initial stress field, zones of limit states in the vicinity of the excavation and vertical displacements of the surface of the soil mass were calculated. In this case, the main linear dimensions of the model are as follows: model width (dimension in the direction of the X axis) – 100 meter; model height (dimension in the Y -axis direction) – 70 meter.

For this purpose, the physical and mechanical properties of the rock mass along the tunnel route between the station were used Turkistan to st. Yunusabad, which are presented in table 1. The depth of the tunnel varies from 8 to 22 meters.

The diameter of the TBM shield for tunneling is 5860 mm; therefore, the diameter of the excavation in front of the shield is taken in these equal values. Figure 3 shows numerical finite element model's of a rock mass with tunnels at various depths [15].

Table 1

Average value's of the main physico-mechanical parameters of the soil of the metro tunnel route

Layer	h, (m)	γ , (kH/m ³)	E_0 , (MPa)	C , (kPa)	ϕ , (gr)	ν_0
I	2	18,2	4,2	5,4	7	0,32
II	4	17,1	10,7	9,0	12	0,30
III	7	18,7	13,8	11,6	15	0,28
IV	20	19,4	16,5	-	17	0,30

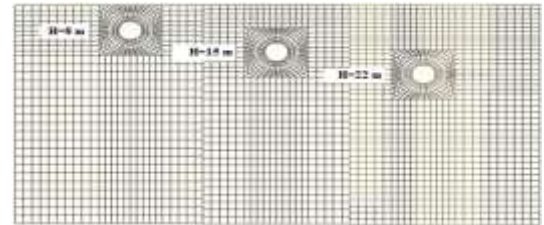


Fig. 3. Numerical models of a massive with workings of a tunnel section of various depths

Figure 4 shows the fields of vertical displacements of a given area for an elastic problem in which the deformation parameters of the soil have not yet changed. Further, as a result of calculations, local zones of local destruction or zones of loss of stability around the tunnel opening were found.

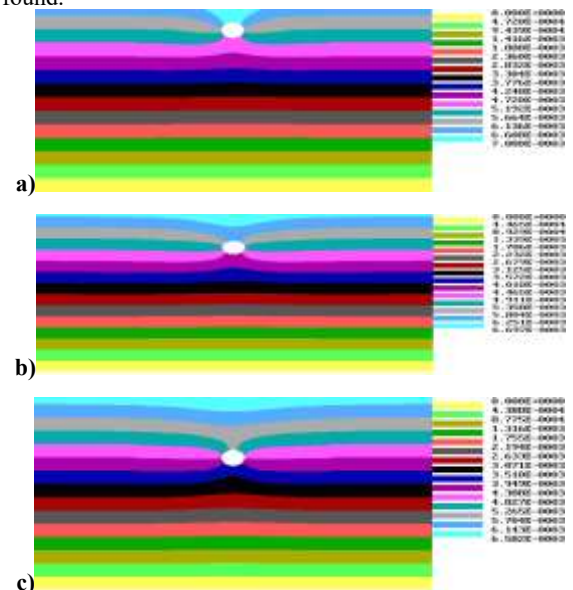


Fig. 4. Isochromes of vertical displacement's of a given area for an elastic problem, at depths: a) H=8 meter, b) H=15 meter, c) H=22 meter.

The zones are expressed through certain values of ground safety factors η , which are formed as a result of plastic destruction according to the Mohr-Coulomb strength (limit state) condition (Figure 5) [13].

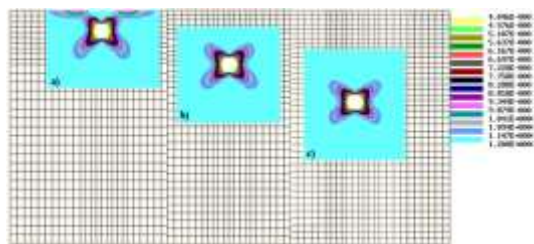


Fig. 5. Isochromes of safety factors η for a given area at tunnel sections: a) $H=8$ meter, b) $H=15$ meter, c) $H=22$ meter

Taking into account plastic destruction with changes in the deformation parameters of the ground for each case ($H = 8$ meter, $H = 15$ meter, $H = 22$ meter) shows that they significantly changed the picture of the stress- deformation state of the ground around the tunnel. The zones of instability round the tunnel opening becomes limited as the excavation depth increases. In figure 6-11 show in the form of graphs the distributions of values of radial, tangential and tangential stresses when problems were solved without and taking into account local destruction in the ground area around the tunnel. Analysis of the graphs shows that the formation of an area of plastic deformation leads to a decrease in the level of stress at the excavation contour in comparison with the solution of the elastic problem. The maximum stress moves deep into the massive to the interface between the elastic and inelastic regions.

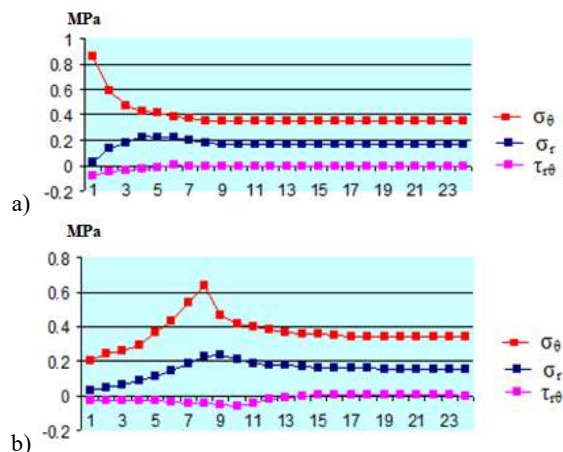


Fig 6. Parcelling of tangential, radial and tangential stresses around the excavation at $\theta=0^\circ$ and $H=8$ meter: a) elastic deformation, b) inelastic deformation

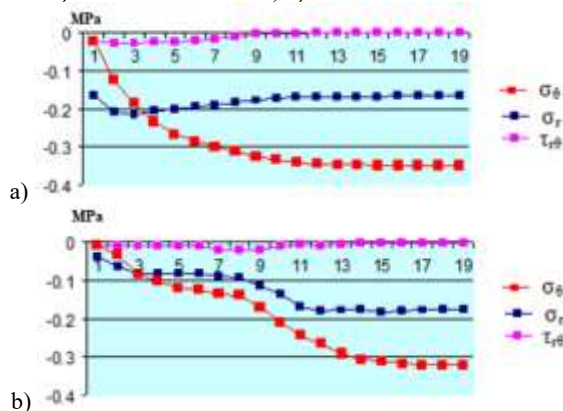


Fig. 7. Parcelling of tangential, radial and tangential stresses around the excavation at $\theta=180^\circ$ and $H=8$ meter: a) elastic deformation, b) inelastic deformation

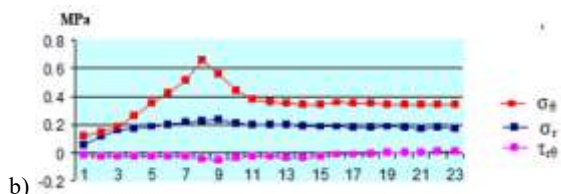
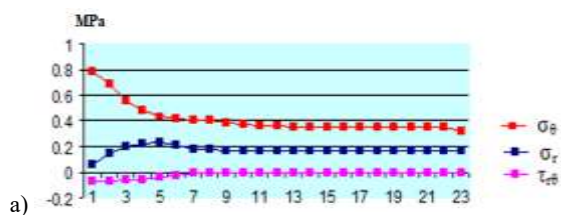


Fig. 8. Parcelling of tangential, radial and tangential stresses around the excavation at $\theta=0^\circ$ and $H=15$ m: a) elastic deformation, b) inelastic deformation

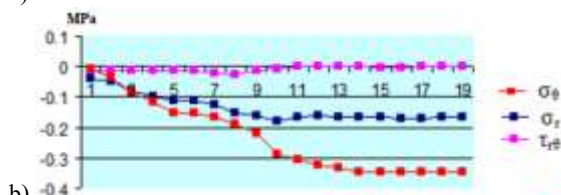
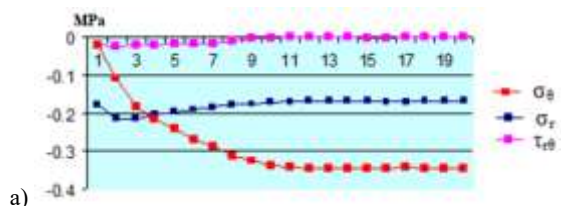


Fig. 9. Parcelling of tangential, radial and tangential stresses around the excavation at $\theta=180^\circ$ and $H=15$ meter: a) elastic deformation, b) inelastic deformation

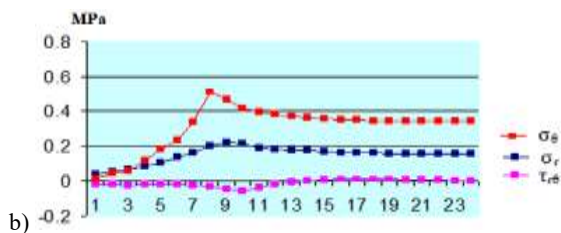
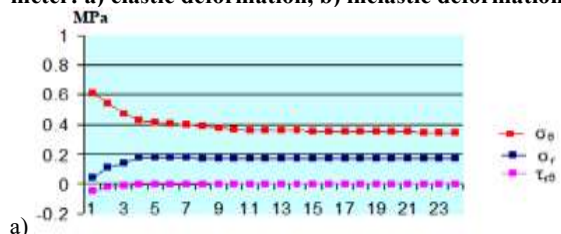


Fig. 10. Parcelling of tangential, radial and tangential stresses around the excavation at $\theta=0^\circ$ and $H=22$ meter: a) elastic deformation, b) inelastic deformation

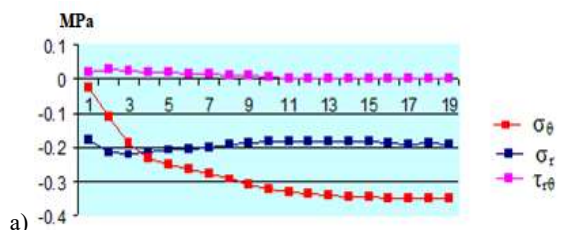


Fig. 11. Parcelling of tangential, radial and tangential stresses around the excavation at $\theta=0^\circ$ and $H=22$ meter: a) elastic deformation, b) inelastic deformation

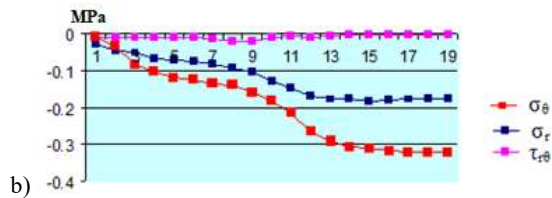


Fig. 11. Parcelling of tangential, radial and tangential stresses around the excavation at $\theta=180^\circ$ and $H=22$ meter: a) elastic deformation, b) inelastic deformation

4. Conclusion

As a result of the numerical calculations performed, the settlement of the earth's surface during tunneling using the shield method was determined. It was found that the maximum precipitation of the ground surface decreases with increasing tunnel section (Fig. 12 - 13). This is due to the fact that when tunnels are laid deep, settlements are largely determined by a decrease in the vertical ground pressure on the tunnel due to the formation of a limited disturbed zone around the workings.

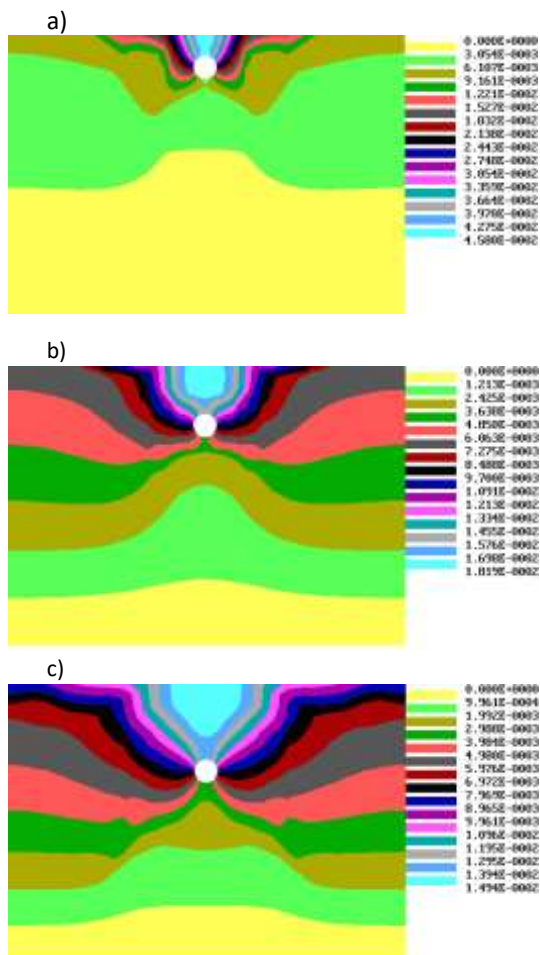


Fig. 12. Isochromes of vertical displacements of a given area of formation of a zone of inelastic deformations at depths: a) $H=8$ meter, b) $H=15$ meter, c) $H=22$ meter

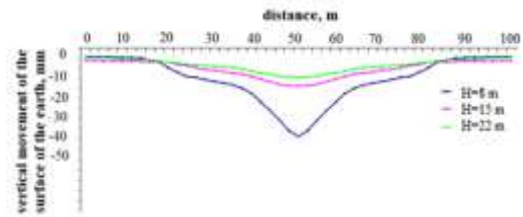


Fig. 13. Settlement of the earth's surface during excavation of a distillation tunnel at depths: a) $H=8$ meter, b) $H=15$ meter, c) $H=22$ meter

Through the created methods, the vertical subsidence of the soil massif around the artificial spaces of the tunnel between the Turkestan and Yunusabad stations located at a depth of 8, 15 and 22 meters, and unstable zones of failure were determined. Real physical and mechanical properties of the surrounding soil array were used in the calculation process. The obtained results made it possible to reveal and determine the specific laws of the changes in ground stresses, the formation of inelastic and non-resilient deformation zones around (near) the contour of the artificial cavity when the metropolitan pedestrian tunnels increase their depth

References

- [1] Miralimov, M., Normurodov, S., Akhmadjonov, M., & Karshiboev, A. (2021). Numerical approach for structural analysis of Metro tunnel station. In E3S Web of Conferences (Vol. 264, p. 02054). EDP Sciences.
- [2] Bulat A. F. Applied Mechanics of elastic-hereditary media. – K.:Science. Dumka, 2012-614 p.
- [3] Dorman I. Y. Seismic transport tunnel. M.: Stroyizdat, 2000, p. 307
- [4] B. Onouye and K. Kane. Statics and Strength of Materials for Architecture and Building Construction. 4-th edition, University of Washington, New Jersey, USA, 2016, p. 589
- [5] Frolov Y.S. and Promising development of transport infrastructure Spain (based on the materials of a practical conference). ZhI "Metro and Tunnel," No. 3. Moscow, 2012, S.11-19
- [6] Broere W. Influence of excess pore pressures on the stability of the tunnel face. In (Re) Claiming the underground space, pp. 759-765, Routledge (2003).
- [7] Barkanov E. Introduction to the finite element method. Institute of Materials and Structures Faculty of Civil Engineering Riga Technical University, pp.1-70, (2001).
- [8] Miralimov, M. X., & Normurodov, S. U. (2019). Construction features of transport tunnels in the mountain areas of uzbekistan. Journal of Tashkent Institute of Railway Engineers, 15(3), 26-35.
- [9] Ulugbekovich, N. S. (2022). Stress-strain state of the construction of a subway tunnel under seismic impacts. World scientific research journal, 8(1), 3-11.
- [10] Khamitovich, M. M., Ulugbekovich, N. S., & Shomansur o'g'li, T. S. (2021). Calculation technique for typical circular tunnel linings with taking into account the interaction of the structure with the ground. Galaxy International Interdisciplinary Research Journal, 9(6), 362-368.
- [11] Construction of the second stage of the Yunusabad metro line on the section from Shakhristan

station to Turkiston station. Section 8. Project of works. Tashkent Metroproekt LLC, p. 120, (2017)

[12] Guglielmetti V., Grasso P., Mahtab A., and Xu S. (Eds.). Mechanized tunnelling in urban areas: design methodology and construction control. Taylor and Francis. (2008).

[13] Miralimov, M., & Shakhboz, N. (2023). Ground behaviour and settlements analysis on tunnelling of shallow-buried metro in Tashkent city. In E3S Web of Conferences (Vol. 401, p. 01062). EDP Sciences.

[14] Salixanov, S. S., Zokirov, F. Z., Xakimova, Y. T., & Ismailova, G. B. (2023). The effect of increasing loads on foundations of operating bridges. In E3S Web of Conferences (Vol. 401, p. 01080). EDP Sciences.

[15] Raxmanov, U. S., & Ismailova, G. B. (2020). Calculation of seismic resistance of reinforced concrete railway spans without prestressing reinforcement. Journal of Tashkent Institute of Railway Engineers, 16(3), 164-169.

[16] Shermuxamedov, U., Shaumarov, S., & Uzdin, A. (2021). Use of seismic insulation for seismic protection of railway bridges. In E3S Web of Conferences (Vol. 264, p. 02001). EDP Sciences.

[17] U.Z. Shermukhamedov, A.B. Karimova, B.S. Zakirov. Calculation of Continuous Reinforced Concrete Bridges And Overpasses Inseismically Hazardous Areas // V International Scientific Conference "Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering" (CONMECHYDRO - 2023), E3S Web of Conf. Volume 401, 2023. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340101078>

[18] Turgunbayeva, J. R., Ismoilova, G. B., & Juraev, K. M. (2023). Investigation of mechanical activation of steelmaking slag and obtaining fine filler. In E3S Web of Conferences (Vol. 401, p. 02039). EDP Sciences.

[19] AZ Khasanov, UZ Shermukhamedov, AR Abdullayev. The method for determining the designed resistance of soils with considering the theory of soil strength proposed by the authors // Smart Geotechnics for Smart Societies. CRC Press. - p. 464-467.

Information about authors

Shakhboz Normurodov	Toshkent Davlat Transport Unversteti, 100067, Tashkent, Uzbekistan. Email: normurodovsh25@mail.ru
Lintang Dian Artanti	Jakarta Global University, Jakarta, Indonesia. Email: lintang@jgu.ac.id
Yakhyobek Usmonaliyev	Toshkent Davlat Transport Unversteti, 100067, Tashkent, Uzbekistan. Email: : usmonaliyevy@gmail.com
Khasan Normurodov	Toshkent Davlat Transport Unversteti, 100067, Tashkent, Uzbekistan. Email: hasanjonnormurodov@gmail.com



Calculation of the walls of the road bridge Approach lift trailer to strength, located on the 165-km section of the M-39 Highway on the Syrdarya-Jizzakh line

M.Kh. Miralimov¹, Kh.U. Urazov, K.M. Juraev¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Annotation: This article presents the results of the analysis of the strength, resistance to overturning and displacement, and load-carrying capacity of the abutment walls of the approach lift of the automobile bridge. During the research, mechanical methods and mathematical models were used to determine the stresses and deformations in the retaining walls. According to the results of the calculations, the retaining walls of the 12.6 m high bridge approach have met the conditions specified in the regulatory documents for safe transmission to the ground by accepting the pressure from the temporary loads and the soil mass. In addition, the probabilities of overturning and sliding of retaining walls were evaluated. The conclusions obtained because of this assessment will help to develop important recommendations for strengthening the retaining wall structure of our research facility

Key words: Vehicle bridges, approach ramp, retaining walls, resistance to sliding, soil mass, resistance to overturning, temporary load class

Sirdaryo-Jizzax yo'nalishidagi M-39 avtomobil yo'lining 165-km qismida joylashgan avtomobil ko'priq yaqinlashuv ko'tarmasi tirkak devorlarini mustahkamlikka hisoblash

Miralimov M.X.¹, O'razov X.O'., Jo'rayev Q.M.¹

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Mazkur maqolada avtomobil ko'prigining yaqinlashuv ko'tarmasi tirkak devorlarining mustahkamlikka, ag'darilish va siljishga qarshiligi hamda yuk ko'tarish qobiliyatlari bo'yicha tahlili natijalari keltirilgan. Tadqiqot jarayonida mexanik usullar va matematik modellardan foydalanilib, tirkak devorlaridagi kuchlanishlar va deformatsiyalar aniqlandi. Hisoblash natijalariga ko'ra 7.0m balandlikdagi ko'priq yaqinlashuv ko'tarmasi tirkak devorlari vaqtinchalik yuklardan va grunt massividan tushayotgan bosimni qabul qilib zaminga xavfsiz uzatishda belgilangan me'yoriy hujjatlarda ko'rsatilgan shartlarni bajardi. Shuningdek, tirkak devorlarni ag'darilish va siljish ehtimolliklari baholandi. Ushbu baholanish natijasida olingan xulosalar tadqiqot o'tkazilgan obyektimizning tirkak devor konstruksiyasini armakar kaz qilish uchun muhim tavsiyalarni ishlab chiqishga yordam beradi

Kalit so'zlar: Avtomobil ko'priklari, yaqinlashuv ko'tarmasi, tirkak devorlar, siljishga qarshilik, grunt massivi, ag'darilishga qarshilik, vaqtinchalik yuk sinfi

1. Kirish

Ko'priq yaqinlashuv ko'tarmasining tirkak devorlar (tayanch devorlar) grunt massivining barqarorligini ta'minlash uchun keng qo'llaniladi. Ular asosan grunt massivining relyefini ushlab turish, tuproq siljishi va ko'chishini oldini olish va tuproq eroziyasini kamaytirish uchun muhim hisoblanadi. Tirkak devorlari nafaqat ko'priklarning yaqinlashuv ko'tarmalarida balki nishablikda joylashgan hududlarda yer maydonini tekislash va foydalanish maydonini kengaytirishda ham foydalaniladi. Tirkak devorlar materialiga qarab yog'och, tosh, temirbeton, kompozit va metal konstruksiyalardan tayyorlanishi mumkin. Shuningdek tirkak devorlar xam foydalanishiga qarab turli shakllarda tayyorlanishi mumkin.

Ko'priq yaqinlashuv ko'tarmasi tirkak devorlarini hisoblashning asosiy maqsadi quyidagicha izohlanadi:

[1] tirkak devor yon sirtlariga grunt massivining bosimini va hosil bo'lgan kuchlanishlarni aniqlash;

[2] tirkak devorlarning doimiy va vaqtinchalik yuklardan hosil bo'lgan kuchlanishlarga bardoshlilikini ta'minlash;

[3] tirkak devorlarning deformatsiyalarini minimalizatsiya qilish va tirkak devor konstruksiyasining optimal o'lchamlarini tanlash;

[4] tirkak devor konstruksiyalarini tayyorlashda resurslardan samarali foydalanish;

[5] dasturiy vositalar orqali modellashtirish natijasida tirkak devorlarning mexanik xususiyatlarini prognozlashtirish.

Yuqorida keltirilgan maqsadlar tirkak devorlarining ishonchli va samarali ishlashini ta'minlashda muhim hisoblanadi.

2. Asosiy qism

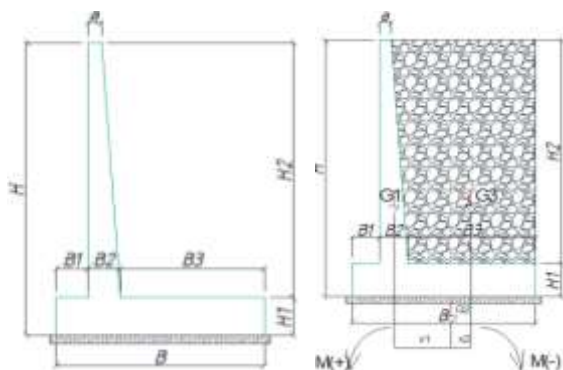
Avtomobil ko'prik yaqinlashuv ko'tarmalaridagi tirgak devorlarning shakli, materiali va o'lchamlari ushbu tirgak devorlarga tushayotgan grunt massivi hamda yaqinlashuv ko'tarmalariga ta'sir qilayotgan xarakatlanuvchi vaqtinchalik yuklarning hisobidan kelib chiqib tanlanadi.

Misol tariqasida Sirdaryo – Jizzax yo'nalishidagi M39 avtomobil yo'lining 165-km qismida joylashgan avtomobil ko'prigining yaqinlashuv ko'tarmasi tirgak devorini grunt massivi ta'sirida siljish va og'ishga mustahkamligini hamda yuk ko'tarish qobiliyatini hisoblab chiqamiz (1-rasm).

Dastlab boshlang'ich ma'lumotlar sifatida (B1, B2, B3, a, H va B) tirgak devor ko'ndalang kesimining kenglik va balandlik o'lchamlarini aniqlaymiz va maxsus qaydlar jadvaliga kiritamiz (1-jadval). So'ngra quyidagi (tirkak devorining o'g'irligi aniqlash, poydevor ustidagi grunt massivining og'irligini aniqlash, grunt massivining gorizontaal bosimini aniqlash, doimiy yuklardan hosil bo'lgan moment, grunt massivining gorizontaal bosimini vaqtinchalik yuklarni hisobga olgan holda aniqlash, poydevor ostki sathidagi kuchlanishlarni aniqlash, konstruksiyani og'ishga va siljishga qarshiligi) ketma-ketlikda muhandislik hisoblarini olib boramiz. Tekshirilayotgan tirgak devorining o'lchamlari

1-jadval

№	Nomlanishi			
	Tirgak devor poydevorining kengligi, m		Balandligi, m	
1	B1	1.00	H1	1.00
2	B2	0.90		
3	B3	3.60	H2	6.00
4	a	0.40		



1-rasm. Ko'prik yaqinlashuv ko'tarmasi tirgak devorining sxematik ko'rinishi

Tirkak devorining og'irligini aniqlash:

$$G_1 = ((B_1 + a)/2) \cdot H_2 \cdot \gamma_b$$

$$G_2 = B \cdot H_1 \cdot \gamma_b$$

$$G_3 = (B_3 + B_2 - a + B_3)/2 \cdot H_2 \cdot \gamma_g \cdot k_1$$

bu yerda: G_1 – tirgak devor konstruksiyasining devori og'irligi;

G_2 – tirgak devor konstruksiyasining poydevori og'irligi;

G_3 – tirgak devorga tushayotgan grunt og'irligi;

λ_b – temirbeton konstruksiyaning solishtirma og'irligi;

λ_g – gruntning solishtirma og'irligi;

k_1 – yuk bo'yicha ishonchlilik koeffitsienti.

Gruntning ko'ngdalang bosimini hisoblash:

$$\text{grad} = \phi \cdot \pi/180$$

$$\mu = \tan \phi^2 = \tan(\pi/4 - \text{grad}/2)^2$$

$$P = \gamma_g \cdot \mu \cdot H$$

$$E = (P/2) \cdot H$$

$$M = (E \cdot H)/3$$

$$E_1 = E \cdot \gamma_f$$

$$M_1 = M \cdot \gamma_f$$

bu yerda: ϕ – ichki ishqalanish burchagi;

μ – dinamik koeffitsient;

γ_f – yuk bo'yicha ishonchlilik koeffitsienti;

P – gruntning tirgak devorga bosimi;

E – grunt elastik moduli;

M – grunt ko'ndalang bosimidan hosil bo'lgan moment.

Doimiy yuk momenti:

$$M = G_2 \cdot x_1 - G_3 \cdot x_2$$

$$x_1 = B/2 - (a + B_2)/4 - B_1$$

$$x_2 = B/2 - (B_3 + B_2 - a + B_3)/4$$

Vaqtinchalik yuk sinfi NK100 va gruntning ko'ngdalang bosimini hisoblash:

$$A = 2 \cdot b \cdot h_0/H^2$$

$$tgv = -tg\phi + \sqrt{(1 + tg^2\phi) \cdot (1 - A/tg\phi)}$$

$$k_E = (tgv + A)/(tg \cdot (v + \phi))$$

$$\mu' = tgv/(tg \cdot (v + \phi))$$

$$E = 0.5 \cdot H^2 \cdot k_E$$

$$z = H - y_0 - x_0/tgv$$

$$P_1 = \gamma \cdot b \cdot h_0$$

$$P_2 = \gamma \cdot H/2 \cdot (a + b + c)$$

$$y_0 = (H/3) \cdot (P_2/(P_1 + P_2))$$

$$x_0 = (3P_1 \cdot (2 \cdot a + b) + 2P_2 \cdot (a + b + c))/(6 \cdot (P_1 + P_2))$$

$$E_1 = E \cdot \gamma_f$$

$$M = E \cdot z$$

$$M_1 = M \cdot \gamma_f$$

Vaqtinchalik va doimiy yuklar yig'indisini quyidagi formula bo'yicha hisoblaymiz.

$$N = G_1 + G_2 + G_3$$

$$E = E_1$$

$$M = M + M_1$$

bu yerda: N – tirgak devor va unga ta'sir etayotgan grunt massivining og'irligi;

M – grunt ko'ndalang bosimi hamda vaqtinchalik yuk ta'siridan hosil eguvchi bo'lgan moment.

Poydevor ostki sathidagi kuchlanishni aniqlash:

$$\sigma_{2max}$$

$$\sigma_{2min}$$

Poydevor ostki sathidagi kuchlanish – bu poydevor bilan zamin orasidagi aloqa yuzasiga ta'sir qiladigan kuchning taqsimlanishi bo'lib, bu kuchlanish zaminning poydevor orqali ta'sir qiladigan doimiy va vaqtinchalik yuklarni ko'tarish qobiliyatiga bog'liq.

Tirkak devor konstruksiyasini ag'darilishga qarshiligini tekshirish:

$$M_u = M_1$$

$$M_z = G_1 \cdot (B_1 + (B_2 + a)/2) + G_3(B/2 + x_2) + G_2 \cdot B \cdot 0.5$$

$$M_z x = M_z \cdot \gamma_n \cdot m$$

$$M_u \leq M_z x$$

$$89.63 kNm \leq 162.0388 kNm$$

shart bajarildi

Tirgак devor konstruksiyasini siljishga qarshiligini tekshirish:

$$\begin{aligned} Q_r &= E \\ Q_z &= N \cdot k \\ Q_z x &= Q_z \cdot m / \gamma \\ Q_r &\leq Q_z x \\ 29.286 kNm &\leq 36.21 kNm \end{aligned} \quad \text{shart bajarildi}$$

Gruntning ko'tarish qobiliyatini aniqlash:

$$\begin{aligned} R &= 1.7 \cdot (R_0 \cdot [1 + k_1 \cdot (b - 2)] + k_2 \cdot \gamma \cdot (d - 3)) \\ R &\geq \sigma_{max} \\ 567.7 kN/m^2 &\geq 275.8 kN/m^2 \end{aligned}$$

3. Xulosa

Ushbu tadqiqot ishi oldiga qo'yilgan asosiy vazifa Sirdaryo – Jizzax yo'nalishidagi M39 avtomobil yo'lining 165-km qismida joylashgan avtomobil ko'prigining yaqinlashuv ko'tarmasi tirgак devorini mustahkamlikka hisoblashdan iborat bo'lib, ushbu vazifani bajarish orqali quyidagi muhandislik hisoblarini amalga oshirildi va tegishli xulosa va tavsiyalar ishlab chiqildi. Tirgак devor konstruksiyasini ag'darilishga va siljishga qarshiligini tekshirish natijalari shuni ko'rsatdiki, ushbu inshoot yaqinlashuv ko'tarmasi tirgак devori sifatida 7x5.5 o'lchamdagi temirbeton konstruksiyalardan foydalanilganida inshootning turg'unligi va ustvorligi saqlanib qoladi hamda undan vaqtinchalik yuklar o'tishini cheklamaydi. Shuningdek, temirbeton konstruksiyaning beton va armatura sinflari va ularning sarfi miqdorini aniqlash uchun qo'shimcha muhandislik hisoblarini amalga oshirish kerak bo'ladi.

Foydalanilgan adabiyotlar / References

- [1] M.L. Gambhir (2009). Design of Reinforced Concrete Structures. Publisher McGraw-Hill Education, pp 832.
- [2] Russel Hibbeler (2017). Structural Analysis. Publisher Pearson, pp 944.
- [3] 2.John. P.B., Michael P.O. (1992). Foundation Engineering. Publisher John Wile, pp 523.
- [4] Shermuxamedov, U. Z., & Zokirov, F. Z. (2019). Application of modern, effective materials in rail road reinforced bridge elements. Journal of tashkent institute of railway engineers, 15(3), 8-13.
- [5] Основания, фундаменты и подземные сооружения: справочник проектировщика / под ред. Е.А. Сорочана, Ю.Г. Трофименко. М.: Стройиздат, 1985. 479 с.

[6] Проектирование опорных стен и стен подвалов: справочное пособие к СНиП/ Центр. н.-я. я проектирую. ин-т пром. здани и сооружеи. М.: Стройиздат, 1990. – 101 с.

[7] Руководство по проектированию подпорных стен и стен подвалов для промышленного и гражданского строительства / ЦНИИ-Промзданий Госстроя СССР. — М.: Стройиздат, 1984. – 116 с.

[8] СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07.85*. Введ. 2011-05-20.- М.: Минрегион России, 2011.

[9] СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83". Введ. 2011-05-20.- М.: Минрегион России, 2011.

[10] АБДУРАИМОВ У. К., РАХИМЖОНОВ З. К. У., УРАЗОВ Х. У. У. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ НА ПРИМЕРЕ ЧАРВАКСКОЙ ПЛОТИНЫ С УЧЕТОМ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ //МОЛОДОЙ СПЕЦИАЛИСТ Учредители: ИП" Исакова УМ". – №. 2. – С. 73-81.

Mualiflar haqida ma'lumot/ Information about the authors

Miralimov Mirzohid Xamitovich	Toshkent Davlat Transport Universiteti, kafedra «Avtomobil yo'llaridagi sun'iy inshootlar», texnika fanlari doktori, dotsent. E-mail: mirzahid_x@tstu.uz https://orcid.org/0000-0003-2530-5516 tel: +998 97 725 09 24.
O'razov Xumoyun O'tkir o'g'li	Toshkent Davlat Transport Universiteti, kafedra «Ko'priklar va tonnellar», doktorant. E-mail: humoyun.urazovv@gmail.com https://orcid.org/0000-0003-3594-5170 tel: +998 94 343 90 26.
Jo'rayev Qahramon Maxmudjon o'g'li	Toshkent Davlat Transport Universiteti, kafedra «Ko'priklar va tonnellar», doktorant. E-mail: jurayev_qm@mail.ru https://orcid.org/0000-0002-0883-7257 tel: +998 95 444 59 00

Application of modern computational methods in modeling bridge abutments: capabilities of the Lira-SAPR software tool

F.E. Abdukodirov¹, T.M. Khasanov¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This article considers the application of the finite element method in modeling bridge supports, taking into account various types of loads - static, dynamic and temperature effects. To achieve this goal, the Lira-CAD software package was selected, which allows analyzing structures with a full reflection of their geometry, along with their physical and mechanical properties. This system provides extensive opportunities for accurately determining load parameters, taking into account seismic and other external influences. The finite element approach simplifies the calculation process by dividing structures with complex geometry into simpler elements, which increases the accuracy of engineering analysis and plays an important role in ensuring the reliability and service life of structures.

Keywords: foundation structure, mathematical modeling, Lira-CAD, finite element method, spatial models, structural optimization, strength, stability, static analysis, dynamic analysis

Ko'priklar tayanchlarini modellashtirishda zamonaviy hisoblash usullarining qo'llanilishi: Lira-SAPR dasturiy vositasining imkoniyatlari

Abdukodirov F.E.¹, Khasanov T.M.¹

¹Toshkent davlat transport universiteti, Tashkent, O'zbekiston

Аннотация: Ushbu maqolada turli xil yuk turlari – statik, dinamik va harorat ta'sirlarini inobatga olgan holda ko'priklar tayanchlarini modellashtirishda chekli elementlar usulining qo'llanilishi ko'rib chiqiladi. Bu maqsadga erishish uchun Lira-SAPR dasturiy majmuasi tanlangan bo'lib, u konstruksiyalarni fizikaviy-mexanik xususiyatlari bilan birga geometriyasini ham to'liq aks ettirgan holda tahlil qilish imkonini beradi. Ushbu tizim yuk parametrlarini aniq belgilash, seysmik va boshqa tashqi ta'sirlarni hisobga olishda keng imkoniyatlar taqdim etadi. Chekli elementlar yondashuvi murakkab geometriyalarni tuzilmalarni oddiyrroq elementlarga ajratish orqali hisoblash jarayonini soddalashtiradi, bu esa muhandislik tahlilining aniqligini oshiradi hamda konstruksiyalarning ishonchiligi va xizmat muddatini ta'minlashda muhim rol o'ynaydi.

Ключевые слова: tayanch konstruksiyasi, matematik modellashtirish, Lira-SAPR, chekli elementlar usuli, fazoviy modellar, strukturaviy optimallashtirish, mustahkamlik, barqarorlik, statik tahlil, dinamik tahlil

1. Kirish

Transport infratuzilmasi elementlari, xususan, ko'priklar tayanchlarini hisoblashda zamonaviy muhandislik yondashuvlaridan foydalanish zarur. Harakatlanuvchi transport vositalari, iqlimiy o'zgarishlar va tashqi ta'sirlar bilan bog'liq yuklamalar konstruksiyaning ish faoliyatiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Shu sababli, geometriyasi va fizik-mexanik xususiyatlari aniq modellashtirilgan tizimlar zarur bo'ladi [2]. Matematik modellashtirish asosidagi chekli elementlar usuli bu ehtiyojlarga javob bera oladi [3].

2. Tadqiqot metodikasi

Lira-SAPR dasturiy kompleksi bino va inshootlar hisobini amalga oshirishga mo'ljallangan parametrik 3D modellashtirish tizimi bo'lib, ayniqsa temirbeton konstruksiyalarni baholashda samaralidir. Bu tizim yordamida fazoviy-strejen va fazoviy-blok elementlarga asoslangan modellar yaratish orqali ko'priklar tayanchlarining kuchlanish, deformatsiya, barqarorlik va mustahkamlik holatlari aniq baholanadi [2].

LIRA-SAPR chiziqli bo'lmagan yechimlar asosida ishlaydi va u ko'priklar, transport inshootlari va binolarni konstruktiv loyihalash uchun maxsus moslashtirilgan hisoblash modullariga ega. Tizimda temirbeton materiallardan tayyorlangan qurilmalarning, shu jumladan oraliq qismlar va tayanch elementlarning holatini baholash imkonini beruvchi mexanizmlar mavjud. Hisoblash jarayoni chekli elementlar usuli (FEM – Finite Element Method) asosida qurilgan bo'lib, aniqlik darajasi yuqori.

Ushbu dasturiy kompleks, ayniqsa, murakkab geometriyaga ega konstruksiyalar, turli turdagi tayanch tugunlari, oldindan zo'riqtirilgan armatura tizimlari kabilarda yuzaga keladigan kuchlanish va deformatsiyalarni aniqlashda samarali yechim taklif etadi [4].

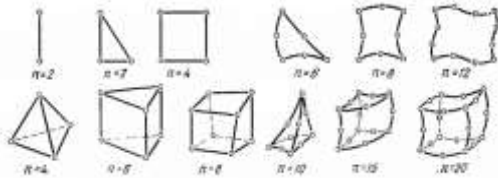
LIRA-SAPR quyidagi muhim muammolarni hal qilishga imkon beradi:

- har qanday konstruksiyaning statik va dinamik tahlili;
- nolinchi chiziqlilikni hisobga olgan holda aniqlik bilan hisob-kitoblarni olib borish;
- beton va armatura o'rtasidagi o'zaro ta'sir tahlili;
- temirbetonning har xil holatdagi fazoviy (3D) mexanik tahlili;

uzoq muddatli yuklamalar (masalan, betonning siqilishi yoki qotish jarayoni) sharoitida strukturaviy javobni baholash;

yoriqlar paydo bo'lishi, ularning rivojlanishi va ularning konstruksiyaga ta'sirini hisobga olish.

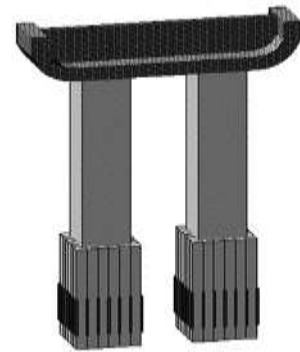
Shuningdek, dasturda chekli elementlarning turli modifikatsiyalari, jumladan, tekis va fazoviy elementlar, izoparametrik tugunli elementlar, egri yuzali va turli shakldagi geometriyalarga ega strukturaviy elementlar (1-rasm) ishlatiladi [7].



1-rasm. Amaldagi chekli elementlarning turlari

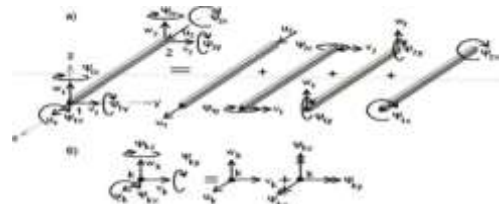
Ko'prik konstruksiyalarining murakkab tayanchlarini hisoblash muammosi — muhandislik hisoblarida eng dolzarb masalalardan biridir. Ayniqsa, yuqori aniqlikdagi natijalarni olish katta murakkablik tug'diradi, va ayrim holatlarda bu umuman aniq yechimga olib kelmasligi mumkin. Murakkab konfiguratsiyaga ega tayanch qismlarini modellashtirishda elementlar turini to'g'ri tanlash muhim ahamiyatga ega bo'lib, bu esa, ko'pincha, nazariy tahlil va eksperimental tadqiqotlarning birgalikdagi olib borilishini talab qiladi. LIRA-SAPR dasturiy kompleksi ushbu murakkabliklarni hisobga olgan holda modellashtirish imkoniyatlarini kengaytiradi. Dasturda ikkita asosiy turdagi elementlardan foydalaniladi: fazoviy sterjenli elementlar (3D stregensimon modellar) va fazoviy blokli elementlar (3D hajmli elementlar). Ularning har biri konstruktiv tizimga turlicha ta'sir etadi va bu moslashuvchan model yaratish imkonini beradi. O'zbekiston standartlariga muvofiq ravishda, LIRA-SAPR orqali temirbeton tayanchlarda plastiklik va noelastik deformatsiyalarni hisobga olish mumkin. Bu esa, real ekspluatatsion holatlarga yaqinroq natijalarni olishga xizmat qiladi [2,8]. Agar modelga fazoviy sterjenlar kiritilsa, dastur foydalanuvchiga tugun nuqtalardagi siljish, burilish va kuchlanishlarni tahlil qilish imkonini beradi. Bu elementlar yuklamalarning taqsimlanishini aniqlik bilan aks ettiradi. Shu bilan birga, fazoviy blokli elementlar yordamida konstruksiyaning ichki kuchlari, deformatsiyalar va kuchlanish markazlari aniq ko'rsatiladi. Bu usul konstruksiya ishlashining tahlilini soddalashtiradi va modeldagi sezgir zonalarini aniqlashga yordam beradi.

Biroq, modellashtirishda quyidagi geometrik va fizik shartlar ham hisobga olinishi kerak [6]. Konstruksiyaning barcha tugunlari o'zaro to'g'ri chiziqli elementlar orqali bog'langan bo'lishi shart. Harakat uzatmaydigan elementlarning tutashishlari, shuningdek, tayanch bog'lamlari soddalashtirilgan tarzda sharnirli-ildam ulanishlar orqali ifodalanadi. Bunda sharnir elementlarni mustahkamlovchi nuqtalarda ularning o'zaro ta'sirini cheklaydi. Tugun nuqtalarida birlashgan barcha sterjenlar qattiq bog'langan hisoblanadi va bu elementlar orqali barcha turdagi kuchlar uzatiladi (1.1-rasmga qarang)



1.1-rasm. Tayanchning fazoviy-sterjen elementlari yordamida chekli elementlar ko'rinishida ifodalanishi

Fazoviy masalalarni yanada aniq va ishonchli hisoblash uchun, fazoviy sterjenli elementlarga asoslangan qattqlik (turg'unlik) matritsasini tuzish zarur bo'ladi. Ushbu matritsa konstruksiyaning geometrik shakli va fizik-mexanik xususiyatlarini hisobga olib, uch o'lchovli deformatsion holatni modellashtirish imkonini beradi [2-8].



1.2-rasm. Fazoviy-sterjenning chekli elementi:

a) tugun nuqtalarida ko'chish;

b) tugun nuqtalarida siljish vektorlarining ko'chishi

Uch o'lchovli fazoda joylashgan egiluvchan sterjenning har bir i -elementi uchun neytral o'q x yo'nalishda qaraladi. Shu bilan birga, kesimning asosiy koordinatalari y va z o'qlari bo'ylab orientatsiyalangan. Tugunlardagi siljish vektorlari ikki asosiy tarkibiy qismga ajratilishi mumkin: birinchisi — chiziqli harakatlarga mos bo'lsa, ikkinchisi — aylanish burchaklari bilan bog'liq bo'ladi. Ushbu tarkiblar o'zaro birgalikda elementning deformatsion holatini tavsiflaydi va ularning grafik ifodasi 1.2-rasm (b) da berilgan. Umumiy holda, sterjenning tugun nuqtalaridagi o'zgarishlarni matematik ifodalash uchun kvazidiagonal tuzilishga ega matritsadan foydalaniladi. Bu matritsa siljish va burilish parametrlarining fazoviy koordinatalar bo'yicha o'zgarishini birlashtiradi hamda elementar transformatsiyalarni aniq hisoblash imkonini beradi.

$$[M] = \begin{bmatrix} m & 0 \\ 0 & m \end{bmatrix} \quad (1.1)$$

$[m]$ -yo'naltiruvchi kosinus matritsasi.

$$[K]_{ij}^{(k)} = [M]^T [H]^T [K]_{ij}^{(k)} [H] [M] \quad (1.2)$$

Fazoviy blokli elementlar asosida modellashtirish — geometrik jihatdan to'g'ri chiziqli inshootlar uchun sterjen modellariga tayangan holda aniq va ishonchli natijalarni ta'minlaydi. Shunga qaramasdan, ekvivalent sterjenlarning statik va geometrik xususiyatlarini aniqlash murakkab muammolardan biri bo'lib qolmoqda. Bu jarayon odatda yuqori darajadagi nazariy tahlil va hisoblash yondashuvlarini talab etadi [4–10].

Mazkur tadqiqot doirasida ko'prik konstruksiyasining tayanch qismlarini baholashda, avvalo, fazoviy blok elementlari asosida qurilgan hisoblash modeli orqali oraliq qismlardan tayanchlar orqali uzatiladigan reaksiya kuchlarini aniqlashga qaratilgan yondashuv qo'llanilgan. Keyingi bosqichlarda esa ana shu blokli elementlar tizimi asosida tayanchlarning umumiy tahlili amalga oshiriladi.

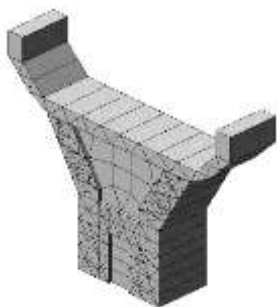
Tayanch elementlarini hisoblash algoritmi odatda quyidagi uchta asosiy bosqichda bajariladi:

[1] Konstruksiyaning hisoblash sxemasini tuzish: tayanchning elementar qismlarga bo'linishi, tugun nuqtalarning raqamlanishi, hamda umumiy koordinatalar tizimini tanlash;

[2] Blok elementlarining siljishlarini ifodalovchi tenglamalar tuzish, bu orqali lokal va global koordinata tizimlari o'rtasidagi bog'liqlik belgilanadi;

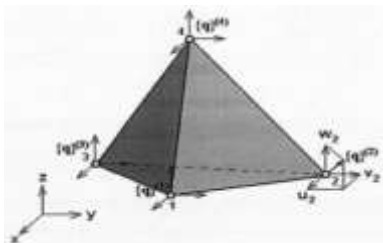
[3] Har bir blok uchun kuchlanish va siljish parametrlarini aniqlovchi tenglamalar tuzish, bu orqali strukturaviy javob aniqlanadi.

Ushbu yondashuv tayanch konstruksiyalarining har tomonlama tahlilini amalga oshirish imkonini beradi, shu jumladan deformatsion, kuchlanish holatlari va ularning fazodagi taqsimoti bo'yicha chuqur baholashga xizmat qiladi.



1.3-rasm. Fazoviy-blok elementlaridan yasalgan tayanch modeli

Uch o'lchamli konstruksiyalarni modellashtirishda fazoviy chekli elementlar tanlovi muhim metodik bosqich hisoblanadi. Ushbu tadqiqotda asosiy element shakli sifatida tetraedral (to'rtburchak) element qabul qilingan (qarang: 1.3-rasm). Hajmiy chekli elementlar deformatsiya va kuchlanish holatlarini olti asosiy komponent orqali batafsil tavsiflash imkonini beradi. Har bir nuqtaning holati esa koordinata o'qlari bo'yicha aniqlanadigan uchta mustaqil siljish komponenti orqali ifodalanadi. Shu tufayli, bu elementlar murakkab geometriyaga ega jismlarni uch o'lchamli muhitda yaqinlashtirish va tahlil qilish uchun juda qulaydir [2].



1.4-rasm. Tetraedr shaklidagi chekli element

$$\{q\}_i = \{\{q\}_i^{(1)} \{q\}_i^{(2)} \{q\}_i^{(3)} \{q\}_i^{(4)}\} \quad (1.3)$$

Ulardan eng oddiyi tetraedr bo'lib, uning tepalarida to'rtta tugun joylashgan.

i -elementning tugun siljishlarining ustun vektori quyidagi shaklda ifodalanadi.

bunda vektorlarning har biri proyeksiyalarning uchta komponenti orqali ifodalanadi.

$$\{q\}_i^k = \{\{q\}_i^{(k)} \{q\}_i^{(k)} \{q\}_i^{(k)}\} = \{u_k v_k w_k\} \quad (1.4)$$

Tugunli kuchlar vektori xuddi shunday tuzilishga ega.

$$\{R\}_i = \{\{R\}_i^{(1)} \{R\}_i^{(2)} \{R\}_i^{(3)} \{R\}_i^{(4)}\} \quad (1.5)$$

$$\{R\}_i^k = \{\{R\}_i^{(k)} \{R\}_i^{(k)} \{R\}_i^{(k)} \{R\}_i^{(k)}\};$$

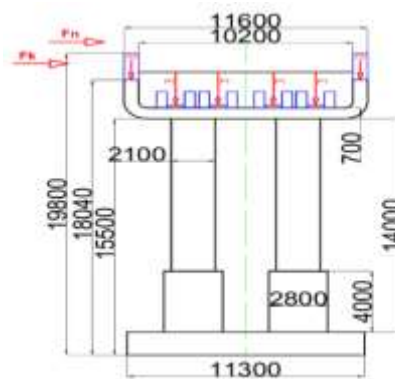
$$\{R\}_i = [R]_i \{q\}_i$$

(1.4) va (1.5) vektorlar orasidagi bog'lanish blokli tuzilishga ega bo'lgan qattqlik matritsasi yordamida amalga oshiriladi $[K]_i$

$$[K]_i = \begin{bmatrix} [K]_{i1}^{(1)} & [K]_{i1}^{(2)} & [K]_{i1}^{(3)} & [K]_{i1}^{(4)} \\ [K]_{i2}^{(1)} & [K]_{i2}^{(2)} & [K]_{i2}^{(3)} & [K]_{i2}^{(4)} \\ [K]_{i3}^{(1)} & [K]_{i3}^{(2)} & [K]_{i3}^{(3)} & [K]_{i3}^{(4)} \\ [K]_{i4}^{(1)} & [K]_{i4}^{(2)} & [K]_{i4}^{(3)} & [K]_{i4}^{(4)} \end{bmatrix} \quad (1.6)$$

Oddiy blok quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$[K]_{ij}^{(k)} = \iiint_{V_i} ([B]^{(j)})^T [D] [B]^{(k)} dV \quad (1.7)$$



1.5-rasm. Tayanchga ta'sir qiluvchi kuchlar

Ushbu ilmiy ishda 14 metr balandlikdagi oraliq tayanch konstruksiyasi hisoblash modeli sifatida tanlab olindi va u LIRA-SAPR muhandislik kompleksida uch o'lchamli tarzda modellashtirildi. Modellashtirishda yuqori mustahkamlikka ega B30 sinfli beton, A400 klassidagi po'lat armatura hamda AVK800 bazalt-kompozit armaturasi qo'llanildi. Tahlil davomida tayanchning yuqori va pastki qismlaridagi kesimlar, kuchlanish taqsimoti zonalari, hamda seysmik ta'sir ostidagi ishlash xususiyatlari chuqur o'rganildi. Hisoblashda 9 ballli seysmik sharoitdagi qurilish maydonchasi shartlari asos qilib olindi [1,9].

Modellashtirishda tayanchga ta'sir etuvchi asosiy yuklamalar quyidagilardan iborat:

F_n – markazdan qochirma kuch (eksentrik yuk);

F_k – harakatlanuvchi tarkibning tayanchga ko'ndalang yo'nalishda vaqtinchalik ta'siri;

P_1 – konstruksiyaning o'z og'irligi;

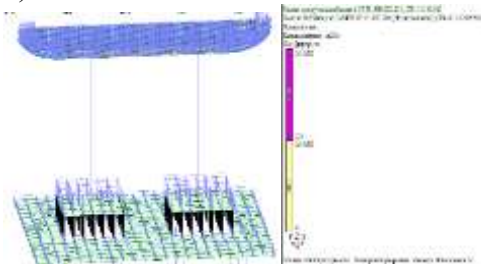
P₂ – ustki chegaralovchi balkaning statsionar og'irligi.

Shuningdek, tayanchning yuqori qismida yuzaga keluvchi kuchlanish zonalari va oldindan zo'riqtirilgan armatura bilan mustahkamlangan segmentlar 1.5-rasmda aks ettirilgan.

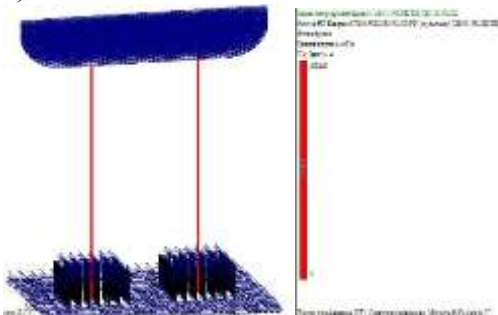
a)



b)



c)



1.6-rasm. Tayanch konstruksiyasining kuchlanishga sezgir zonalari va armaturalash sxemasi: a) Uch o'lchamli chekli elementlar asosida qurilgan hisoblash modeli; b) Kuchlanish darajasi eng yuqori bo'lgan konstruksiya zonalari (asosiy stress konturlari); c) Ko'ndalang gorizontalar armatura qatlamlarining joylashuvi va ishlash yo'nalishi; d) Tayanch kesimining vertikal yo'nalishdagi ko'ndalang armaturalari va ularning deformatsiyaga qarshi tutumi

3. Xulosa

Zamonaviy hisoblash usullaridan biri bo'lgan chekli elementlar yondashuvi, Lira-SAPR dasturiy majmuasi yordamida qo'llanilganda, ko'priklar tayanchlarining barcha asosiy mexanik holatlarini batafsil tahlil qilish imkonini beradi. Bu esa nafaqat hisoblash aniqligini oshiradi, balki loyiha xavfsizligini ta'minlaydi. Loyihalashtirishda yuqori ishonchlilikka erishish uchun mazkur tizimlar muhim ahamiyat kasb etadi.

Foydalanilgan adabiyotlar / References

- [1] ШНҚ 2.05.03-12 «Кўприklar ва кувурлар» Ўзбекистон Республикаси «Давархитекткуруилиш», Тошкент ш., 2012 й., 418 бет.
- [2] Клованич С.Ф. Метод конечных элементов в нелинейных задачах инженерной механики/ Клованич С.Ф.- Запорожье: Издательство журнала «Світ геотехніки», 2009.-400с.
- [3] Мадатян С.А. Арматура железобетонных конструкций.- Москва.: Воентехлит, 2000. 256 с.
- [4] Карпов В. И., Коробейников А. В. Математические модели задач строительного профиля и численные методы их исследования.- М.: СПб., 1999.
- [5] Пунин АЛ. Эстетические проблемы мостостроения: история и современность // Вестник мостостроения № 3, 1998, с.5-12.
- [6] David V. Hutton, Pullman W. A. Fundamentals of finite element analysis. New York: The McGraw-Hill companies, 2004.
- [7] Synge J. L. The hypercircle in mathematical physics. London: Cambridge University Press, 1957.
- [8] Topkaya C, E. B. Williamson. Development of computational software for analysis of curved girders under construction load // Computer & Structure 81, 2003.
- [9] Абдукадиров Ф.Э. Компьютерная реализация расчета эстакада-ригеля на стойки с применением ANSYS // "Experimental and theoretical research in modern science" К
- [10] Шермухамедов У.З. Гашение продольных сейсмических колебаний опор балочных мостов с сейсмоизолирующими опорными частями / Ташкент: Издательство «Complex Print», 2020. – 260 стр.

Mualliflar to'g'risida ma'lumot/ Information about the authors

Abduqadirov Farxod / Farkhod Abdugadirov Tashkent Davlat Transport Universiteti
<https://orcid.org/0000-0003-2271-3768>

Xasanov Temurbek / Temurbek Khasanov Tashkent Davlat Transport Universiteti
<https://orcid.org/0009-0007-8137-853x>

Technology of underwater laying of concrete mortar in the construction of bridge structure foundations

D.Z. Zokirov¹

¹Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: The article discusses bridges, which are engineering structures designed to lay transport highways over natural and artificial water obstacles, and the technologies for their underwater construction. In particular, the technology of laying concrete mix using the VPT (vertical movable pipe) method, which is one of the important stages in the underwater construction of bridge foundations, is analyzed. The VPT method allows maintaining the quality of concrete in an underwater environment, ensuring its hydraulic properties and strength. This method is widely used in areas where groundwater flows under high pressure, drilled wells, pile foundations, and other structures. To prevent the separation and washing away of the concrete mixture, the stability of the water retention systems and the concrete at the end of the pipe is strictly controlled. The article also extensively covers the complexity of underwater and surface works, their technological and engineering features

Keywords: Bridge structures, underwater construction, VPT method, concrete mix, foundation construction, cement layer, hydrostatic pressure, geotechnical reinforcement, segregation, construction technology

1. Introduction

Bridges are engineering structures designed to lay transport highways on water obstacles, including natural or artificial obstacles, such as rivers or canals. Bridges play an important role in ensuring the continuity of traffic, safe and efficient transportation of goods and passengers, and interconnection of transport networks. Bridges can be built not only over water obstacles, but also over gorges, highways, railways, valleys, and other obstacles. Bridge construction is a complex and multi-stage engineering process, in which underwater and surface work is carried out, and it is one of the most complex and important components in the process of installing building structures. This stage consists of such works as underwater construction of foundations, installation of hydraulic structures, soil compaction and geotechnical strengthening works in the underwater part, selection of materials resistant to prolonged exposure to water, and the technology of their installation. The complexity of underwater work is mainly determined by such factors as limited visibility and freedom of movement, the influence of hydrostatic pressure and flow velocity on the structure, and the need to equip construction machines and mechanisms with special devices. Construction and installation works carried out on water include the assembly of intermediate support bodies. The above-mentioned processes are carried out with a deep analysis of engineering and geological conditions, hydrological characteristics of the construction site, and modern capabilities of construction technology.

2. Methods

The main technological methods used in underwater concrete works are:

The method of pouring concrete through vertical metal pipes is the most effective and widespread form of placing concrete mixture underwater, in which concrete is poured through a special vertically placed pipe. The lower end of the pipe is constantly kept in a layer of poured concrete, which reduces hydrodynamic impacts and prevents the mixture from washing away. Pump transfer technology in which the concrete mixture with high mobility is transferred directly underwater using special hydraulic concrete pumps. The

outlet of the pump pipes is also located inside the concrete, which ensures high speed and continuous concrete pouring. The method of submerging concrete bags - concrete mix prepared by this method, used for local reinforcement work, is placed in special waterproof bags made of dense textile material and placed on the underwater base. Concreting with the construction of a dry working chamber (coffer dam) with complete water separation in this method, the underwater working area is completely isolated using metal or reinforced concrete barriers, then the internal water is completely pumped out using pumps, and traditional concreting is carried out. The method of submerging prefabricated reinforced concrete blocks - in this method, monolithic blocks manufactured in factory conditions are submerged using special lifting devices and installed as a structural element of the foundation structure. High installation speed and a high level of quality control characterize this method.

3. Results and Discussion

When constructing underwater foundation parts of bridge structures, underwater laying of concrete mix is an important technological stage. This process is usually carried out using the vertical moving pipe (VPT) method, which is widely used as one of the main methods of underwater concreting technology.

The VPT method is effectively used in the following cases:

- during the laying of reinforced concrete sealing layers, especially in underwater foundation pits;
- during the installation of drill piles, when pouring concrete mix into the cavities of drilled wells;
- when filling the internal cavities of pile-shell foundation elements with concrete.

Laying the tamping layer When constructing a shallow foundation, if a large flow of groundwater is poured into the pit, it is necessary to lay a tamping layer under this foundation (Fig. 1). In this technology, the concrete mixture is discharged from the pipe through the VPT from bottom to top, i.e., with the help of a pump or gravity. Thus, mixing with water is minimized, and the structural integrity, strength, and hydraulic properties of the concrete are

preserved. The concrete mix used in this case is specially modified for underwater laying, i.e., it has low salinity rates, high plasticity, sulfate resistance, and viscosity properties. In order to prevent the separation and washing away of concrete during the concrete pouring process, it is strictly controlled that the water-retaining systems and the end of the pipe are constantly filled with concrete. The VPT method is one of the most reliable and technologically efficient solutions for concreting works in deeply grounded environments with high hydrostatic pressure.

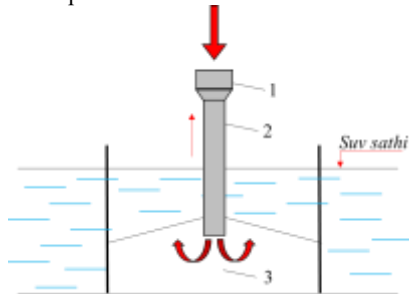


Fig. 1. Underwater concreting by the VPT method:

1 - funnel; 2 - concrete pouring pipe; 3 - underwater concrete

The technology of laying the cementing layer by the VPT method can be as follows:

1. Concrete pouring pipes, consisting of links 3-4 meters long, connected to each other by flanged connections, are installed on substrates (for example, installed on barriers); these pipes have funnels at the top, each with a volume of 1.2-1.5 cubic meters.

2. At the mouth of the funnel, a stopper is placed, connected to the upper part of the funnel with wire (for example, made of a sack-bag filled with loess).

3. The lower end of the concrete pouring pipe is lowered into the water at the bottom of the pit.

4. Poured concrete mixture with cone settlement of 16-18 cm is placed in the receiving hopper of the concrete pouring pipe until the hopper is completely filled.

5. The wire connecting the placed cork to the upper part of the funnel is cut off, and the mass of the concrete mixture, displacing water, is directed down the pipe. If the length of the concrete pouring pipe is large, simultaneously with opening the cork at the hopper opening, the damper of the hopper filled with concrete mixture above the funnel is also opened. Otherwise, the mass of the concrete mixture filled into the receiving hopper of the concrete pouring pipe may not be sufficient to displace water from the pipe.

6. If the concrete mixture has not reached the required level, the pipe is lifted slightly with a crane and immediately placed at the bottom of the pit.

7. A new portion of the concrete mixture is placed in the receiving hopper of the concrete pouring pipe.

8. When laying the cementing layer under the foundation pit, the concreting intensity should be at least 0.3-0.4 m³/(m²hour) per hour.

As the concreting work continues, the poured concrete mixture gradually spreads across the surface of the pit. Since the concrete mixture is fed into the previously laid concrete layer, it only contacts the upper layer of concrete with water, and as a result, this layer weakens. After draining the water from the pit, this weak upper layer of concrete must be removed. In the process of laying underwater concrete using the VPT method, after loading a portion of concrete into the concrete pouring pipe, this pipe is slightly stretched and quickly returned to its place. Such a movement is carried out

in any case to ensure that the concrete pouring pipe is buried in the concrete mixture no less than 0.8 meters and no more than 2 meters. The construction foreman (master) must constantly measure the concrete level and monitor that the concrete pouring pipe is sufficiently lowered into the concrete layer.

Several concrete pouring pipes are used for concreting the waterproofing bed in the pit. They are located so that the areas of the sections served by them overlap each other, completely covering the concreting area.

The radius of movement of the concrete pouring pipe can be determined from the following expression:

$$R = 6 \cdot K \cdot I \quad (1)$$

here: K – the indicator of maintaining the workability of the concrete mix, i.e., the time required to reduce the cone settlement to 0.15 m ($K = 0.65$ hours);

I – concreting intensity, in m³, this intensity should be at least 0.3 m³/(m²hour) for pits (it is advisable to have this value of 1-1.2 0.3 m³/(m²hour), so the pipe's radius of movement is 3-4.5 meters).

Concrete work begins using one of the pipes located at the edge of the pit. The next pipe is started when the concrete mixture is spread across the pit area and covers the lower end of the pipe to a depth of 30-40 cm. When using several pipes, the laying of the concrete mix is carried out sequentially. During concreting, the distance between adjacent pipes should not exceed 0.7 of the pipe's radius of movement.

When carrying out underwater concreting, water penetration into the concrete pouring pipe is unacceptable. If such a situation is observed, concreting must be stopped. If the interval for concreting does not exceed the time required to maintain the workability of the concrete mix (i.e., 0.65 hours), the concreting work can be continued. If this period is exceeded, reinforcement work is permitted only after the strength of the underwater concrete reaches 2-2.5 MPa.

When pouring concrete mix, low-strength underwater concrete is formed. Even when 400 kg of cement is used per cubic meter of underwater concrete, the strength of such concrete is only around 10-15 MPa.

When it is necessary to obtain high-strength underwater concrete, the density of the concrete mix must be increased, and the amount of cement added per cubic meter of concrete should be significantly increased (up to 600 kg/m³). However, a dense concrete mix does not spread well in the cofferdam, so vibrators must be used during placement. To place a dense concrete mix with a slump of 6-10 cm into a cofferdam up to 20 meters deep, one vibrator is attached to the lower end of the concrete pouring pipe. If the cofferdam is deeper than 20 meters, two vibrators are firmly secured. Vibration facilitates the movement of the concrete mix through the pipe and its spreading over the cofferdam area. During underwater concreting with vibration, the maximum spreading radius of the dense concrete mix is 3 meters. The duration of mandatory pauses during concreting should not exceed 1.5 hours.

The minimum thickness of the tamping concrete layer laid on the soil bottom of the cofferdam is determined based on the balance between the weight of the layer and the hydrostatic uplift force of water (with a safety factor of 1.1), but in all cases, this layer must not be less than 1.5 meters thick. Water may be pumped out of the cofferdam only after the underwater concrete reaches a strength of at least 5 MPa. The top surface of the underwater concrete mass constructed using the VPT method must be concreted 10 cm higher than

the design level, which allows the weak upper layer of the concrete to be removed after the cofferdam is dewatered.

Pile caps are also often constructed with a waterproof bedding layer (tamping layer) laid using the tremie pipe method (VPT). After dewatering the cofferdam and removing the weak upper layer, the top of the tamping layer must not rise above the bottom level of the pile cap. The thickness of this protective layer (when the concrete mix is laid on an artificial bed) must not be less than 1 meter. The tamping layer is not considered a part of the pile cap structure and is not included in structural calculations.

For low-level pile caps, the tamping layer is placed directly on the bottom of the sealed cofferdam. For high-level pile caps, it is laid over a sand bedding layer poured inside the enclosure. When the water depth in the river is significant, the underwater concrete is placed at the specified level on the bottom of a securely fixed box-frame (as shown in Figure 1). Gaps between the pile walls and the bottom of the box-frame are thoroughly filled in advance by divers.

The technology for underwater concreting of pile caps is similar to that used in the construction of foundations located on natural ground.

Under certain conditions, the tamping layer can also be placed using the upward-flowing grout method. For this, a coarse fill layer is laid inside the cofferdam bounded by barriers, after which grout is pressure-pumped through pre-installed vertical pipes positioned across the cofferdam area.

4. Conclusion

Underwater foundation concreting is a critical process carried out under complex geotechnical and hydraulic conditions. To achieve high-strength concrete, a dense mix containing up to 600 kg/m³ of cement is used, along with mandatory vibration tools. For concrete with a slump of 6–10 cm, one vibrator is used for depths up to 20 meters, and two vibrators are required for deeper placements. Vibration ensures smooth flow through the tremie pipe and allows the mix to spread up to 3 meters. The thickness of the bedding (tamponage) layer must be at least 1.5 meters and calculated to resist hydrostatic uplift (with a safety factor of 1.1). Water can be pumped out of the cofferdam only after the concrete reaches a strength of at least 5 MPa. Using the tremie method (VPT), concrete is poured 10 cm above the design level to allow for later removal of the weak surface layer.

Tamponage layers are also used under pile caps but are not part of the load-bearing structure and are not considered in strength calculations. In deep riverbeds, concrete is placed inside predefined box-frames, and gaps between piles and the frame bottom are pre-filled by divers. In special cases, the rising mix (VR) method can be applied, where concrete is pumped through vertical pipes under pressure to fill voids evenly within the confined area. These technologies ensure the construction of high-quality and durable underwater concrete foundations.

References

- [1] S.S. Salixanov. Transport ishootlarini loyihalash va qurish. Darslik, 1-tom. Toshkent, 2018. – 405 bet.
- [2] S.S. Salixanov. Transport ishootlarini loyihalash va qurish. Darslik, 2-tom. Toshkent, 2018. – 380 bet.
- [3] S.S. Salixanov. Ko'priklar va tonnellar qurilishini tashkil etish, rejalashtirish va boshqarish". I va II tom. Qo'lyozma. 2020, 600 bet.
- [4] Bridge Engineering Handbook, Second Edition: Construction and Maintenance. Edited by Wai-Fah Chen and Lian Duan. © 2014 by Taylor & Francis Group, LLC CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, an Inform business. International Standard Book Number-13: 978-1-4398-5233-0 (eBook - PDF). – 646 pp.
- [5] Смирнов В.Н. Строительство городских мостовых сооружений. Изд-во ДНХ, 2010, 432 стр.
- [6] Богданов Г.И., Владимирский СР., Козьмин Ю.Г., Кондратов В.В. Проектирование мостов и труб. Металлические мосты: Учебник для вузов ж.-д. транспорта / Под редакцией Ю.Г. Козьмина. - М.: Маршрут, 2005. - 460 с.

Information about authors

**Zokirov
Dostonbek
Zohidjon o'g'li**

Doctoral Student of Tashkent State
Transport University
E-mail: 0202031@inbox.ru
Tel.: +998889996360



Effectiveness assessment of monofunctional hardening accelerators in low-temperature curing concrete

A.I. Adylkhodjaev¹, A.F. Babajanov¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: The article presents an analysis of hardening accelerators for cement concretes, reviewing their types, mechanisms, and effects, and identifying significant limitations and negative side effects. It is shown that monofunctional accelerators are insufficient for comprehensive improvement of concrete properties and durability, which justifies the need for alternative solutions.

Keywords: hardening accelerators, cement concrete, chemical additives, limitations

Оценка эффективности монофункциональных ускорителей твердения для малопрогревного бетона

Адилходжаев А.И.¹, Бабажанов А.Ф.¹

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация: В статье приведен анализ ускорителей твердения цементных бетонов, рассмотрены их типы, механизмы и эффекты, а также выявлены существенные ограничения и негативные побочные явления. Показано, что монофункциональные ускорители недостаточны для комплексного улучшения свойств и долговечности бетона, что обосновывает необходимость иных решений.

Ключевые слова: ускорители твердения, цементный бетон, химические добавки, ограничения.

1. Введение

В современном строительстве, одним из перспективных направлений модернизации технологий производства бетонов без или с минимальным тепловым воздействием является использование разнообразных неорганических и органических катализаторов твердения. При введении в небольших дозировках, как правило, составляющих 1-2% от общей массы цемента, данные вещества оказывают существенное воздействие на кинетику твердения цементного камня и его эксплуатационные характеристики.

В технической литературе [1-4] химические модификаторы подразделяются в зависимости от своего основного функционала. Среди них выделяют регуляторы динамики схватывания растворной смеси и скорости упрочнения материалов. Эта категория включает компоненты, форсирующие схватывание, компоненты, активизирующие упрочнение, а также присадки, обеспечивающие набор прочности в условиях отрицательных температур (так называемые противоморозные добавки), и другие. В соответствии с ГОСТ 24211-2008, добавки, классифицируемые как ускорители твердения, относятся ко второй группе модификаторов, предназначенных для регулирования свойств бетонов и растворов. Их применение нацелено на достижение определенного основного эффекта, а именно, увеличение прочности на сжатие за первые сутки на 30% и больше.

2. Методы

Ранее выполненными исследованиями с использованием ускорителей интенсификации процесса твердения бетона показано, что несмотря на то, что они способствуют ускорению схватывания и набора прочности бетона на начальном этапе, их влияние на водоцементное соотношение (В/Ц) практически отсутствует, и в ряде случаев они могут приводить к снижению относительной прочности на более поздних стадиях твердения. Как правило, ускорители твердения представляют собой водные растворы электролитов. Эффективность их действия определяется не только катионным или анионным составом, но и минералогическим и вещественными особенностями портландцемента [5].

Важно отметить, что применяемые модификаторы, относящиеся к добавкам первого класса, при дозировке от 2,5 до 3% применяются как ускорители твердения, а в количестве до 10% и выше – как противоморозные добавки [6]. Хлорид кальция является чрезвычайно эффективным интенсификатором процессов твердения цемента. Это соединение широко используется в составах бетонов, преимущественно, благодаря своей доступности и относительно невысокой стоимости [7]. Однако, с внедрением новых европейских стандартов на изготовление железобетонных элементов и конструкций, во многих странах применение хлорида кальция в армированных структурах было существенно ограничено, а в некоторых – полностью запрещено. Причиной тому является негативное влияние ионов хлора на стальную арматуру, вызывающие ее интенсивную коррозию [8, 9].

Нитрит кальция способствует ускорению схватывания цемента и нарастанию прочности бетона, особенно заметному в раннем возрасте. Нитрат кальция, в свою очередь, способен вызывать коррозионное растрескивание термически упрочненных арматурных сталей, в особенности при повышенных температурах. Нитрит натрия, напротив, существенно увеличивает гигроскопичность и электропроводность бетона, что, как следствие, ускоряет процесс коррозии арматуры [10]. К числу наиболее эффективных ускорителей твердения также относятся сульфаты натрия и калия. Механизмы воздействия сульфатов на процессы схватывания и твердения цементов были рассмотрены Буттом и Рояком [11]. Согласно их исследованиям, сульфат натрия (или калия) вступает в реакцию с гидроксидом кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$, образующимся в процессе гидролиза трехкальцевого силиката (C_3S). Выделяющийся в результате этой реакции высокодисперсный гипс реагирует с трехкальцевым алюминатом (C_3A) быстрее, чем гипс, вводимый в цемент при помоле.

Обобщенный анализ данных о влиянии расхода добавок-ускорителей твердения на прочностные характеристики бетонов представлен в табл. 1.

Таблица 1

Эффективность ускорителей твердения

Хим. добавка	Кол-во, % от масс. Ц	Эффективность
Сульфат натрия	1-2	Сокращение начала сроков схватывания на 68 мин. Увеличение прочности при дозировке 1,5% от масс. Ц – на 34%, 2,0% – 40 % [12, 13]
	1-3*	Увеличение прочности при дозировке 1,0% от масс. Ц – на 9%, при 2,0% – 12 % [14]
Сульфат алюминия	1-2	Сокращение начала сроков схватывания на 109 мин. Увеличение прочности при дозировке 1,5% от масс. Ц – на 35%, 2,0% – 44 % [12]
	1-3	Прирост прочности на 1 сут - 20% [15]
Сульфат калия	1-4	Прирост прочности на 1 сут - от 10% до 50% [13]
Тиосульфат натрия	3	Прирост прочности на 1 сут - 20% [15]
Addiment BE2 (Sika)	2-4,5	Прирост прочности на 1 сут - 20%-40% [15]
Хлористый кальций	1-3	Прирост прочности на 1 сут твердения при 1% - 66%, на 28 суток - 16% [Ошибка! Источник ссылки не найден.]
	3	Прирост прочности на 1 сут - 20% [Ошибка! Источник ссылки не найден.]
Хлорид натрия	1-3	Прирост прочности на 1 сут твердения при 1% - 76%; на 28 суток - 2% [Ошибка! Источник ссылки не найден.]

	4	Прирост прочности на 1 сут - 20% [Ошибка! Источник ссылки не найден.]
Хлорид железа	0,75-2,5	Замедление начала сроков схватывания при 0,75 % – на 22 мин, при 1,25% на 240мин, при 2,5 % – на 270 мин [Ошибка! Источник ссылки не найден.]
Хлорид магния	1-2	Сокращение начала сроков схватывания при 1% - на 45 мин, при 2% - на 55 мин. Прирост прочности на 3 сут при 1% составляет 11%. На 28 сут - снижение прочности на 29%. Прирост прочности на 3 сут при 1% - 48%. На 28 сут – снижение прочности на 23% [Ошибка! Источник ссылки не найден.]
Хлористый кальций	0,5-3,5	Прирост прочности на 1 сут твердения при 1% - 55%; на 28 сут - 40% [Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.]
Хлористый алюминий	0,75-5	Сокращение начала сроков схватывания при 0,75% - на 87 мин, при 2,5% - на 270 мин; прирост прочности на 1 сут твердения при 1% - 55%; на 28 сут - 0% [Ошибка! Источник ссылки не найден.]
		Прирост прочности на 1 сут твердения при 1% - 47%; на 28 суток - 15% [Ошибка! Источник ссылки не найден.]
Нитрат натрия	1	Прирост прочности на 1 сут твердения при 1% - 47%; на 28 суток - 15% [Ошибка! Источник ссылки не найден.]
	3	Прирост прочности на 1 сут - 20% [Ошибка! Источник ссылки не найден.]
Нитрат кальция	1-2,5	Прирост прочности на 1 сут твердения при 1% - 47%, на 28 сут - 14% [Ошибка! Источник ссылки не найден.]
	3	Прирост прочности на 1 сут - 20% [Ошибка! Источник ссылки не найден.]
Нитрит кальция	2-5	Прирост прочности на 1 сут твердения при 2% - 28%; при 5% - 103% [Ошибка! Источник ссылки не найден.]

Примечание: *Прирост прочности при дозировках 1-2% не отвечает критерию эффективности для ускорителей твердения (норма – более 30%).

3. Результаты

Анализ эффективности приведенных выше добавок показывает, что значения расхода ускорителей, приводимые в различных источниках, не отличаются единообразием. В связи с этим, рекомендации по дозировке носят ориентировочный характер и поэтому качество изделий во многом определяются технологической культурой конкретного предприятия по производству железобетонных изделий. Также следует обратить внимание на замечание, приведенное в работе [15], где указывается на необходимость увеличения дозировки ускорителей твердения при повышении водоцементного отношения, что, в свою очередь, связано с увеличением подвижности бетонной смеси. Таким образом, многочисленными исследованиями подтверждено, что ускорители твердения способствуют активизации химических процессов гидратации: при их использовании достигается значительный рост растворимости минеральных составляющих цементного клинкера и значительно интенсифицируется ионообмен.

Вместе с тем, необходимо учитывать, что одним из негативных последствий применения ускорителей твердения в цементных бетонах является возникновение коррозионных процессов, как сульфатной, так и щелочной природы. Устойчивость гидратных фаз, формирующихся в портландцементе, зависит от типа и концентрации сульфатосодержащей среды. Наименьшей стойкостью в условиях воздействия сульфатных сред характеризуется гидроксид кальция. Вступая в реакции обмена с сульфатами, он формирует соединения, которые создают внутренние напряжения в цементном камне, приводя, в конечном итоге, к снижению прочности бетона.

Важно подчеркнуть, что отдельные модифицирующие добавки, демонстрирующие необходимый целевой эффект (увеличение прочности в возрасте 1 сут: нормального твердения на 30%; после тепловой обработки на 20%; при снижении прочности бетона в возрасте 28 сут не более чем 5%), зачастую оказываются неспособными обеспечить комплексное позитивное влияние на все значимые строительно-технические характеристики бетонной смеси и затвердевшего бетона. Более того, в ряде ситуаций их применение может даже привести к ухудшению некоторых из этих характеристик.

4. Вывод

В связи с изложенным, весьма перспективным направлением в производстве бетона, бетонных и железобетонных изделий представляется разработка и внедрение комплексных модификаторов. Основная цель создания таких композиционных материалов заключается в единовременном обеспечении нескольких положительных эффектов, включая повышение пластифицирующих свойств бетонных смесей, управление динамикой процесса твердения бетона, максимальное увеличение прочности и, как следствие, продление срока службы бетонных и железобетонных конструкций.

Использованная литература / References

- [1] Звездов А.И. Технология бетона и железобетона в вопросах и ответах / А.И. Звездов, Л.А. Малинина, И.Ф. Руденко // Москва. НИИЖБ. 2005. – 445 с.
- [2] Шихненко И.В. Краткий справочник инженера-технолога по производству железобетона / И.В. Шихненко - К.: Будивэльник, 1984. 296 с.
- [3] Волюнец Н.П. Справочник инженера-технолога предприятия сборного железобетона / Н.П. Волюнец, Н.Г. Дьяченко, В.И. Лошанюк - К.: Будивэльник. 1983. 224 с.
- [4] Михайлова К.В. Производство сборных железобетонных изделий: Справочник / Под ред. Михайлова К.В., Королёва К.М. – М.: Стройиздат. – 1989. – 447 с.
- [5] Миронов С.А. Ускорение твердения бетона. 2-е издание исправленное и дополненное / С.А. Миронов, Л. А Малинина. – Москва, 1964, –348 с.
- [6] Добролюдов Г, Ратинов В.Б., Розенберг Т.И. Прогнозирование долговечности бетона с добавками / Г. Добролюдов, В.Б. Ратинов, Т.И. Розенберг – М., Стройиздат. 1983. – 212 с.
- [7] Алексеев С.Н. Долговечность бетона в агрессивных средах: Совм. Изд. СССР-ЧССР- ФРГ/С.Н. Алексеев, Ф.М. Иванов, С. Модры, П. Шисль. – М.:Стройиздат, 1990. –320 с.
- [8] Ратинов В.В., Оптимизация тепловлажностной обработки бетонов с помощью добавок / В.В. Ратинов, Т.И. Розенберг, И.И. Крыжановский, Ф.М. Иванов // Бетон и железобетон. 1981. –№8. –18 с.
- [9] Москвин В.М. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В.М. Москвин, Ф.М. Иванов, С.Н. Алексеев, Е.А. Гузев – М.: Стройиздат. – 1980.
- [10] Алексеев С. Н. Ингибиторы коррозии стали в железобетонных конструкциях / С.Н. Алексеев, В.Б. Ратинов, Н.К. Розенталь, Н. М. Кашурников – М.: Стройиздат, 1985. –272 с.
- [11] Бутт Ю.М. Влияние состава цемента и условий твердения на формирование структуры цементного камня / Ю.М. Бутт, В.М. Колбасов // В кн.: Труды VI Междунар. конгр. по химии цемента – М.: Стройиздат, 1976. Т. 2, кн. 1.
- [12] Изотов В.С., Ибрагимов Р.А. Влияние добавок – ускорителей твердения на свойства тяжелого бетона / В.С. Изотов, Р.А. Ибрагимов // Строительные материалы, 2010. –№3. –С. 35-37
- [13] Курбатова И. И. Химия гидратации портландцемента. –М. –Стройиздат. – 1977. –158 с.
- [14] Ружинский С. Ускорители схватывания и твердения в технологии бетонов / Ружинский С. // Популярное бетоноведение №1, – 2005 – 76 с.
- [15] Касторных Л.И. Добавки в бетоны и строительные растворы / Л.И. Касторных // 2-е издание – Рн/Д: Феникс. 2007. –221 с.

Сведения об авторах / Information about the author

Адилходжаев д.т.н., профессор, Ташкентский
Анвар государственный транспортный
Ишанович университет

E-mail: anvar_1950@mail.ru

Tel.: +998933981926

<https://orcid.org/0000-0001-5729-5178>

Бабажанов докторант кафедры «Строительство
Азиз зданий и промышленных
Файзитдинович сооружений», Ташкентский
государственный транспортный
университет

E-mail: babajanov.aziz@gmail.com

Tel.: +998909542901

<https://orcid.org/0009-0002-7990-0206>



Fiber concrete. Prospects for development and application

A.I. Adilkhodzhaev¹, A.N. Baymurzaev¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: In the article the author presents the main features and advantages of using fiber-reinforced concrete in the manufacture of various building structures. The features preventing the wider use of fiber-reinforced concrete are given. An analysis of the influence of various factors in the manufacture of structures on the mechanical properties of fiber-reinforced concrete made it possible to evaluate the differences in its operation in the stretched and compressed zone of structures. Recommendations are given on improving the mechanical characteristics of fiber-reinforced concrete and an analysis of the work of other researchers on this issue.

Keywords: concrete, reinforcement, steel fiber, fiber-reinforced

Fibrobeton rivojlanish va qo'llanish istiqbollari

Adilkhodzhaev A.I.¹, Baymurzaev A.N.¹

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Maqolada muallif turli qurilish inshootlarini ishlab chiqarishda tolali temir-betondan foydalanishning asosiy xususiyatlari va afzalliklarini ko'rsatib o'tadi. Fibrobetonning keng qo'llanilishiga to'sqinlik qiluvchi xususiyatlar keltirilgan. Inshootlarni tayyorlashda turli omillarning tolali temir-betonning mexanik xossalari ta'sirini tahlil qilish orqali uning inshootning cho'zilgan va siqilgan qismlarida ishlashidagi farqlarni baholash imkoniyati yaratildi. Fibrobetonning mexanik xarakteristikalarini yaxshilash bo'yicha tavsiyalar berilgan va ushbu masala bo'yicha boshqa tadqiqotchilarning ishlari tahlil qilingan

Kalit so'zlar: beton, armatura, po'lat tola, fibra armatura

1. Kirish

Qurilishning turli sohalarini rivojlantirish yangi samarali materiallarni ishlab chiqishni va ulardan buyumlar tayyorlash texnologiyalarini takomillashtirishni nazarda tutadi. Eng istiqbolli materiallardan biri fibrobeton hisoblanadi, ayniqsa po'lat tolali fibrobeton.

Aynan po'lat toladan foydalanishning maqsadga muvofiqligi quyidagilardan iborat:

fibrali armaturalashni qo'llash armaturalash ishlarini sezilarli darajada qisqartiradi yoki butunlay istisno qiladi va beton qorishmasini tayyorlash va uni armaturalashning texnologik operatsiyalarini birlashtirish imkonini beradi, bu esa mehnat xarajatlarini 40% gacha kamaytirish imkonini beradi;

armaturalangan po'lat tolali beton o'z xususiyatlariga ko'ra ikki barobar ko'p armaturali betonga deyarli teng, lekin tola bilan armaturalash ikki barobar ko'p armaturaga nisbatan arzonroq;

po'lat tolali armaturalashni qo'llash konstruksiyalarning burchaklari va tugunlarini mustahkamlash imkonini beradi; elementlar qalinligini boshqarish va kamaytirish imkoniyati paydo bo'ladi;

standart bo'lmagan konstruksiyalarda po'lat tola qo'llanilishi mumkin, bunda muammo-chiziqli armaturadan oqilona foydalanish;

korroziyaga uchraydigan va yeyilishga chidamlilikka ega.

Shunday qilib, an'anaviy temir-beton konstruksiyalarga nisbatan po'lat tolali fibrobeton konstruksiyalarning yuqori texnik-iqtisodiy samaradorligiga mehnat va material sarfini kamaytirish, chidamlilikni oshirish, shuningdek sterjenli armaturalashga xos bo'lgan kamchiliklarni bartaraf etish

orqali erishiladi. Biroq, po'lat fibro-betonning keng qo'llanilishiga undan buyumlar tayyorlashdagi qiyinchiliklari, tolalarning tartibsiz joylashuvi, tayyor mahsulot sifatini nazorat qilish usullarining deyarli yo'qligi to'sqinlik qiladi.

Fibrobeton konstruksiyalarining mustahkamligini tavsiflovchi asosiy omillar ulardagi tolalarning tarkibi, taqsimlanishi va yo'nalishi hisoblanadi. Tahlillar shuni ko'rsatadiki, bir xil namunalarni sinovdan o'tkazishda fibrobetonning mexanik (mustahkamlik, yorilishga chidamlilik, deformativlik) xususiyatlari o'zgaruvchan bo'ladi, bu odatda betonda tolalarning notekis taqsimlanishi bilan izohlanadi.

Fibrobeton konstruksiyalarining mustahkamligi, ulardagi tolalarning tarkibi, taqsimlanishi va yo'nalishi hisoblanadi. Tahlillar shuni ko'rsatadiki, bir xil namunalarni sinovdan o'tkazishda fibrobetonning mexanik (mustahkamlik, yorilishga chidamlilik, deformativlik) xususiyatlari o'zgarib turadi. Ular odatda betonda tolalarning notekis taqsimlanishi bilan izohlanadi.

Boshqa tomondan, materialning mustahkamlik va geometrik xususiyatlarining o'zgaruvchanligi tartibsiz armaturalashning diskret xususiyati bilan ham bog'liq. Shubhasiz, ixtiyoriy emas, balki tashkil etilgan (agregatlangan) holda va ayniqsa - beton matritsada tolalarning yo'naltirilgan joylashuvi bilan yo'naltirilgan tolali armaturalashda uning xususiyatlari juda sezilarli darajada o'zgaradi.

Fibrobetonning mustahkamligi asosan uning armaturalanishi bilan belgilangani sababli, uning tebranishlari ko'proq armaturaning bir jinsli emasligi bilan va kamroq darajada matritsa mustahkamlik

xususiyatlarining tebranishlari bilan bog'liq deb taxmin qilish mantiqan to'g'ri bo'ladi.

Fibro-betonning kelgusi rivojlanish istiqbollarini uning yuqori qismida fibrobetonning siqilishga, pastki qismida esa cho'zilishga ishlashi natijalari keltirilgan.

0 nuqta fibrasiz betonning nisbiy mustahkamligiga mos keladi ($K_{bf} = R_{bf} / R_b = 1$);

$K_{bf} = R_{bf} / R_{bt} = 1$), bu koordinata boshlanishi deb qabul qilingan.

Shuningdek, tolalarning ixtiyoriy taqsimlanishiga ega bo'lgan oddiy fibrobetonga mos keladi. Bu tolalarning kiritilishi siqilishga bo'lgan mustahkamlikni 40% gacha oshiradi

($K_{bf} = R_{bf} / R_b = 1,4$) va cho'zilishga bo'lgan mustahkamlikni 150% gacha oshiradi ($K_{bf} = R_{bf} / R_{bt} = 2,5$).

Bu ko'plab mahalliy va xorijiy tadqiqotchilarning ishlarida, jumladan [1] manbada, o'z isbotini topgan.

Fibrobetonning mustahkamligini yanada ko'proq oshirish tolalarning agregatlangan taqsimoti orqali amalga oshiriladi. Bu usul siqilishdagi mustahkamligini yana 10% ga oshiradi

($K_{bf} = R_{bf} / R_b = 1,5$), cho'zilishga chidamliligini esa yana 20% ga ko'taradi ($K_{bf} = R_{bf} / R_{bt} = 2,7$) - 2-nuqta

Ilmiy adabiyotlarda bunday ishlar juda kam uchraydi, eng mukammal natijalar [2] manbada keltirilgan.

Fibrobetonda tolalarning yo'naltirilgan taqsimlanishini qo'llash ham mustahkamlikni taxminan shuncha darajada oshiradi - siqilishda 10% gacha

($K_{bf} = R_{bf} / R_b = 1,6$) va cho'zilishda 20% gacha ($K_{bf} = R_{bf} / R_{bt} = 2,9$) - 3-nuqta

Ko'rsatilgan masalani o'rgangan ishlar juda kam bo'lib, bu tolalarning yo'naltirilgan orientatsiyasini yaratishdagi texnologik qiyinchiliklar bilan bog'liq.

Bu jarayon odatda doimiy yoki o'zgaruvchan magnit maydoni yordamida amalga oshiriladi [3].

Shundan so'ng fibralarning ta'siri fibrobetonning siqilish va cho'zilishdagi mustahkamligini oshirishda ortiq o'shmaydi. Fibrobetonning mustahkamligini yanada oshirish endi faqat beton ishlab chiqarish texnologiyasi bilan bog'liq usullar va uslublar orqali amalga oshirilishi mumkin.

Quyidagilar bunga kiritilishi mumkin:

eng yuqori zichlikka ega bo'lgan suvdan foydalanish (bu 4 °C haroratda erishiladi) - [4];

maxsus kimyoviy qo'shimchalarni qo'llash - [5];

betonga uglerodli plastmassa nanozarrachalarini kiritish - [6]; va boshqa usullar.

Bularning barchasi natijada siqilishga mustahkamlikni 75% gacha oshirishga olib kelishi mumkin.

($K_{bf} = R_{bf} / R_b = 1,75$) va cho'zilishga bo'lgan mustahkamlikni 220% gacha oshirishga olib kelishi mumkin

($K_{bf} = R_{bf} / R_{bt} = 3,2$) - nuqta.

Xulosa

Keltirilgan barcha ma'lumotlar shuni ko'rsatadiki, siqilish va cho'zilishga bunday yuqori mustahkamlik xususiyatlariga ega bo'lgan fibrobetonlarni qo'llash nihoyatda dolzarb hisoblanadi.

Biroq, shuni ta'kidlash joizki, sanab o'tilgan texnologik usullarning shubhasiz samaradorligiga qaramay, ularni qo'llash borasidagi yakuniy qaror, xuddi yuqori xususiyatlarga ega fibrobetonlarning o'zi kabi, iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiqlik asosida qabul qilinadi.

Foydalanilgan References

adabiyotlar/

[1] Адылходжаева А.И. Махаматалиев И.М., Тургунбаев У.Ж., Цой В.М.; под.общ. ред. Адылходжаева А.И. Интенсивные технологии строительства. (Монография). –Ташкент, Изд- во «Фан ва технология», 2016. -228 с.

[2] Адылходжаев А.И., Махаматалиев И.М., Цой В.М. Под. общ. ред. Адылходжаева А.И. Композиционные строительные материалы (Монография). - «LAMBERT» ACADEMIC PUBLISHING, 2018 -176 с.

[3] Адылходжаев А.И., Махаматалиев И.М., Каримова Ф.Ф., Кадилов И.А. Современные методы исследования строительных материалов//Учебное пособие. – Т.: ТГТУ, 2023. –188 с.

[4] Седых С.А. Фибробетон - перспективы современного строительства // «Colloquium-journal» #14(173), 2023 / ARCHITECTURE, 2023 – 9 с. .

Information about the author

Adilxodjaev Anvar Ishanovich

Toshkent davlat transport universiteti rektorining strategik va istiqbolli vazifalarni amalga oshirish bo'yicha maslahatchisi,
e-mail: anvar1950@mail.ru
Tel.: +998998704117
<https://orcid.org/0000-0001-5729-5178>

Baymurzaev Alisher Nukusbay uli

Toshkent davlat transport universiteti "Bino va sanoat inshootlari qurilishi" kafedrasida doktoranti,
e-mail: baymurzaev1818@gmail.com
Tel.: +998913018882
<https://orcid.org/0009-0003-3966-1746>



High-strength fine-grained concrete based on natural zeolite

J.K. Jiemuratov¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: The results of studying the natural zeolite from the Beltau deposit are presented. To determine the comparative relationship between the characteristics of natural zeolite obtained from the Beltau deposit and mineral additives in the Uzbekistan construction materials market, natural zeolitic marl, microsilica, and metakaolin from the Beltau deposit were used. It was established that the W/T ratio of the studied powders increases in the following sequence: Beltau zeolite, crushed sand, microsilica, zeolite-containing marl, and metakaolin. Based on the rheological parameters of water-mineral pastes, the yield stress was calculated, and their plasticizing sensitivity to solvents of various chemical natures was determined. It was found that the pozzolanic activity of natural zeolite for CaO absorption is equal to 510 g/l; a change in the pH of the hydrating zeolite-cement suspension was observed, with its value decreasing to 12.7. Fine-grained cement concretes with strengths ranging from 75 to 86 MPa were obtained using natural zeolite from the Beltau deposit at concentrations of 5 and 10%.

Keywords: natural zeolite, pH environment, polycarboxylate, naphthalene-formaldehyde and mineral additives, high-strength fine-grained concrete

Tabiiy seolit asosidagi yuqori mustahkamlikdagi mayda donador beton

Jiemuratov J.K.¹

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Beltau konining tabiiy seolitini o'rganish natijalari keltirilgan. Beltau konidan olingan tabiiy seolit ko'rsatkichlarining O'zbekiston qurilish materiallari bozori mineral qo'shimchalari bilan qiyosiy bog'liqligini aniqlash uchun beltau konining tabiiy seolitli mergel, mikrokremnezem, metakaolindan foydalanildi. O'rganilayotgan kukunlarning S/T quyidagi ketma-ketlikda ortishi aniqlandi: Beltau seoliti, maydalangan qum, mikrokremnezem, seolit tarkibli mergel va metakaolin. Suv-mineral pastalarning reotexnologik ko'rsatkichlari bo'yicha siljishning chegaraviy kuchlanishi hisoblab chiqilgan, ularning turli kimyoviy tabiatli suyuqlantiruvchilarga nisbatan plastifikatsiyalovchi sezgirliги aniqlangan. Tabiiy seolitning CaO yutish bo'yicha putssolan faolligi 510 g/l ga tengligi o'rganildi; gidratatsiyalanadigan seolit-sement suspensiyasining pH muhiti o'zgarishi aniqlandi, uning qiymati 12,7 gacha kamaydi. Beltau konidan olingan tabiiy seolit miqdori 5 va 10% bo'lgan, mustahkamligi 75 dan 86 MPa gacha bo'lgan mayda donali sementli betonlar olindi.

Kalit so'zlar: tabiiy seolit, pH muhiti, polikarboksilat, naftalinformaldegid va mineral qo'shimchalar, yuqori mustahkam mayda donali beton.

1. Kirish

Yuqori mustahkam beton monolit va yig'ma monolit qurilishda keng qo'llaniladi. U nafaqat turli inshootlar konstruksiyalarining yuqori fizik-mexanik xususiyatlari masalalarini hal qiladi, balki ularni qurish uchun material xarajatlarining solishtirma sarfini kamaytirishga imkon beradi. Yuqori mustahkam beton murakkab geometrik konstruksiyalar uchun, katta uzunlikdagi ko'priklar oraliqlarini tayyorlash uchun, gidrotexnika qurilishi uchun, dengizdagi neft platformalarini qurishda; pollar uchun korroziyaga chidamli qoplamalar; radioaktiv chiqindilar uchun inshootlar; bosim ostida ishlaydigan quvurlar va boshqalar uchun maqsadga muvofiqdir [1,2].

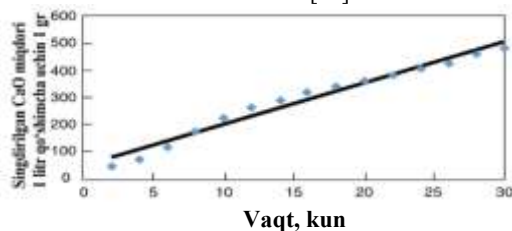
Portlandsementli bog'lovchilarda betonlarning yuqori mustahkamlik ko'rsatkichlarini olish va saqlab qolishning zaruriy shartlaridan biri tuproqsiz, kremnezemli yoki boshqa kimyoviy faol mineral qo'shimchalardan tayyorlangan kremnlardan foydalanish hisoblanadi. Bunday materiallar hisobiga sementli betonlarda boshlang'ich davrda sement toshining qotish jarayonlari tezlashadi, sementlovchi modda va to'ldiruvchilar orasidagi kontakt zonasi mustahkamlanadi, sement toshining tomchi-g'ovakli

tuzilishi o'zgaradi; uning kirishishi kamayadi, gidrosilikatlarning qo'shimcha hajmi hosil bo'ladi; betonlarning yoriqbardoshligi, atmosferaga chidamliligi oshadi [3-7].

Sementli betonlar uchun mineral qo'shimchalar qatoriga tabiiy seolitlar ham kiradi. Tabiiy seolit - tarkibida ko'p miqdorda reaktiv silikatlar va alyuminatlar bo'lgan mineral xomashyo turi. U sement sanoatida aralash sementlar sifatida keng qo'llaniladi [8,9].

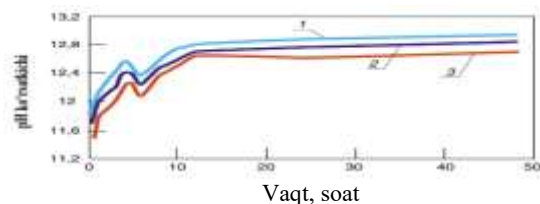
Ma'lumki, seolitlar karkasli silikatlariga kiradi. Ularning tuzilishining o'ziga xos xususiyati shundaki, bunday karkasning har bir tetraedri $[\text{SiO}_4]^{4-}$ o'zaro umumiy kislorod ionlari bilan bog'langan bo'lib, ularning soni karkasda to'rtta; natijada cheksiz uch o'lchovli karkas hosil bo'ladi. Kislorod atomlari yondosh tetraedrlar bilan bo'linganligi sababli, bunday karkas elektroneytral bo'lib qoladi. Karkasli silikatlariga kristall kremnezemning turli modifikatsiyadagi strukturalari kiradi. Biroq karkasli alyumosilikatlarda kremniy-kislorod tetraedrlarining bir qismi alyuminiy-kislorod tetraedrlari $[\text{AlO}_4]^{5-}$ bilan almashinadi. Bunday almashinish Si^{4+} va Al^{3+} ionlarining yaqin xarakteristikalari tufayli bo'lishi mumkin. Bunda hosil bo'lgan qo'shimcha manfiy zaryad $[\text{AlO}_4]^{5-}$ kationlar bilan kompensatsiyalanadi. Ko'pincha bu vazifani ishqoriy va ishqoriy-yer metallarning

kationlari bajaradi. Odatdagi sharoitda almashinmaydigan Si va Al dan farqli o'laroq, bunday kationlar oson almashinadi va tetraedrik yoki karkas atomlar deb ataladi. Karkas kanallarida joylashgan ishqoriy va ishqoriy-yer metallarining kationlari almashinuvchi deb ataladi. Karkas kanallarida joylashgan ishqoriy va ishqoriy-yer metallari almashinuvchi metallar deb ataladi [10].



1-rasm. Beltau seolitining putssolan faolligi

Karkasli alyumosilikatlarda ikkita alyumokislordan tetraedrlari umumiy kislorod ioni orqali birlasha olmaydi (Lovenshteyn qoidasi), shuning uchun seolitlarning eng oddiy strukturalarida $[\text{SiO}_4]$ va $[\text{AlO}_4]$ tetraedrlarining teng miqdorida ularning doimiy almashinuvi sodir bo'ladi. Bu eslatma bog'lovchi materiallarda seolitlarning xossalari aniqlash uchun juda muhimdir. Seolitlar qotayotgan sement tizimlarida parchalanishi sababli, ular izolyatsiyalangan $[\text{SiO}_4]$, $[\text{Si}_2\text{O}_7]$ va boshqa guruhlarini yetkazib berishi mumkin. Yuqoridagilardan kelib chiqqan holda, ishning maqsadi Beltau konidan olingan tabiiy seolitdan kimyoviy faol qo'shimcha sifatida foydalanilganda yuqori mustahkamlikka ega bo'lgan mayda donali beton tarkibini ishlab chiqishdan iborat. Tabiiy seolit. Fraksiya tarkibi 0 dan 0,08 mm gacha bo'lgan kukun ko'rinishida, umumiy kimyoviy formulasi: $(\text{Na}^+, \text{K}^+) \text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{SiO}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ bo'lgan 75% klinoptilolitni o'z ichiga oladi; bunda kremnezem oksidining alyuminiy oksidiga nisbati 4,8 dan 5,4 gacha. Uning tarkibida oz miqdorda kvarts, plagioklaz, karbonatlar va gidrosilyudalar mavjud. Seolit kukunining dispersligi 990 m^2/kg bo'lib, PSX-12 qurilmasida havo o'tkazuvchanlik usulida aniqlandi. Beltau konining tabiiy seolitini mineral qo'shimchalar bilan qiyosiy bog'liqligini aniqlash uchun seolit tarkibli mergel (TSP), mikrokrenezem (MK), metakaolin (MEK) va maydalangan qurilish qumi ishlatilgan. Mahalliy material bo'lgan va yetarlicha keng o'rganilgan seolitli mergel och kulrang tog' jinsi bo'lib, klinoptilolit 14-28%, kalsit 18-28%, kvarts 13-19%, opal-kristobalilit 24-31%, montmorillonit 16%, gilli minerallar 25% va slyuda, dala shpatidan tashkil topgan. Oldindan quritilgan bu jins jag'li maydalagichda 5 mm gacha maydalanadi keyin prujina tipidagi laboratoriya tegirmonida maydalanadi; natijada olingan kukun 1700 m^2/kg solishtirma yuzaga ega bo'ldi. MK-85 (MK) markali mikrokrenezem metallurgiya kombinatining chiqindi mahsuloti bo'lib, 0,01 0,1 mkm o'lchamdagi mayda sharsimon zarrachalar ko'rinishidagi kulrang ferroqotishma ishlab chiqarish chiqindisidir. Moddiy tarkibiga ko'ra, u 90% amorf kremnezemdan iborat. Havo o'tkazuvchanlik usulida aniqlangan MK ning dispersligi 4700 m^2/kg ni tashkil etdi. Sun'iy ravishda olingan mayda dispers materiallardan metakaolin ishlatilgan bo'lib, unda 90-93% amorphlashgan kaolinit, qolgan qismi kvarts, slyuda zarrachalaridan iborat kristall faza mavjud. Solishtirma yuzasi 2450 m^2/kg .



2-rasm. Gidratatsiya muhitining pH qiymatini baholash: 1 - nazorat namunasi (qo'shimchalarsiz sement); 2 - sement+5% seolit; 3 - sement+10% seolit

Kremnezemli materiallar qatoriga tadqiqotlar uchun mo'ljallangan qurilish qumi ham kiradi oldindan yuviladi, quritiladi va solishtirma yuzasi 380 m^2/kg gacha maydalanadi. Undagi kremnezom oksidi miqdori 84% ni tashkil etdi. Tadqiqotlarda kimyoviy modifikatorlar sifatida quyidagilar qo'llanilgan: - quruq kukunsimon qo'shimchalar poliplast SP-3 (SP-3) va superplastifikator Melflux 2641 F (Mf); - suyuq qo'shimchalar: polikarboksilat asosidagi Karboksinar Alfa (KA); Micro Air 125 (Air) - havoni so'rib olish effektiga ega SFM eritmasi; Aros - naftalin-formaldegid asosidagi to'q jigarrang suyuqlik 200C haroratda zichligi 1,145 kg/m^3 bo'lgan yangi mahsulot.

Standartlarga ko'ra yuqori mustahkam betonlarga siqilishdagi mustahkamligi bo'yicha sinfi V55 va undan yuqori bo'lgan betonlar kiradi. Zich mayda to'ldirgichli sement bog'lovchili betonlarni mayda donali betonlar deb atash qabul qilingan. Shuning uchun ishda to'ldiruvchi sifatida GOST 8736-2014 talablariga javob beradigan fraksiyalangan qumdan foydalanildi va uning tarkibi o'rtacha mustahkamligi 720 kgs/sm^2 bo'lgan holda tanlandi.

Ma'lumki, kalsiy oksidini yutish faolligi 200 mg/l dan yuqori bo'lgan mineral qo'shimchalarni faol (AMD) deb atash qabul qilingan. Adabiyot manbalaridan ma'lumki, seolitlar nafaqat sorbsion xususiyatlarga, balki turli konlar uchun turlicha bo'lgan putssolanik xususiyatlarga ham ega. Mualliflar tomonidan ohakning to'yingan eritmasidan CaO ni yutish bo'yicha uning faolligi baholandi (1-rasm).

Tadqiqotlar natijasida beltau konidan olingan seolit kukuni 30 sutkada 510 g/l SaO yutish faolligi bilan tavsiflanishi aniqlandi. Gidrolizlangan ohakning kremnezem qo'shimchasi bilan o'zaro ta'siri qonuniyatini gidratatsiyalanuvchi sement suspenziyasining pH o'zgarishi bo'yicha kuzatish mumkin (2-rasm). Muhitning pH ko'rsatkichi 12,93 ga teng bo'lgan eng yuqori qiymatga toza portlandsement suspenziyasi ega. Bu portlandsement klinkeri silikat fazalarining gidratlanishida ajralib chiqadigan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ning katta miqdori bilan bog'liq. Portlandsementning bir qismini seolit qo'shimchasi bilan almashtirilganda gidratatsiya mahsulotlari tarkibidagi kalsiy gidroksid miqdori kamayadi va shu bilan birga pH qiymati 12,7 gacha pasayadi. Shuni ta'kidlash kerakki, gidratatsiyaning dastlabki soatlarida barcha tarkiblar 4 dan 6 soatgacha bo'lgan oraliqda ozgina cho'kish bilan pH ning uzluksiz o'sishini ko'rsatdi, ammo u 12 dan pastga tushmadi. Bu esa portlandsement va beltau koni seoliti asosidagi bog'lovchi qo'llanilgan betonlarda metall armaturaning saqlanishini kafolatlaydi. Betonlarning yuqori mustahkamlik ko'rsatkichlari past S/Q qiymatlariga ega bo'lgan materiallarda olinishi mumkinligi sababli, ishning birinchi bosqichida turli mineral kukunlarning suvli pastalarining reotexnologik xususiyatlari prof. V.I. Kalashnikov usuli bo'yicha o'rganildi, unga ko'ra o'zgartirilgan Suttarda viskozimetridan foydalanildi. Viskozimetr zanglamaydigan po'latdan yasalgan ichki

diametri 25 mm va balandligi 50 mm bo'lgan silindrdan iborat. Suvga talabchanlik va harakatchanlikning o'zgarishi gravitatsion yoyilish chegarasida pastaning yoyilish kattaligi bo'yicha baholandi. Silindrning ushbu o'lchami uchun pastaning yoyilishi taxminan 70 mm tanlangan. 100 g miqdordagi suv-mineral pasta tayyorlash uchun kukun namunasi tortib olindi va suv yoki kimyoviy qo'shimchani suvli eritmasi bilan aralashtirildi. Namlangan 150-150 mm o'lchamli shishaga namlangan silindr o'rnatildi, unga o'rganilayotgan suv-mineral pasta quyildi va metall pichoq bilan tekislandi. To'ldirilgandan so'ng silindr ko'tarilib, pastaning yoyilgan diametri o'lchandi. Har bir o'lchashda olingan pastaning zichligi qayd etildi. Bunda olingan qiymatlar siljishning chegaraviy kuchlanishini hisoblash uchun quyidagi formuladan foydalanildi.

$$\tau_0 = \frac{h \cdot d^2 \cdot \rho \cdot g}{k D^2}, \quad (1)$$

Bunda τ_0 - pastaning chegaraviy siljish kuchlanishi, Pa; h va d - mos ravishda viskozimetrdagi balandligi va diametri, m; ρ - pastaning zichligi, kg/m³; k - qovushqoq-plastik jismlarda kuchlanishlarning qayta taqsimlanishini hisobga oluvchi koeffitsient bo'lib, bizning holatda u 2 ga teng; D - pasta yoyilmasining diametri, m.

- izoreologik tizimda suv sarfining kamayishini tavsiflovchi suvni reduksiyalash indeksi (VI):

$$VI(V_d) = \frac{(V/T)_n}{(V/T)_p}, \quad (2)$$

yoki nazoratga nisbatan % hisobida:

$$\Delta V_d = \frac{(V/T)_n - (V/T)_p}{(V/T)_n} 100\%, \quad (3)$$

bu yerda $(V/T)_p$ va $(V/T)_n$ - mos ravishda plastifikatsiyalangan va plastifikatsiyalanmagan pastalarning suvga nisbatan qattiq nisbati; kukunlarning suyultirgichlarga nisbatan konsentratsion-vodorreduksiyaovchi sezgirligi (K_{ch}) quyidagi formula bo'yicha aniqlandi:

$$K_{ch} = \frac{\Delta V_d}{S}, \quad (4)$$

bu yerda S - qo'shimcha konsentratsiyasi; ΔV_d - suv reduksiyaovchi indeks, %. Bunday pastalarni o'rganish bo'yicha olingan natijalar 1-jadvalda keltirilgan. 1. Olingan natijalarni tahlil qilib, shuni ta'kidlash mumkinki, materialning suvga bo'lgan talabiga nafaqat uning dispersligi, balki tuzilishi, kelib chiqish tabiati ham katta ta'sir ko'rsatadi. Jadval natijalaridan ko'rinib turibdiki. 1-jadvaldan ko'rinib turibdiki, seolit va maydalangan qum kukunlari eng past S/Q nisbatiga ega, MK, SSP va MeK kukunlari esa yuqori suv talabchanlikka ega.

Ushbu tadqiqot seolitning suvga bo'lgan talabining yuqori emasligini tasdiqlaganligi sababli, garchi u yetarlicha yuqori disperslikka ega bo'lsa-da, uni mineral to'ldiruvchi sifatida qo'llash ishda o'rganilgan boshqa moddalarga nisbatan hurmatga sazovor bo'ladi. Maydalangan seolitning suvga bo'lgan talabi maydalangan daryo qumi bilan taqqoslanadi va 0,4-0,41 ni tashkil qiladi, ularning dispersligi esa deyarli 2,5 baravar farq qiladi. O'rganilgan suv-mineral pastalarning chegaraviy siljish kuchlanishini baholashda seolit va maydalangan qum kukunlari MeK va MK kukunlariga qaraganda yuqori qiymatga ega ekanligi aniqlandi. Garchi ikkinchisi yuqori disperslikka ega bo'lsa-da, yaxshi oquvchanlikni namoyon qiladi. Ehtimol, bu fakt yuqori mustahkam betonlar tarkibini ishlab chiqishda reologik matritsa qatlamining qalinligini optimallashtirishda hisobga olinishi kerak. Sementli betonlar uchun turli xil

mineral qo'shimchalarning reologik faolligini baholashda tabiiy seolitning suvga talabchanligi past ekanligi aniqlandi. Bu fakt uni portlandsementga kiritish (uning bir qismini almashtirganda) aralashmaning suvga bo'lgan talabini oshirmasligini va uning ma'lum bir qiymatiga qadar qotgan tosh uchun mustahkamlikni pasaytirmasligini taxmin qilishga imkon berdi. Shu munosabat bilan, seolitning sement toshining mustahkamlik xususiyatlariga ta'sirini aniqlash uchun tarkibi 5 dan 50% gacha bo'lgan nazorat namunalari 5 va 10% oralig'ida tayyorlandi. Barcha tarkiblar aralashmasining H/T bir xil bo'lib, 0,3 ni tashkil etdi. Keltirilgan ma'lumotlarni tahlil qilib, xulosa qilish mumkinki, sement tarkibiga 5% seolit kiritilishi siqilishdagi mustahkamlikning sezilarli darajada oshishiga (23% ga) olib keladi va portlandsementni 10%ga almashtirish mustahkamlikning atigi 5% ga oshishiga yordam beradi. Portlandsement tarkibida seolitning yanada ko'payishi (15% gacha) mustahkamlikning pasayishiga olib keladi va u qo'shimchasiz tarkib qiymatidan kichik bo'lib qoladi. Sementga seolitning yanada ko'proq kiritilishi sement toshining mustahkamlik qiymatini sezilarli darajada pasaytiradi, sementning yarmi seolitga almashtirilganda esa toshning mustahkamligi deyarli 50% ga pasayadi. Tadqiqotning keyingi qismida tabiiy seolitdan foydalangan holda fraksiyalangan qumda beton tarkiblari ishlab chiqildi. Buning uchun qum fraksiyalarga ajratildi va uchta fraksiya olindi. Avval bajarilgan tadqiqotlar bo'yicha to'ldiruvchining uzlukli tarkibi tanlandi.

2. Tadqiqot natijalari

Tadqiqot natijalaridan ko'rinib turibdiki, 3-jadval ma'lumotlariga ko'ra, portlandsement o'rniga 5% tabiiy seolitning Mf bilan birgalikda kiritilishi mayda donali betonning mustahkamligini namunalarda TVO da qotganda 15% ga va normal qotishning 28 kunida 22% ga oshishiga yordam beradi. 10% sementni seolit bilan almashtirish siqilishdagi mustahkamlikning atigi 3-5% ga oshishiga olib keladi. Shu bilan birga, Mf qo'shimchasini bog'lovchi massasining 0,7% gacha qo'shimcha oshirish beton aralashmasining S/S ni kamaytirishga imkon beradi, ammo bu betonning mustahkamligi 0,5% Mf qo'shimchali betonnikidan past. Ishlab chiqilgan beton tarkiblari kam miqdorda seolit mineralini o'z ichiga olgan mergelli betonlar kabi bug'lashda yuqori samaradorlikni ko'rsatdi. Jins hosil qiluvchi mineral miqdori ko'p bo'lgan seolitli qo'shimchalar xona haroratida va gidrotermal sharoitlarda qotish jarayonlarini deyarli bir xil faollashtiradi.

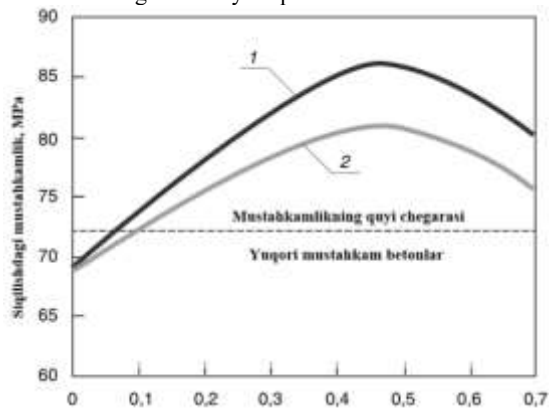
Tadqiqot natijalarini grafik ko'rinishda tasvirlab, oddiy va yuqori mustahkam betonlar orasidagi chegarani osongina aniqlash mumkin. Tabiiy seolit kukunini Mf qo'shimchasi bilan birgalikda kiritish siqilishdagi mustahkamlikning oshishiga yordam beradi. Mineral va kimyoviy qo'shimchalar bilan modifikatsiyalangan sementli betonning taqdim etilgan tarkiblari mezonidan yuqori mustahkamlik qiymatlariga ega.

1-jadval

Fraksiya o'lchamlari, mm	Fraksiyaning to'kilma zichligi, g/sm ³	Fraksiya bo'shlig'i, %	Aralashmadagi fraksiyalar miqdori, %
5 dan 2,5 gacha	1,62	38	69
1,25 dan 0,63 gacha	1,58	39	17,5

0,315 dan 0,16 gacha	1,5	42	13,5
$M_{kr} = 2,6$			

Yuqori mustahkam betonlar uchun GOST 25192-2012 bo'yicha belgilangan al ko'rsatkichini o'z ichiga oladi. Taxmin qilish mumkinki, kimyoviy va mineral qo'shimchalarning samarali birgalikdagi ta'siri ularning g'ovakli tuzilishi, suvli muhitda ion almashinuv faolligi bilan bog'liq bo'lib, ilgari tadqiqotlarda ko'rsatilganidek, putssolan faolligini namoyon qiladi.



3-rasm. Modifikatsiyalangan mayda donali betonning 28 kunlik siqilishdagi mustahkamligining o'zgarishi: 1-5% seolit bilan, 2-10% seolit bilan

Betonlarda, shu jumladan yuqori mustahkam betonlarda portlandsement sarfini kamaytirish o'rganilayotgan seolitning ko'proq miqdori (10% dan ortiq) hisobiga bo'lishi mumkin.

3. Xulosalar

Tarkibida ko'p miqdorda klinoptilolit (75%) va yuqori solishtirma yuzaga ega bo'lgan tabiiy seolit portlandsement bilan deyarli bir xil suvga talabchanligi bilan ajralib turadi, bu esa uni sement bog'lovchilarining samarali o'rnini bosuvchiga aylantiradi.

O'rganilayotgan kukunlarning V/T quyidagi ketma-ketlikda oshishi aniqlandi: Beltau konidan olingan seolit; maydalangan qum; mikrokremnezem; seolit tarkibli mergel va metakaolin.

Melflux 2641 F modifikatori bilan birgalikda sement o'rniga kam miqdorda tabiiy seolitni kiritish fraksiyalangan qumda beton mustahkamligini 15% ga (TVoda) va 22% ga (NUda) oshirishga yordam beradi. Sement o'rniga 10% tabiiy seolit kiritilsa, toshning mustahkamligi qo'shimchasiz tarkib darajasida qoladi.

Seolit sement muhitining pH qiymati 12 dan past emas, bu metall buyumlarning saqlanishi tufayli temir-beton mahsulotining chidamliligini ta'minlaydi.

Natijada siqilishga mustahkamligi bo'yicha M700, M800 markali mayda donali yuqori mustahkam beton tarkiblari ishlab chiqilgan

Foydalanilgan References

adabiyotlar/

- [1] Каприелов С.С., Травуш В.И., Карпенко Н.И., Шейнфилд А.В., Кардунян Г.С., Киселева Ю.А., Пригоженко О.В. Модифицированные высокопрочные бетоны классов В80 и В90 в монолитных конструкциях // Строительные материалы. 2008. № 3. С. 9–13.
- [2] Shui Z.H., Zeng J.J., Liao Y., Leng Z., Influence of metakaolin on strength and microstructure of high-strength concrete // Key Engineering Materials. 2012. pp. 33–39.
- [3] Бабков В.В., Полак А.Ф., Комохов П.Г. Аспекты долго вечности цементного камня // Цемент. 1988. № 3. С. 14.
- [4] Камалиев Р.Т., Корнеев В.И., Брыков А.С. Портландцемент с добавкой ультрадисперсных кремнеземов // Цемент и его применение. 2009. № 1. С. 86–89.
- [5] Лесовик В.С., Агеева М.С., Денисова Ю.В., Иванов А.В. Использование композиционных вяжущих для повышения долговечности брусчатки бетонной // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 4. С. 52–54.
- [6] Иващенко Ю.Г., Зинченко С.М., Козлов Н.А. Структурообразующая роль органоминеральных добавок при твердении цементных композиций // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2013. Т. 3. № 1 (72). С. 168–171.
- [7] Jitchaiyaphum K., Sinsiri T., Jaturapitakkul Ch., Chindaprasart P. Cellular lightweight concrete containing high-calcium fly ash and natural zeolite. International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials. 2013. No. 20, pp. 462–71.
- [8] Vogiatzis D., Kantiranis N., Filippidis A., Tzamos E., Sikalidi C. Hellenic natural zeolite as a replacement of sand in mortar: mineralogy monitoring and evaluation of its influence on mechanical properties. Geosciences. 2012. No. 2, pp. 298–307; doi:10.3390/geosciences2040298
- [9] Алекина С.К. Использование цеолитов // Вестник РАСХН. 2004. № 6. С. 81–82.
- [10] Овчаренко Г.И., Свиридов В.Л. Цеолиты в строительных материалах. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2000. 320 с.

Mualiflar haqida ma'lumot/ Information about the authors

Jiemuratov Toshkent davlat transport universiteti,
Jetkinshek tayanch doktorant
Keunimjaevich e-mail: jiemuratov007@gmail.com
Tel.: +998 91-377-99-99
<https://orcid.org/0009-0000-5563-2863>

Organization and technology of manual laying of geosynthetic materials in technological “WINDOWS” without removing the rail grating

O.M. Mirzakhidova¹, K.S. Lesov¹, A.Sh. Uralov¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: The article discusses the specifics of organizing and implementing the manual installation of geosynthetic materials (geotextile, flat geogrid) on the main area of the railway track in the zones of rail joints. The feasibility of carrying out these works during technological "windows" without dismantling the rail-and-sleeper grid is substantiated. The technological sequence of operations, the composition of work crews, time parameters, and quality requirements for the execution of works are presented. Recommendations are provided for organizing the work to ensure high efficiency and safety during routine maintenance and track repair

Keywords: geosynthetic materials, geotextile, geogrid, rail joint, technological “window,” subgrade reinforcement, manual installation, routine maintenance

Организация и технология ручной укладки синтетических материалов в технологические “ОКНА” без снятия рельсовой решетки

Мирзахидова О.М.¹, Лесов К.С.¹, Уралов А.Ш.¹

¹Ташкентский государственный университет транспорта, Ташкент, Узбекистан

Аннотация: В статье рассматриваются особенности организации и технологии ручной укладки геосинтетических материалов (геотекстиль, плоская георешётка) на основную площадку железнодорожного пути в зонах рельсовых стыков. Обоснована целесообразность выполнения данных работ в технологические «окна» без демонтажа рельсошпальной решётки. Приведены технологическая последовательность операций, состав рабочих бригад, временные параметры и требования к качеству выполнения работ. Представлены рекомендации по организации работ, обеспечивающие высокую эффективность и безопасность при текущем содержании и ремонте пути.

Ключевые слова: геосинтетические материалы, геотекстиль, георешётка, рельсовый стык, технологическое “окно”, усиление основания, ручная укладка, текущее содержание пути, ремонт пути, балластная призма.

1. Введение

Современное развитие железнодорожной инфраструктуры требует внедрения эффективных технологий содержания и ремонта пути, минимизирующих время простоя и обеспечивающих надёжность конструкций при ограниченных ресурсах. Особую актуальность приобретают методы усиления земляного полотна и основания балластной призмы в зонах рельсовых стыков, где наблюдаются наиболее интенсивные деформации из-за циклических нагрузок. Одним из перспективных направлений является укладка геосинтетических материалов – геотекстиля и георешёток – в технологические окна без снятия рельсошпальной решётки [1,2]. В мировой практике вопросы использования геосинтетиков в конструкциях железнодорожного пути активно исследуются в работах J. Zornberg, M. Narejo, J. (США), E. Palmeira (Бразилия), а также в публикациях европейских консорциумов (например, проект INNOTRACK, EU FP7) [1-3,13-16]. Эти исследования подтверждают, что применение геосинтетиков повышает несущую способность основания, улучшает водоотвод и стабилизирует балласт. Существенный вклад в развитие теории и практики применения геосинтетических материалов в

железнодорожном строительстве внесли и российские исследователи. В работах Г.М. Шахунянца, С.П. Першина, Е.С. Ашпица обоснована эффективность армирования геосинтетиками в зонах повышенных напряжений, включая рельсовые стыки. В исследованиях В.И. Грицыка и В.Г. Колчина рассматриваются вопросы взаимодействия геосинтетических прослоек с балластной и подбалластной структурами пути, что позволяет формировать устойчивую конструкцию даже при ручной укладке в условиях ограниченного времени. В публикациях Лесова К.С. рассматриваются конструктивно-технологические аспекты применения геосинтетических материалов при ремонте и содержании железнодорожного пути, включая методики укладки в условиях ограниченного времени, оценку прочности армирующих прослоек и организацию работ в технологические «окна» [12].

Однако организация ручной укладки в условиях ограниченного времени технологических «окон» и без демонтажа путевой решётки остаётся слабо исследованной в научной и прикладной литературе, особенно в части практической реализации на действующих линиях с высокой интенсивностью движения [8,9]. Существующие нормативные и

методические документы, включая Правила технической эксплуатации железных дорог и инструкции по текущему содержанию пути, содержат общие положения, но не раскрывают технологических нюансов ручной укладки геосинтетических материалов [4-7]. Это затрудняет масштабное внедрение технологии на линейных участках с интенсивным движением. Предмет исследования – процесс ручной укладки геосинтетических материалов в технологические окна при ремонтных работах. Цель исследования – разработка и обоснование технологии ручной укладки геосинтетических материалов без снятия рельсошпальной решётки для повышения эффективности и безопасности ремонтных работ в зонах рельсовых стыков.

Задачи исследования – проанализировать технологическую последовательность ручной укладки геотекстиля и георешёток в условиях ограниченного времени;

определить требования к организации труда, составу бригад и технологическим показателям;

сформулировать рекомендации по внедрению технологии в практику текущего содержания пути.

2. Материалы и методы

Исследование основано на анализе нормативных требований, проектно-технологической документации, а также обобщении опыта ручной укладки геосинтетических материалов на участках капитального и текущего ремонта железнодорожного пути [6-8]. Основным объектом изучения выступала технология ручной укладки геотекстиля и плоской георешётки на основную площадку в зонах рельсовых стыков без демонтажа рельсошпальной решётки. Для анализа применялись технические условия укладки в «технологическое окно» продолжительностью 1,5–2 часа. Работы выполнялись с участием бригады из 15–20 монтеров пути. Устройство прослоек производилось вручную поэтапно: срезка загрязнённого балласта, укладка геотекстиля, последующая укладка плоской георешётки, закрепление анкерами, обратная засыпка щебнем, выправка и рихтовка пути [8]. Используемые материалы соответствовали требованиям к прочностным и геометрическим характеристикам (ширина рулона 4–4,5 м, прочность на разрыв $\geq 0,8$ кН, плотность ≥ 280 г/м²). Контроль качества выполнялся визуальным осмотром, оценкой плотности укладки и соответствием регламенту ГОСТ и инструкции по текущему содержанию пути [4,5,7]. Ниже приведён процесс укладки геотекстиля и георешётки (рисунк 1).



Процесс срезки балласта под шпалами, формирование ровной поверхности основной площадки



Процесс укладки геотекстиля и плоской георешетки



Процесс засыпка Выправка пути с помощью ЭШП используя домкраты для подъёмки рельсовых нитей

Рис. 3. Фотоматериалы работ по устройству покрытий из геосинтетических материалов (геотекстиль, плоская георешетка) вручную в зонах рельсовых стыков уравнительного пролета бесстыкового пути по 6 шпал в каждую сторону от стыка

3. Результаты

Анализ выполнения работ показал, что при соблюдении последовательности операций и подготовке геосинтетиков укладка в рамках одного «окна» обеспечивает полное завершение всех этапов на участке протяжённостью 6–10 шпал с каждой стороны от стыка. Время выполнения операций в среднем составляло:

- подготовительные работы – 80 минут;
- основные работы – 70 минут;
- отделочные операции – 30 минут.

Общий цикл не превышал 2 часов. Укладка материалов вручную не сопровождалась ухудшением геометрии пути. При этом затраты на технику исключались, что делало метод целесообразным на малых участках. Работы выполнялись без демонтажа рельсошпальной решётки, что позволяло не нарушать структуру пути и ускорило восстановление движения [8]. Работы по устройству покрытий из геотекстиля и плоских георешеток вручную для небольшого участка железнодорожного пути (в зонах рельсовых стыков по 6-10 шпал в каждую сторону от стыка или 12-20 шпал всего) подразделяются на подготовительные, основные и отделочные. В подготовительный период производится уборка материалов и предметов за пределы ведения работ, срезка балласта с обочин и между шпалами до требуемой глубины, очистка загрязненного балласта путем отсеивания чистого щебня необходимой фракции, подготовка полимерных материалов и балласта к укладке. При этом необходимо выдать предупреждение об ограничении скорости движения поездов.

Основные работы выполняются в «окно» в следующей последовательности:

- срезка балласта под шпалами, формирование ровной поверхности основной площадки;
- укладка геотекстиля, проверка отсутствия складок, а также симметричного расположения геотекстиля относительно оси пути и рельсового стыка;
- укладка плоских георешеток, проверка отсутствия складок, а также симметричного расположения плоских георешеток относительно оси пути и рельсового стыка;
- закрепление анкерами геосинтетических материалов;
- засыпка балластного слоя чистым щебнем, начиная от стыка, засыпая в первую очередь зоны под рельсами;
- выправка пути с помощью ЭШП используя домкраты для подъёмки рельсовых нитей;
- оправка балластной призмы и формирование ее плеча.

После окончания основных работ, выполняемых в технологические «окна», и проверки состояния пути скорости движения первых одного - двух поездов на всем участке работ устанавливаются 25 км/ч, а последующих не менее 60 км/ч. В отделочные работы входят: производство необходимой чистовой выправки пути с постановкой его в проектное положение, постановка сигналов, сигнальных и путевых знаков, отделка балластной призмы и обочин земляного полотна [8].

4. Обсуждение

Полученные результаты подтверждают возможность эффективного применения технологии ручной укладки геосинтетических материалов в условиях ограниченного времени и без использования тяжелой техники. Данный подход особенно актуален для точечных ремонтных участков, в том числе в зонах стыков, где требуются быстрая локализация проблем и минимальное вмешательство в конструкцию пути.

Одним из ключевых преимуществ технологии является её доступность для внедрения на участках с ограниченной логистикой и высокой интенсивностью движения. В то же время технология требует высокой координации действий бригады и предварительной подготовки материалов, что обуславливает необходимость разработки типовых инструкций и нормативных требований. Внедрение системного подхода к планированию «окон» и обучению персонала повысит эффективность применения данной технологии в текущем содержании железнодорожной инфраструктуры [6-9].

Иллюстрации и формулы.

На рисунке 1 представлена схема конструкции с укладкой геосинтетических материалов на основную площадку. Схема отображает:

- расположение рельсов, шпал и балластного слоя;
- положение геотекстиля и георешётки в поперечном разрезе;
- глубину укладки (не менее 40 см от нижней поверхности шпал);
- направление засыпки и привязку к оси стыка.

Назначение схемы – Иллюстрация служит визуальным подтверждением пространственного размещения армирующих прослоек, что важно для технологов, инженеров путевого хозяйства и тех, кто разрабатывает проекты текущего и капитального ремонта

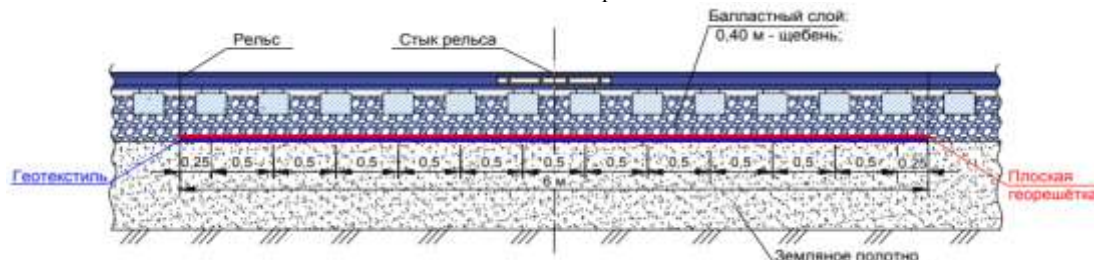


Рис. 1. Конструктивная схема укладки геосинтетических материалов на основную площадку

Формула оценки усилий при укладке геосинтетика вручную:

$$F=P/A$$

где F — удельная нагрузка на единицу площади (Па или Н/м²),

Р — приложенное усилие (Н), которое требуется для распрямления, прижатия и фиксации геосинтетического материала,

А — площадь контакта укладываемого материала с основанием (м²).

Эта зависимость позволяет предварительно оценить нагрузки, возникающие при укладке материала вручную, что особенно важно при выборе плотности геотекстиля и усилия анкерки. При укладке в зонах рельсовых стыков важно обеспечить достаточное прижатие полотна, чтобы оно не смещалось при засыпке балластом.

Полученное значение может быть использовано при расчёте прочности анкеров (Г-образных или П-образных), которыми фиксируется материал.

5. Заключение

Ручная укладка геосинтетических материалов (геотекстиля и плоской георешётки) в технологические окна без демонтажа рельсошпальной решётки представляет собой эффективную технологию, применимую в условиях ограниченного времени и на участках с интенсивным движением. Исследование показало, что при соблюдении регламентированных параметров (время укладки, состав бригады, глубина срезы) возможно полное выполнение всех операций в пределах одного технологического окна.

Установлена зависимость между продолжительностью работ и организационной структурой бригады: при численности 15–20 человек возможна укладка покрытия на 12–20 шпал за 1,5–2 часа. Также определена связь между типом геосинтетика и качеством раскладки — более плотные и прочные материалы обеспечивают лучшую фиксацию и устойчивость при обратной засыпке щебня [10,11].

Разработанная технология обеспечивает снижение времени простоя и затрат на ремонт, а также повышает эксплуатационную надёжность основания в зонах рельсовых стыков.

Подтверждена пригодность геотекстилей с плотностью ≥ 280 г/м² и георешёток с прочностью ≥ 15 кН для ручной укладки при текущем ремонте пути. Рекомендуется использовать данную технологию в зонах повышенного износа (стыки, локальные просадки) как эффективную альтернативу механизированной укладке на малых участках [6,7,12].

Использованная литература / References

- [1] Fernandes G., Palmeira E.M., Gomes R.C. Performance of geosynthetic-reinforced alternative sub-ballast material in a railway track // Geosynthetics International. — 2008. — Vol. 15, No. 5. — P. 311–321.
- [2] INNTRACK. Concluding technical report. — Brussels: European Commission, 2010. — 134 p.
- [3] Narejo D., Allen S. Using the stepped isothermal method for geonet creep evaluation // Proc. of the International Geosynthetics Society Conf. — 2002.
- [4] Правила по техническому содержанию и текущему ремонту железнодорожного пути. — Ташкент: АО «Ўзбекистон темир йўллари», 2020. — 92 с.

[5] Правила технической эксплуатации железных дорог Республики Узбекистан. — Ташкент: АО «Ўзбекистон темир йўллари», 2021. — 112 с.

[6] Руководство по применению геотекстиля, георешёток и дренажных труб в транспортном строительстве Республики Узбекистан. — Ташкент: Госкомдорстрой РУз, 2023. — 56 с.

[7] Технологическая инструкция по укладке геотекстиля на основную площадку железнодорожного пути. — М.: ОАО «РЖД», 2021. — 48 с.

[8] Инструкция о порядке предоставления и использования «окон» для ремонтных и строительно-монтажных работ на железнодорожных линиях АО «Ўзбекистон темир йўллари». — Ташкент: АО «ЎТЙ», 2022. — 36 с.

[9] Инструкция по обеспечению безопасности движения поездов при производстве путевых работ на железных дорогах Республики Узбекистан. — Ташкент: Минтранс РУз, 2021. — 68 с.

[10] Курилишда хавфсизлик техникаси: SHNQ 3.01.02–23. — Тошкент: ЎзСтандарт, 2023. — 80 б.

[11] Курилишда ишлаб чиқаришни ташкил этиши: SHNQ 3.01.01–22. — Тошкент: ЎзСтандарт, 2022. — 72 б.

[12] Лесов К.С., Бондаренко А.А., Абдужабаров А.Х., Кенжалиев М.К.-угли. Результаты усиления земляного полотна // Путь и путевое хозяйство. — 2024. — № 9. — С. 18–21.

[13] Лесов К.С., Бондаренко А.А., Абдужабаров А.Х., Кенжалиев М.К.-угли. Результаты усиления земляного полотна // Путь и путевое хозяйство. — 2024. — № 9. — С. 18–21.

[14] Lesov, K., Abdujabarov, A., Kenjaliyev, M., & Mirzakhidova, O. (2024). Techno-economic evaluation of geotextile application as a separation layer and its contribution. In E3S Web of Conferences (Vol. 583, p. 01008).

[15] Лесов, К., Абдужабаров, А., Кенжалиев, М., & Мирзахидова, О. (2023). Экспериментальные исследования по усилению основной площадки земляного полотна с применением геотекстиля. Сейсмическая безопасность зданий и сооружений, 1(1), 321–325

[16] Zornberg J.G., Azevedo M., Sikkema M., Odgers B. Stress-strain degradation response of railway ballast stabilized with geosynthetics // Workshop on Geosynthetics in Transportation Geotechnics. — Austin, 2016..

Информация об авторах / Information about the author

**Мирзахидова
Озода
Мирабдуллаевна** Базовый докторант кафедры «Инженерия железных дорог». Ташкентский государственный транспортный университет (ТГТрУ)
Тел.: +99 (897) 443-14-11
E-mail: ozoda_27@mail.ru
orcid.org/0000-0001-6247-1869

**Лесов
Кувандик
Сагинович** Кандидат технических наук, профессор кафедры «Инженерия железных дорог». Ташкентский государственный транспортный университет (ТГТрУ)

Тел.: +99 (871) 299-03-80.
E-mail: kuvandikl@mail.ru
orcid.org/0000-0002-9434-0713

Уралов Акмал Шакар угли	Базовый докторант кафедры «Инженерия железных дорог». Ташкентский государственный транспортный университет (ТГТрУ). Тел.: +99 (899) 817-43-12 E-mail: akmaljonorlov1928@gmail.com orcid.org/0000-0002-6124-5250



Increasing the stability of the track in areas of rail joints through the use of geosynthetic reinforcing materials

O.M. Mirzakhidova¹, K.S. Lesov¹, A.Sh. Uralov¹, M.K. Kenzhaliev¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: The study presents a method for improving the stability of railway tracks in the areas of rail joints through the use of reinforcing and separating layers made of geosynthetic materials. The engineering aspects of applying geotextiles and planar geogrids are considered, along with their impact on stress redistribution, deformation reduction, and increased subgrade modulus of elasticity. Comparative data are provided for unreinforced and reinforced subgrades. The results confirm the effectiveness of geosynthetics in both capital and routine track maintenance. Conclusions are drawn on the potential of this technology for high-speed rail applications.

Keywords: track stability, rail joint, geosynthetics, reinforcing layer, geotextile, geogrid, deformation modulus, vertical displacements, track reconstruction, subgrade reinforcement.

Повышение устойчивости пути в зонах рельсовых стыков за счёт применения геосинтетических армирующих материалов

Мирзахидова О.М.¹, Лесов К.С.¹, Уралов А.Ш.¹, Кенжалиев М.К.¹

¹Ташкентский государственный университет транспорта, Ташкент, Узбекистан

Аннотация: В работе представлена методика повышения устойчивости железнодорожного пути в зонах рельсовых стыков путём устройства армирующих и разделительных прослоек из геосинтетических материалов. Рассмотрены инженерные аспекты применения геотекстиля и плоских георешёток, а также их влияние на перераспределение напряжений, снижение деформаций и повышение модуля упругости основания. Приведены сравнительные данные по неармированному и армированному основанию. Представлены результаты, подтверждающие эффективность применения геосинтетиков при капитальном и текущем ремонте пути. Сделаны выводы о перспективности технологии для скоростного движения.

Ключевые слова: устойчивость пути, рельсовый стык, геосинтетики, армирующая прослойка, геотекстиль, георешётка, модуль деформации, вертикальные перемещения, реконструкция пути, усиление основания

1. Введение

Железнодорожные пути в зоне рельсовых стыков подвержены усиленному износу и деформациям из-за концентрации динамических нагрузок, возникающих при прохождении подвижного состава. Особенно это проявляется на участках с неоднородными или переувлажнёнными грунтами основания. Потеря устойчивости и геометрии пути в этих зонах требует применения современных технологий усиления, способных обеспечить долговечную и равномерную работу конструкций. В мировой научной литературе армирование основания с помощью геосинтетических материалов признано эффективным методом стабилизации конструкций. Исследования E.S. Palmeira, G. Sharma (Канада), Z. Zhang (Китай) показывают, что геотекстиль и георешётки улучшают перераспределение напряжений, повышают модуль упругости основания и снижают вертикальные перемещения [3,4,6]. В России и СНГ практические исследования велись под руководством С.П. Першина, В.И. Грицыка, Е.С. Ашпица [1,2]. По данным последних, армирование

основания снижает вертикальные перемещения до 30–40% и повышает модуль деформации в 2–3 раза [1,2].

Тем не менее, в условиях скоростного и высокоскоростного движения возникает необходимость конкретного инженерного обоснования применения геосинтетиков в зонах рельсовых стыков. При этом важны как расчётные модели перераспределения напряжений, так и данные натурных наблюдений.

Предмет исследования – воздействие армирующих геосинтетических материалов на устойчивость и прочностные характеристики железнодорожного пути в зонах рельсовых стыков. Цель исследования – обоснование эффективности применения геотекстиля и георешёток для повышения устойчивости пути в стыковых зонах с учётом расчётных и экспериментальных данных.

Задачи исследования:

- оценить влияние геосинтетических прослоек на модуль деформации и вертикальные перемещения;
- выполнить сравнительный анализ армированных и неармированных конструкций;
- разработать рекомендации по выбору типа геосинтетика и схемы его укладки.



2. Материалы и методы

Для оценки эффективности армирования основной площадки под рельсовыми стыками были использованы данные экспериментальных и натурных наблюдений, а также нормативных методик расчёта устойчивости основания. Армирующие прослойки состояли из геотекстиля (плотность ≥ 280 г/м², прочность $\geq 0,8$ кН) и плоских георешёток (разрывная нагрузка ≥ 15 кН, прочность в узлах $\geq 90\%$). Сравнительный анализ выполнялся для трёх вариантов конструкций:

1. неармированное основание;
2. основание с геотекстилем;
3. основание с геотекстилем + георешёткой.

Для оценки деформационных характеристик использовались параметры:

- модуль деформации E (МПа);
- относительная деформация ε ;
- величина вертикальных перемещений.

Полевые испытания опирались на методы, применённые в исследованиях Е.С. Ашпица, С.П. Першина и зарубежных авторов (Zhou M., Sharma H.) [1,4,5]. Расчётные данные включали значения деформации и напряжений в основании при проходе поездов со скоростью до 160 км/ч.

3. Результаты

Результаты анализа представлены в таблице

Тип основания	Модуль E (МПа)	Относительная деформация ε	Снижение перемещений (%)
Неармированное основание	25	0,008	—
Армированное (геотекстиль)	50	0,004	до 30
Армированное (геотекстиль + георешётка)	80	0,0025	до 40

Применение армирующих слоёв позволило в 2–3 раза увеличить модуль упругости основания и снизить вертикальные перемещения на 30–40%. Эти показатели особенно значимы в зонах рельсовых стыков, где деформации способствуют ускоренному износу пути.

4. Обсуждение

Результаты исследования демонстрируют высокую эффективность геосинтетического армирования в зонах рельсовых стыков. Сочетание геотекстиля и георешётки обеспечивает перераспределение напряжений и стабилизацию основания, снижая влияние динамических нагрузок от подвижного состава. Особую значимость технология приобретает на участках с низкой несущей способностью основания, а также в условиях переувлажнённых грунтов [2,10,11]. Применение данной технологии способствует продлению срока службы пути, уменьшению затрат на текущий ремонт и повышению безопасности движения [1,13]. Перспективным направлением является внедрение данной методики в проекты реконструкции скоростных железнодорожных линий с оценкой долгосрочной эффективности и экономической целесообразности. *Иллюстрации и формулы.*

Зависимость относительной деформации основания (ε) от типа применяемого армирования (без армирования, армирование геотекстилем, комбинированное армирование геотекстилем и георешёткой) приведена на рисунке 1. График отражает закономерности уменьшения деформаций в зависимости от прочностных и структурных характеристик армирующих прослоек. На графике – по оси ординат откладывается относительная деформация основания ε , безразмерная величина;

по оси абсцисс — тип конструкции: неармированное основание, армирование геотекстилем, комбинированное армирование.

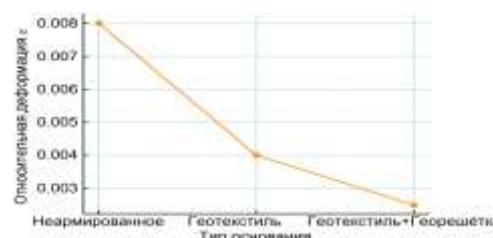


Рис. 1. Зависимость относительной деформации от типа армирования

График демонстрирует снижение относительной деформации ε в зависимости от используемого типа армирования. Применение геотекстиля и особенно комбинированного армирования с георешёткой существенно уменьшает деформации в основании балластного слоя, что повышает устойчивость конструкции в зонах рельсовых стыков. Формула перераспределения напряжений при армировании:

$$\sigma = E * \varepsilon$$

где σ — вертикальное напряжение, возникающее в основании (Па или кПа);

E — модуль деформации основания (МПа);

ε — относительная деформация (безразмерная величина).

Эта формула выражает связь между напряжением и деформацией по закону Гука для упругих оснований. Она применяется при расчётах перераспределения напряжений в армированных слоях.

$$\varepsilon = \Delta l / l_0$$

Δl — абсолютное удлинение или осадка в направлении действия нагрузки (мм); l_0 — первоначальная длина или высота исследуемого слоя (мм).

Формула позволяет количественно оценить степень деформирования слоя под нагрузкой. В сочетании с первым выражением она используется для оценки эффективности армирования при проектировании конструкций усиленного основания. Схема конструкции пути с укладкой геосинтетических материалов на основную площадку приведена на рисунке 2.

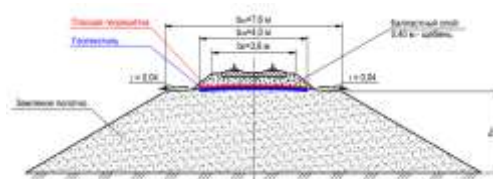


Рис. 2. Поперечный профиль земляного полотна железной дороги с укладкой геосинтетических материалов на основную площадку

5. Заключение

Результаты исследований подтвердили высокую эффективность применения геосинтетических армирующих материалов для повышения устойчивости железнодорожного пути в зонах рельсовых стыков. Применение прослоек из геотекстиля и плоской георешётки обеспечивает значительное снижение деформаций, увеличение модуля упругости основания и перераспределение напряжений от нагрузки подвижного состава.

Установлены количественные зависимости:

модуль деформации основания увеличивается с 25 до 80 МПа при переходе от неармированного к комплексно армированному основанию;

относительная деформация ϵ уменьшается с 0,008 до 0,0025;

вертикальные перемещения сокращаются на 30–40 %, в зависимости от типа армирования.

Эти зависимости подтверждают целесообразность применения геосинтетиков в капитальном и текущем ремонте пути, особенно на слабых и водонасыщенных грунтах [1,2,12]. Рекомендуется включение армирующих слоёв в проекты реконструкции и модернизации участков железнодорожного пути с высокой нагрузкой и скоростью движения [10,11,13,14]. Дальнейшие исследования целесообразно направить на численное моделирование долговременного поведения армированных конструкций под нагрузками до 25 т/ось, а также на разработку нормативных методов расчёта и диагностики армированных зон пути [7,8,9].

Использованная литература / References

- [1] Ашпиз Е.С. Повышение устойчивости основания пути с использованием геосинтетиков // Вестник транспортного строительства. – 2019. – № 4. – С. 32–39.
- [2] Грицык В.И., Колчин В.Г. Влияние геосинтетических прослоек на работу балластного слоя // Путь и путевое хозяйство. – 2021. – № 3. – С. 14–19.
- [3] Palmeira E.M. Performance of geosynthetic-reinforced structures in transport infrastructure // Geotextiles and Geomembranes. – 2009. – Vol. 27. – P. 233–244.
- [4] Sharma H., Zornberg J.G. Influence of geosynthetic reinforcement layout on the performance of ballasted tracks // Geosynthetics International. – 2010. – Vol. 17(3). – P. 157–168.
- [5] Zhou M., Ling H.I. Finite element analysis of geosynthetic-reinforced ballast under cyclic loading // Transportation Geotechnics. – 2015. – Vol. 2(3). – P. 87–101.
- [6] Zhang Z., Qian X., Yang Y. Effect of geogrid reinforcement on the dynamic behavior of railway ballast // Construction and Building Materials. – 2018. – Vol. 163. – P. 216–224.
- [7] Руководство по применению геотекстиля, георешёток и дренажных труб в транспортном строительстве Республики Узбекистан. – Ташкент: Госкомдорстрой РУз, 2023. – 56 с.
- [8] Технологическая инструкция по укладке геотекстиля на основную площадку железнодорожного пути. – М.: ОАО «РЖД», 2021. – 48 с.

[9] Правила технической эксплуатации железных дорог Республики Узбекистан. – Ташкент: АО «Ўзбекистон темир йўллари», 2021. – 112 с.

[10] Lesov K. S., Kenjaliyev M. K., Mavlanov A. Kh., Tadjibaev Sh. M. Stability of the embankment of fine sand reinforced with geosynthetic materials. E3S Web of Conferences. 2021, no. 264, pp. 02011. DOI: 10.1051/e3sconf/202126402011

[11] Лесов К. С., Абдужаббаров А. Х., Кенжалиев М. К. Технология усиления основной площадки земляного полотна в зонах рельсовых стыков с применением геотекстиля // Известия Транссиба. – 2022. – №4 (52). – С. 106 – 114.

[12] Лесов К.С., Бондаренко А.А., Абдужаббаров А.Х., Кенжалиев М.К.-угли. Результаты усиления земляного полотна // Путь и путевое хозяйство. – 2024. – № 9. – С. 18–21.

[13] Lesov, K., Abdужаббаров, A., Kenjaliyev, M., & Mirzakhidova, O. (2024). Techno-economic evaluation of geotextile application as a separation layer and its contribution. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 583, p. 01008).

[14] Лесов, К., Абдужаббаров, А., Кенжалиев, М., & Мирзахидова, О. (2023). Экспериментальные исследования по усилению основной площадки земляного полотна с применением геотекстиля. Сейсмическая безопасность зданий и сооружений, 1(1), 321–325.

Информация об авторах/ Information about authors

Мирзахидов а Озода Мирабдуллаевна Базовый докторант кафедры «Инженерия железных дорог». Ташкентский государственный транспортный университет (ТГТРУ). Тел.: +99 (897) 443-14-11. E-mail: ozoda_27@mail.ru <https://orcid.org/0000-0001-6247-1869>

Лесов Кувандик Сагинвич Кандидат технических наук, профессор кафедры «Инженерия железных дорог». Ташкентский государственный транспортный университет (ТГТРУ). Тел.: +99 (871) 299-03-80. E-mail: kuvandik@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-9434-0713>

Уралов Акмал Шакар угли Базовый докторант кафедры «Инженерия железных дорог». Ташкентский государственный транспортный университет (ТГТРУ). Тел.: +99 (899) 817-43-12. E-mail: akmaljonorolov1928@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-6124-5250>

Кенжалиев Мухамедали Казбек угли Кандидат технических наук (Ph.D) доцент кафедры «Инженерия железных дорог». Ташкентский государственный транспортный университет (ТГТРУ). Тел.: +99 (871) 299-03-52. E-mail: mkenjaliyev@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-6124-5250>

Leak detection methods on main pipelines

Z.V. Kakharov¹, I.B. Purtseladze¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This article discusses methods for detecting leaks on main pipelines. The purpose of this work is to review up-to-date information on leak detection methods on main pipelines, classification according to several criteria, according to the principle of operation, according to the method of recognition and responsiveness. An overview of existing leak detection methods, the negative pressure wave method, the volume balance method in comparison of the volume of a substance entering the system, the pressure profile analysis method, and monitoring of changes in pressure inside the pipeline in different sections are considered.

Keywords: pipeline, leakage, corrosion, mechanical damage, improper operation, natural phenomena.

Методы обнаружения утечек на магистральных трубопроводах

Kakharov Z.V.¹, Purtseladze I.B.¹

¹Ташкентский государственный транспортный университет. Ташкент, Узбекистан

Аннотация: В данной статье рассмотрены методы обнаружения утечек на магистральных трубопроводах. Целью данной работы является обзор актуальной информации о методах обнаружения утечек на магистральных трубопроводах, классификация по нескольким критериям, по принципу действия, по способу распознавания и оперативности реагирования. Рассмотрены обзор существующих методов обнаружения утечек, метод негативной волны давления, метод объёмного баланса в сравнении объёма вещества, входящего в систему, метод анализа профиля давления, мониторинг изменений, давления внутри трубопровода на разных его участках

Ключевые слова: трубопровод, утечка, коррозия, механический повреждения, неправильное эксплуатация, природные явления

1. Введение

Магистральные трубопроводы являются важными элементами инфраструктуры современного мира. Они обеспечивают транспортировку нефти, природного газа, газового конденсата, метанола и сопутствующих продуктов на большие расстояния. Однако, эксплуатация трубопроводов не лишена рисков, в частности, связанных с утечками, которые могут иметь серьезные экономические, экологические последствия.

Актуальность. Утечки на магистральных трубопроводах могут быть вызваны различными причинами: коррозией, механическими повреждениями, неправильной эксплуатацией, природными явлениями или человеческим фактором. Несанкционированный выпуск транспортируемого продукта может привести к загрязнению окружающей среды, а также привести к значительным финансовым потерям. Развитие и внедрение систем обнаружения утечек подчёркивает важность своевременной локализации аварий. Данные системы позволяют определять и локализовать утечки на ранней стадии, минимизируя тем самым ущерб и повышая безопасность эксплуатации трубопроводных систем. Применение СОУ дает такие преимущества, как уменьшение вероятности крупных инцидентов за счет оперативного реагирования на проблему, экономию на возможных экологических штрафах, а также своевременному выявлению более серьёзных дефектов трубопровода. Разработка и усовершенствование методов обнаружения утечек требуют применение знаний из таких областей, как физика, математика, информатика, экология. Современные исследования в

области обнаружения утечек нацелены не только на повышение точности и скорости реакции, но и на интеграцию систем в технологический процесс управления трубопроводами.

Цель исследования. Целью данной работы является обзор актуальной информации о методах обнаружения утечек на магистральных трубопроводах.

2. Классификация методов обнаружения утечек

Утечка транспортируемого вещества может значительно повлиять как на состояние трубопровода, так и на окружающую среду в зоне разгерметизации, где возможен выброс продукта. К происходящим изменениям относятся снижение давления и изменения в скорости потока, возникновение звуковых шумов, а также изменения в потреблении энергии компрессорными установками. Эти факторы могут серьезно затронуть эффективность работы трубопроводной системы.

Методы обнаружения утечек магистральных трубопроводов можно классифицировать по нескольким критериям, что позволяет систематизировать их по принципу действия, способу распознавания и оперативности реагирования.

Одним из критериев классификации является тип работы трубопровода, который может быть статическим или динамическим. В статических методах для выявления утечек используется мониторинг статического состояния трубопровода. Динамический

метод требует постоянного анализа работы всей системы, что позволяет выявить возможные аномалии в потоках перекачиваемых веществ.

Другой важной категорией являются методы обнаружения утечек, основанные на использовании стационарных устройств, установленных в ключевых точках системы, или устройств, совершающих динамическое движение вдоль трубопровода, что позволяет проводить детальную диагностику внутренних поверхностей.

По периодичности применения выявляются методы, предполагающие постоянный анализ параметров трубопровода, и методы, работающие по циклическому графику проверок.

Методы также различаются на те, что основаны на физических принципах и математическом моделировании. К ним относят метод оптимального баланса, анализ давления в системе, акустические методы, при которых анализируются звуковые волны, возникающие в результате утечки.

Методы обнаружения так же разделяют по способу контроля оператором. Активные методы требуют прямого участия оператора при внесении изменений в условия работы трубопровода для идентификации утечек. Пассивные методы основаны на постоянном сборе и анализе данных о состоянии трубопровода без активных действий со стороны оператора. Косвенные методы включают те, которые анализируют показатели, не связанные напрямую с потерями продукта, например, температурные изменения, в то время как прямые методы основаны на фиксации фактической потери перекачиваемого сырья.

3. Обзор существующих методов обнаружения утечек

Существует множество способов выявления утечек, далее приведены некоторые из наиболее известных методов.

1. Метод негативной волны давления (волновой метод) основан на реакции системы на появление волны давления, которая возникает при утечке. Данная волна распространяется по трубопроводу в обоих направлениях от места утечки, и с помощью датчиков давления, расположенных вдоль трубопровода, можно заметить эту волну. Время прохождения волны и изменение давления помогают вычислить местоположение разрыва. Преимуществами метода негативной волны давления, по сравнению с остальными методами, являются скорость и точность обнаружения утечки, особенно на больших расстояниях и в больших системах. Однако данный метод требует наличие статистического анализа данных для фильтрации вибраций или шумов, которые могут быть приняты за утечку.

2. Метод объёмного баланса заключается в сравнении объёма вещества, входящего в систему, с объёмом вещества, выходящим из системы. При наличии утечки фиксируется дисбаланс между этими двумя показателями. Метод требует точности измерений и хорошо работает при достаточно больших утечках, когда дисбаланс легче выявить. Преимуществами метода объёмного баланса являются простота и универсальностью, поскольку его можно применять в различных системах без необходимости

сложного дополнительного оборудования. Однако его основной недостаток заключается в невысокой чувствительности к малым утечкам и задержкам в обнаружении, так как изменения в объёмном балансе станут заметны лишь после накопления определённого количества потерянного вещества.

3. Метод анализа профиля давления представляет собой мониторинг изменений давления внутри трубопровода на разных его участках для создания "нормального" профиля давления. Исходя из этого профиля, система может обнаруживать аномалии, указывающие на потенциальные утечки. Метод эффективен в системах с переменными режимами работы и может использоваться для раннего обнаружения мелких утечек. Преимуществами метода анализа профиля давления является способность выявлять утечки на ранних стадиях, благодаря чувствительности к минимальным изменениям давления, так же данный метод подходит для сложных условий эксплуатации трубопроводов. Тем не менее, чтобы метод работал эффективно, требуется точно установленный профиль давления, что может быть затруднительным, и он также может выдавать ложные срабатывания вследствие изменений рабочих условий или внешних факторов.

Данные методы часто применяют в комбинации для повышения точности обнаружения утечек, учитывая, что каждый имеет свои сильные и слабые стороны в зависимости от конкретных условий эксплуатации системы.

4. Заключение

Рассмотренные методы имеют свои преимущества и недостатки, и их совместное применение позволяет уменьшить отдельные ограничения и повысить общую надёжность системы мониторинга. Комплексный подход увеличивает вероятность своевременного обнаружения утечек, что является важным для безопасности, надёжности и эффективности использования магистральных трубопроводов.

Использованная литература / References

- [1] Абрамов Н.Н. Теория и методика расчётов систем подачи и распределения воды.- М.: Стройиздат, 1972, -268 с.
- [2] Бахрамов У. Исследование информации о нагрузках систем ПРВ и формы её использования. «Вопросы вычислительной и прикладной математики», вып. 64, Ташкент, 1981. с.
- [3] Бабков А.В., Попадью В.Е. Системы обнаружения утечек жикости на магистральных нефтепроводах.— Автоматизация, телемеханизация и связь с газовой промышленности. – М: ИРЦ Газпром, 2002. - 41.
- [4] Гольянов А. А. Анализ методов обнаружения утечек на нефтепроводах // Транспорт и хранение нефтепродуктов. 2002. Вып. 10–11. С. 5–14
- [5] Жилин, А.А. Системы и методы обнаружения утечек на магистральных трубопроводах / А.А. Жилин, О.А. Коркишко // Том Часть 1. – Вологда: ООО "Маркер", 2017. – С. 37-39.

[6] Каримов Р.Х. Определение параметров станций регулирования систем подачи и распределения водного материала. - М.: МДНТ11, 1980. с.77-80.

[7] Kakharov Z. Mechanisms of the processes of shear, slice, general compression and expansion of mass //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – Т. 402. – С. 12007.

[8] Kakharov Z., Yavkacheva Z. Determination of the bearing capacity of a building and structures of energy facilities //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – Т. 371.

[9] Кахаров З. В., Эшонов Ф. Ф., Козлов И. С. Определение значений энергетических констант материалов при дроблении твердых тел // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2019. – Т. 16. – № 3. – С. 499-504.

[10] Кахаров З. В., Эшонов Ф. Ф. Изменение состава веществ (материалов) в производстве //Научный журнал. – 2019. – № 3 (37). – С. 22-23.

[11] Kakharov Z.V. et al. Requirements for the superstructure of the track on high-speed railways //Eurasian Union of Scientists. – 2021. – no. 4-1. - P. 45-48.

[12] Мишкин, Г.Б. Классификация систем обнаружения утечек на магистральных трубопроводах нефти, газа и нефтепродуктов / Г.Б. Мишкин. // Молодой ученый. – 2010. – № 11 (22). – Т. 1. – С. 56-58.

[13] Umar Chorshanbiev, Ahmadjon Ibadullaev, Durdona Toshpulatova, Askar Babaev and Bahadir Kakharov. Modification of dispersed systems and its effect of the internal corrosion of hydrotransports. E3S Web Conf., 383 (2023) 04032.

[14] Чепурной И.В. Системы обнаружения утечек на нефтегазовых трубопроводах /Достижения науки и технологий-ДНТ-11-2023. Сб. научных статей II Всерос. науч. конф. — Красноярск: ОУ ККДНТ, 2023. — С. 168–171.

Информация об авторах/ Information about the authors

Кахаров Зайтжан Васидович Доцент кафедры «Инженерия железных дорог» Ташкентский государственный транспортный университет. Ташкент, Узбекистан,
E-mail: zumi1525@mail.ru

Пурцеладзе Ирина Борисовна Старший преподаватель кафедры «Инженерия железных дорог» Ташкентский государственный транспортный университет. г.Ташкент Узбекистан
E-mail: ipurseladze022@gmail.com

Development of mobile structures to protect railway tracks from rockfall

A.Kh. Abdujabbarov¹, M.Kh. Mekhmonov¹

¹Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: The article develops the design of a mobile protective structure depending on the trajectory of the stones to protect the railway track from stones. The use of mobile protective structures chosen to protect the railway track from external influences is justified, taking into account the trajectory, flight range, height of falling stones from the mountain and the value of impact dynamic forces arising from a collision with the structure. Also, various designs of mobile protective structures are presented, while taking into account the possibility of moving structures from an inactive rockfall site to an active one and obtaining lower costs from an economic point of view.

Keywords: Difficult condition, earth bed, railway, trajectory of falling stones, mountain stones, mobile protective structures, range of flight of stones, height of falling stones, reinforced concrete pile, reinforced concrete boxes, rockfall.

Temir yo'l iziga tog' toshlari tushishidan himoya qiluvchi mobil inshootlarni ishlab chiqish

Abdujabbarov A.X.¹, Mehmonov M.H.¹

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Аннотация: Maqolada temir yo'l izini toshlardan himoya qilish uchun toshlarning traektoriyasiga bog'liq holatda mobil himoya inshootining konstruksiyasi ishlab chiqilgan. Temir yo'l izini tashqi ta'sirlardan himoya qilish uchun tanlangan mobil himoya inshootlari tog'dan tushadigan toshlarning traektoriyasi, uchush uzog'ligi, tushish balandligi, konstruksiyaga urilishidan hosil bo'ladigan zarbali dinamik kuchlarning qiymatlarini e'tiborga olgan holda qabul qilinishi asoslangan. Shuningdek mobil himoya inshootlarining turli xildagi konstruksiyasi keltirib o'tilgan bo'lib, bu konstruksiyalar tosh tushishi faol bo'lmagan joydan faol bo'lgan joyga ko'chirish imkoniyati mavjudligi va ko'chirish jarayonida iqtisodiy jihatdan sarf-xarajatlari kam bo'lishi e'tiborga olingan.

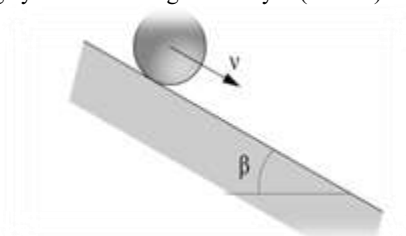
Калит сўзлар: murakkab sharoit, yer polotnosi, temir yo'l, toshlarni tushish traektoriya, tog' toshlari, mobil himoya inshootlari, toshlarning uchish uzoqligi, toshlarning tushish balandligi, temirbeton qoziq, temirbeton qutilar, tosh tashlanmasi.

1. Kirish

Murakkab shart-sharoitlarda temir yo'l izini xavfsizligini ta'minlash dolzarb muammolardan biri bo'lib hisoblanadi. Temir yo'llarning xavfsiz va ishonchli ishlashini ta'minlash uchun vertikal va gorizontal egri chiziqlarning radiuslari oshirish va yo'llarni to'g'ri qismini ko'paytirishni talab qiladi. Tog' yon bag'rlaridan o'tgan temir yo'llarni xavfsizligini ta'minlash birinni navbatda tosh ko'chkilaridan temir yo'l inshootlarini asrash asosiy masala bo'lib qolmoqda. Tosh ko'chkilardan asrash uchun himoya inshootlarini ishlab chiqish va ularni iqtisodiy jihatdan arzon variantini tanlash asosiy maqsadlardan biri bo'lishi kerak. Tosh ko'chkilaridan himoya qilish inshootlarining geometrik o'lchamlari va shakli birinchi navbatda tushayotgan toshning traektoriyasiga bog'liq bo'lib quyida keltirib o'tilgan vaziyatlarni ko'rib chiqamiz. Tosh tushishi gravitatsion geologik jarayonlarga taaluqli bo'lib - yer yuzasini tortishish ta'sirida o'zgartirish jarayonlarini anglatadi. Tog' jinslarining qulash jarayoni - qiyalik jarayonlarining bir turidir [1].

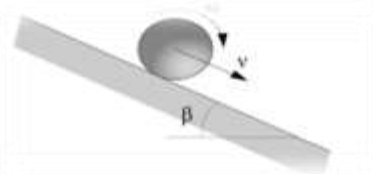
Mavzuning dolzarbligi. Temir yo'l inshootlariga tosh tushishi asosan harakat xavfsizligi bilan bog'liq bo'lgan

tashqi ta'sir hisoblanadi. Toshlarning tog' yonbag'irlaridan harakatlanib temir yo'l iziga tushishi turli traektoriya bo'ylab hosil bo'ladi. Toshlarning bu harakatlanishi sirt bo'ylab turli xildagi ishqalanishlarni hosil qiladi. Asosan temir yo'l iziga tushadigan toshlar sirpanish, dumalanish va sakrash natijasida traektoriyalar hosil qiladi. Sirpanish bu tezlanish bilan va qiyalik yuzasiga parallel ravishda berilgan traektoriyali harakatdir. Ushbu ko'rinishdagi harakat bilan toshning aylanishi e'tiborga olinmaydi (1-rasm).



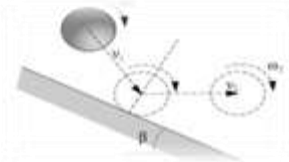
1-rasm. Toshni qiyalikdan pastga siljishi

Aylanish bu tog' toshlarini aylanma xarakatini hisobga olgan holda, qiyalik yuzasiga parallel ravishda tezlanish bilan harakatidir (2-rasm).



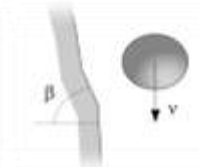
2-rasm. Qiyalik bo'ylab toshning aylanma harakatlanishi

Toshning sakrashi bu o'zaro ta'sirining normal va tangensial kuchlarining bosqichma-bosqich susayishi bilan o'tadigan tosh va qiyalik yuzasining o'zaro ta'siri sifatida modellashirilgan tosh harakatining bir ko'rinishidir (3-rasm).



3-rasm. Toshning sakrab xarakatlanish traektoriyasi

Toshning erkin tushishi bu qiya tekislik bilan aloqa qilmasdan vertikal traektoriya bo'ylab tezlanish bilan harakatlanishidir (4-rasm) [2].



4-rasm. Tog' toshlarining erkin tushish traektoriyasi

Yuqorida ko'rib chiqilgan toshlarning xarakatlanish traektoriyasiga qarab himoya inshootlari ishlab chiqiladi. Yer polotnosi va temir yo'l yuqori qismini tog' toshlari bosib qolish natijasida poezdlarning xarakat xavfsizligi va xarakatlanish grafigiga ta'sir o'tgazib qolmay, yer polotnosidagi turli xil deformatsiyalarni paydo qiladi (5-rasm).



5-rasm. Temir yo'l izini tog' toshlari bosib qolishi

Temir yo'lni tog' toshlari tushishidan asrash uchun ximoya inshootlarini ishlab chiqish hozirgi kunda dolzarb bo'lib kelmoqda. Temir yo'lni tog' toshlari tushishidan asrash uchun ximoya inshootlarning asosiy avzalliklari ularni joyning ehtimoliy sharoitlarini o'zgarishini e'tiborga olib kuchaytirish yoki ko'chirish imkoniyati mavjudligi bilan belgilanadi.

2. Materiallar tahlili

Tosh tushishidan himoya qilish tizimining mahalliy va xorij tadqiqotlari asosida tosh parchalari bilan o'zaro ta'sirlashish usuli bo'yicha himoya inshootlarining quyidagi tasnifi shakllantirilgan:

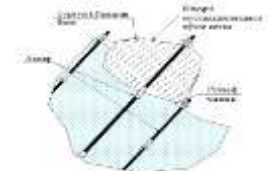
1. Ushlab turuvchi inshootlar:

- gruntlarni nurash va to'kilishdan saqlash uchun mo'ljallangan qoplama devorlar;
- qoyatosh qiyaliklarida (nishabliklarda) qoyatosh bloklarini mustahkam massivlarga mahkamlash orqali mustaqil ushlab turuvchi inshoot sifatida foydalaniladigan ankerli mahkamlagichlar.

2. Tutib qoluvchi inshoot va qurilmalar – devorlar, gabionlar, to'rlar, vallar, transheyalar, egiluvchan to'siqlar.

3. Temirbetondan tayyorlangan yoki egiluvchan to'siq ko'rinishidagi ko'chkiga qarshi galereyalar. Ilgari imkonsiz yoki xaddan tashqari ko'p sarf-xarajatli deb hisoblangan uchastkalarda ham himoyani ta'minlash imkonini beruvchi tosh tushishiga qarshi egiluvchan to'siqlar ko'rinishidagi tutib qoluvchi qurilmalarni alohida ajratib ko'rsatish mumkin Hozirgi kunda temir yo'lni tosh tushishidan himoya qiluvchi mavjud inshootlar quyidagilar: qiyalik (nishablik) relefi o'zgarishining imkoni bo'lmaganda yoki iqtisodiy jixatdan maqsadga muvofiq bo'lmagan xolatlarda gruntlarning siljishi, o'pirilishi, ko'chishi va ag'darilishini bartaraf etishni ko'zda tutuvchi ushlab turuvchi inshootlar (6-rasm).

a)



b)

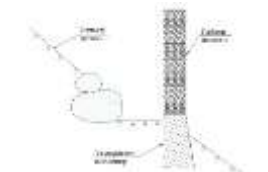


6-rasm. Turg'un bo'lmagan blokni yuqori mustahkamlikka ega to'r yordamida anker bilan mahkamlash

a) inshoot sxemasi; b) umumiy ko'rinishi

Ob'ektlarni to'kilma, tosh ag'darilishi, qoyatosh parchalari tushishi ta'siridan himoya qilishni ko'zda tutuvchi ushlab qoluvchi inshoot va qurilmalar (gabionlar) 7-rasmda keltirib o'tilgan.

a)



b)



7-rasm. Gabionlardan hosil qilingan himoya inshooti. a) inshoot sxemasi; b) umumiy ko'rinishi

Murakkab sharoitda temir yo'l izini tosh tushishidan himoya qilish asosiy muammolardan biri sanaladi. Belgilangan davr ichida yo'lning ishonchli ishlashini ta'minlash maqsadida yer polotnosi va yo'l ustki qurilmasi elementlarini tashqi kuchlar ta'siridan himoya qilish zarur. Yuqorida ko'rib chiqilgan temir yo'l izini tosh tushishidan himoya qiluvchi mavjud inshootlar toshning hajmi, massasi

va harakat traektoriyasiga bog'liq ravishda tanlanadi. Bir joydan ikkinchi joyga kam harajat bilan ko'chirish imkonining yo'qligi va foydalanish davrida himoya inshootini joyning ehtimoliy o'zgarib ketishi oqibatida bu himoya inshootlarini kuchaytirish dolzarb muammolardan biri hisoblanadi. Chunki kuchaytirish jarayonida toshlarning faol bosimiga qarshilik qiluvchi mavjud inshootning poydevorlarini amaliy jixatdan kuchaytirish imkoniyati mavjud emas.

Temir yo'l izlarini tosh ko'chkilaridan asrash uchun toshning xarakatlanish traektoriyasiga qarab himoya inshootining balandligi belgilanadi. Bu balandlikni vaqt o'tishi bilan o'zgartirish kerak bo'lsa eksperimental yoki modelli tadqiqotlar orqali aniqlab himoya inshootini o'zgartirish kerak bo'ladi.

Mobil himoya inshootlaribir joydan ikkinchi joyga kam xarajat bilan ko'chirish imkoniyati mavjud bo'lgan inshootlar tushiniladi [3].

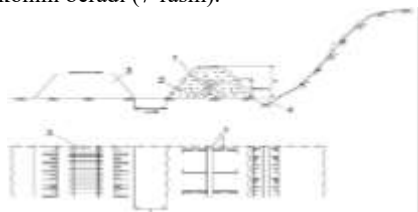
Taklif etilayotgan mobil to'siq inshootlari quyidagi xususiyatlarga ega bo'lishi lozim:

1. Mavjud inshootlar bilan solishtirganda ancha arzon bo'lishi;

2. Yo'ldagi o'zgaruvchan sharoitlar xisobiga quvvatini oshirish imkoniyatiga ega bo'lishi;

3. Ushbu inshootlardan foydalanish va ularni ko'chirish texnologiyasi eng kam qo'l mehnati talab etib texnologik jihatdan oddiy bo'lishi lozim.

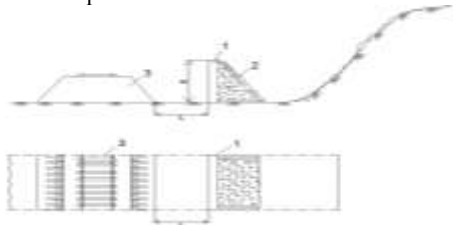
Himoya inshootini o'zgartirish uchun biz tavsiya qilayotgan mobilni inshootdan foydalanish sarf xarajatlarni tejaj imkonini beradi (7-rasm).



7-rasm. Toshtashlanma bilan "X simon" (yejeব্যু) mustahkamlashni konstruktiv sxemasi

1 – temirbeton "yeji", 2 – tosh va chaqirtosh bilan mustahkamlash, 3 – temir yo'l yer polotnosi, 4 – toshlarni yig'ish uchun chuqur

Temirbeton qoziqlar bilan kuchaytirilgan va chaqirtoshdan tayyorlangan tosh tashlanmalari (8-rasm) arzon muhandislik inshooti va oson ko'chuvchi mobil inshoot hisoblanib temir yo'lni saqlashda ishonchli himoya bo'lib xizmat qiladi.

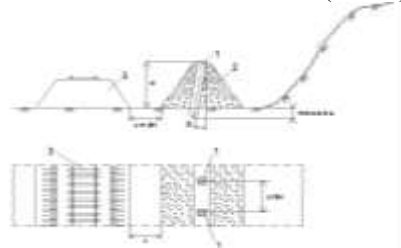


8-rasm. Tosh tashlanmalari bilan temirbeton qutilarning qo'llanilishini konstruktiv sxemasi

1 – temirbeton qutilar, 2 – tosh tashlanmasi, 3 – temir yo'l yer polotnosi

Zarur holatlarda uzun qoziqlar qoqib mustahkamlovchi qatlamning balandligi va kengligi bo'yicha konstruksiyani kuchaytirish mumkin buning natijasida tosh tushishini oldi olinadi bu orqali esa temir yo'l yer polotnosini

deformatsiyalanish darajasi kamayadi, temir yo'l ustki va ostki qurilmalarini xizmat muddati ortadi (9-rasm).



9-rasm. Qoziq qoqish bilan mustahkamlovchi qatlamni konstruktiv sxemasi

1 – temirbeton qoziqlar, 2 – tosh va chaqirtosh bilan mustahkamlash, 3 – temir yo'l yer polotnosi

Mobilni himoya inshootining asosiy parametrlari vaqt o'tishi bilan o'zgartirish imkoniyati bo'lib, deformatsiyalangan qismini kam sarf-xarajat bilan qayta tiklash imkoniyati mavjud.

3. Xulosa

1. Murakkab sharoitlardan o'tgan temir yo'llarni tosh ko'chkilaridan asrash uchun mobil himoya inshootlari resurstejamkor texnologiyalar asosida ishlab chiqilgan.

2. Tosh tushishi faol bo'lmagan joydan faol bo'lgan joyga kam xarajat bilan ko'chirish imkonini beradigan mobil himoya inshootining konstruktiv sxemalari keltirib o'tilgan.

3. Temir yo'lga tushadigan tog' toshlarining fizik xususiyatlarini (xarakatlanish traektoriyasi) e'tiborga olgan holda mobil himoya inshootlarini konstruksiyasini tanlash imkonini mavjudligi asoslangan.

Foydalanilgan adabiyotlar/ References

- [1] Korolyov V. A. Injenernaya zashchita territoriy i sooruzheniy: ucheb. posobie / V. A. Korolyov. – M. : ID KDU, 2013. – 470 s.
- [2] Marinichev M. B., Makusheva A. V. Zashchita territoriy ot kamnepadnykh protsessov. Uchebnoe posobie. Krasnodar-2017.
- [3] Abdujabarov A.X., Mexmonov M.X. Mobilnye kamnezashchitnye sooruzheniya na jeleznykh dorogax // Materialy mejdunarodnoy konferensii "Aktualnye problemy sovremennoy nauki i innovatsiy v sentralno-Aziatskom regione" – Jizzax. 26 sentyar 2020 g. S. 54-57.

Muallif to'g'risida ma'lumot / Information about the authors

- Abdujabarov Abduxamit Xalilovich** Toshkent davlat transport universiteti, "Temir yo'l muhandisligi" kafedrası professori,
E-mail: a.abdujabarov@mail.ru
Tel.: +998909345796
<https://orcid.org/0009-0000-7669-9602>
- Mehmonov Mashhurbek Husen o'g'li** Toshkent davlat transport universiteti, "Temir yo'l muhandisligi" kafedrası dotsenti, t.f.f.d. (PhD), dotsent
E-mail: m.mehmonov90@mail.ru
Tel.: +998943621900
<https://orcid.org/0000-0002-1230-5552>



Properties of geopolymer concrete using fly ash

A.T. Ilyasov¹, A.K. Nazibekov², B.T. Azirbaev¹

¹Karakalpak State University, Karakalpakstan, Uzbekistan

²Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This study provides details on the development of a process for the preparation of fly ash based geopolymer concrete. One of the components of geopolymer is the starting material. Starting materials are materials containing silicon and aluminium, such as fly ash, ground granular blast furnace slag, silica, metakaolin, rice husk ash and others. Many studies use fly ash as the starting material. Fly ash serves as an artificial pozzolan. The aim of the study is to determine the main parameters affecting the properties of fly ash based mix and geopolymer concrete.

Keywords: Geopolymer concrete, compressive strength, fly ash, aggregates, alkaline liquid.

Tarkibida uchuvchan kul ishlatilgan geopolimer betonning xossalari

Ilyasov A.T.¹, Nazibekov A.K.², Azirbaev B.T.¹

¹Qoraqalpogʻ davlat universiteti, Qoraqalpogʻiston, Oʻzbekiston

²Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, Oʻzbekiston

Annotatsiya: Ushbu tadqiqotda uchuvchan kul asosida geopolimer beton tayyorlash jarayonini ishlab chiqish boʻyicha batafsil maʼlumotlar keltirilgan. Geopolimerning tarkibiy qismlaridan biri boshlangʻich materialdir. Boshlangʻich materiallar - tarkibida kremniy va alyuminiy boʻlgan materiallar, masalan, uchuvchan kul, maydalangan donador domna shlaki, kremnezem, metakaolin, sholi qobigʻi kuli va boshqalar. Koʻpgina tadqiqotlarda dastlabki material sifatida uchuvchan kul ishlatiladi. Uchuvchan kul esa sunʼiy putssolan vazifasini bajaradi. Tadqiqotning maqsadi uchuvchan kul asosidagi qorishma va geopolimer beton xossalriga taʼsir etuvchi asosiy parametrlarni aniqlashdan iborat.

Kalit soʻzlar: Geopolimer beton, siqilishga mustahkamlik, uchuvchan kul, toʻldiruvchilar, ishqorli suyuqlik

1. Kirish

“Geopolimer betonlar” anʼanaviy betonlarni almashtirish yoki toʻldirish orqali ekologik barqaror qurilishning muhim elementini shakllantirish potentsialiga ega boʻlgan noorganik polimerlar asosidagi kompozitlardir. Geopolimerli betonda geopolimer bogʻlovchi (bizning holatda uchuvchan kul) strukturaviy mustahkamlikka erishish uchun kremnezem va glinozemning polikondensatsiyasidan foydalanadi. Beton konstruksiyalarida portlandsementdan foydalanish sement ishlab chiqarishda atmosferaga koʻp miqdorda karbonat angidrid ajralib chiqishi sababli sementga nisbatan kamroq uglerod iziga ega boʻlgan muqobil bogʻlovchi modda topish muhimdir. Sementning qisman yoki toʻliq oʻrni bosuvchi yaratilgan bogʻlovchi moddalar “geopolimer” nomini oldi. Geopolimer beton - bogʻlovchi sifatida portlandsement ishtirokini talab qilmaydi. Buning oʻrniga, kremniy (Si) va alyuminiyga (Al) boy boʻlgan uchuvchi kul kabi dastlabki materiallar bogʻlovchi olish uchun ishqoriy suyuqliklar bilan faollashtiriladi. Shunday qilib, portlandsementsiz beton olinadi. Oddiy portlandsement yoki putssolan sementlardan farqli oʻlaroq, geopolimer matritsa va mustahkamlikni shakllantirish uchun kalsiy-kremnezem-gidratlarni hosil qilmaydi, ammo geopolimerlashda hosil boʻlgan alyumosilikatli gel toʻldiruvchini bogʻlaydi va geopolimer betonning mustahkamligini taʼminlaydi. Dastlabki materiallar va ishqoriy suyuqliklar geopolimerning ikkita asosiy tarkibiy qismi boʻlib, uning mustahkamligi

materiallarning tabiati va suyuqlik turiga bogʻliq. Asosan kremniy (Si) va alyuminiy (Al) ni amorf shaklda oʻz ichiga olgan har qanday material geopolimer ishlab chiqarish uchun mumkin boʻlgan boshlangʻich material hisoblanadi. Dastlabki materiallar sifatida metakaolin yoki kuydirilgan kaolin, tabiiy Al-Si minerallari, qizdirilgan minerallar va kalsiylanmagan materiallarning kombinatsiyasi, uchuvchan kul va metakaolinning kombinatsiyasi va maydalangan domna shlaki va metakaolinning kombinatsiyasi ishlatilishi mumkin. Metakaolin reaktiv eritmasida erish tezligining yuqoriligi, Si/Al nisbatini nazorat qilish osonligi va oq rangi tufayli tokchali geopolimer mahsulotlarini ishlab chiquvchilar tomonidan afzal koʻriladi. Biroq, koʻplab beton ishlab chiqarish uchun metakaolin juda qimmat. Past kalsiyli (ASTM F sinfi) uchuvchan kul, yuqori kalsiyli (ASTM C sinfi) uchuvchan kulga nisbatan, boshlangʻich material sifatida afzalroqdir. Yuqori molekulalar gel shaklida kondensatsiyalanadi va zarrachalar sirtiga ishqoriy taʼsir koʻrsatadi, soʻngra katta teshiklarga kengayadi. Bu jarayon natijasida, mayda zarrachalar - boʻsh yoki qisman boshqa, yanada maydaroq kullar bilan toʻldirilgan - tashqaridan ichkariga va ichkaridan tashqariga ikki tomonlama ishqoriy taʼsirga uchraydi. Shu sababli, reaksiya mahsulotlari sferik qobiq ichida ham, tashqarisida ham hosil boʻladi va bu jarayon kul zarrachasi toʻliq yoki deyarli toʻliq sarflanguncha davom etadi.

2. Materiallar metod

a. Uchuvchan kul

Uchuvchan kulning miqdori geopolimerni faollashtirish jarayonida muhim ahamiyatga ega. Yuqorida ta'kidlanganidek, geopolimer betonning mustahkamligi uchuvchan kulning miqdori ortishi bilan kuchayadi. Shuningdek, uchuvchan kulning yuqori darajadagi maydaligi qizdirish muddatining dastlabki bosqichlaridayoq ishlov berish qobiliyati va mustahkamlikning yuqori bo'lishini ta'minlaydi. Shu sababli, geopolimer beton uchun qorishma nisbatlarini ishlab chiqishda asosiy e'tibor uchuvchan kulning miqdori va maydaligiga qaratiladi.

b. Alkanin faollashtiruvchilari

Uchuvchan kul asosidagi geopolimer betonlarni faollashtirish uchun natriy gidroksid va natriy silikat eritmalarining qorishmasi qo'llaniladi. Geopolimer betonning siqilishga bo'lgan mustahkamligi yangi qorishmaning qovushqoqligi ortishi bilan natriy gidroksid va/yoki natriy silikat eritmasi konsentratsiyasining ko'payishi natijasida oshishi kuzatilgan. Natriy gidroksid eritmasi konsentratsiyasining molyarlik (M) bo'yicha ortishi betonning siqilishga bo'lgan mustahkamligini oshiradi, ammo uni mo'rtroq qiladi. Natriy silikat suv shishasi yoki suyuq shisha deb ham ataladi va u suyuq (gel) ko'rinishda mavjud bo'ladi. Tadqiqotda Na_2O va SiO_2 o'rtasidagi nisbati 2,0 ga teng bo'lgan natriy silikat ishlatilgan. Geopolimer beton tayyorlashda bog'lovchi modda sifatida natriy silikat qo'llaniladi. Odatda, natriy gidroksid qattiq holatda granularlar va bo'lakchalar ko'rinishida ishlab chiqariladi.

Natriy gidroksidning narxi moddaning tozalik darajasiga qarab o'zgarib turadi. Geopolimer betonimiz bir jinsli material bo'lganligi va uning asosiy jarayoni natriy silikatni faollashtirishdan iborat bo'lgani uchun, eng arzon narxdagi, ya'ni tozaligi 94% - 96% gacha bo'lgan natriy gidroksiddan foydalanish maqsadga muvofiq.

c. **Suv.** Kimyoviy reaksiyada polimerlanish jarayonida suv qorishma dan ajralib chiqadi. Geopolimer qorishmasida suvning vazifasi betonni plastik holatda ishlov beriladigan qilish bo'lib, qotgan holatda uning mustahkamligini oshirishga xizmat qilmaydi. Shuningdek, bir xil ishlov berish darajasida boshlang'ich materialning maydaligi ortishi bilan suvga bo'lgan ehtiyoj ham ko'payadi. Demak, ishlov berish darajasi, uchuvchi kulning maydaligi va mayda to'ldiruvchining gradatsiyasiga qarab kerakli ishlov berish darajasiga erishish uchun zarur bo'lgan suvning minimal miqdori tanlanadi.

d. To'ldiruvchilar

To'ldiruvchilar- bu betonda to'ldiruvchi sifatida qo'llaniladigan va uning hajmining 70-85 foizini tashkil etadigan inert mineral materialdir. Shu sababli, geopolimer beton tayyorlashda mayda va yirik to'ldiruvchilar shunday aralashtiriladiki, beton massasida bo'shliqlar kamroq qoladi. Bunda mayda to'ldiruvchilar saralanib, mayda hamda yirik to'ldiruvchilarning mos nisbatini tanlash orqali erishiladi. Geopolimer betonning ishlov beriluvchanligiga, xuddi sement betonga o'xshab, mayda to'ldiruvchining gradatsiyasi ham ta'sir ko'rsatadi. Shuning uchun, taklif etilayotgan qorishmani proporsiyalash usulida mayda to'ldiruvchining gradatsiyasidan kelib chiqib, mayda va umumiy to'ldiruvchilar nisbati tanlanadi.

1-jadval

Geopolimer beton qorishmalari uchun qorishmani proporsiyalash

Qorishma	To'ldiruvchining umumiy tarkibi (%)	Uchuvchan kul (Kg/m^3)	Yirik to'ldiruvchi (Kg/m^3)		Mayda to'ldiruvchi (Kg/m^3)	NaOH (Kg/m^3)		Na_2SiO_3 (Kg/m^3)
			20 mm	16 mm		granula	suv	
Qorishma 1	74	427	808	435	533	14.7	41.3	141
Qorishma 2	76	394.52	829.92	446.88	547.20	13.6	38.5	129.63
Qorishma 3	78	361.69	851.76	458.64	561.60	12.5	35.05	118.83

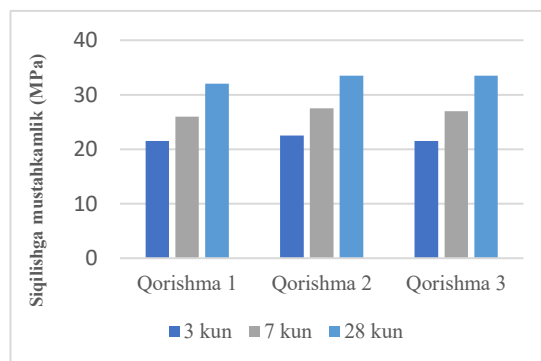
3. Natijalar va muhokama

Geopolimer beton qorishmasi qorishma nisbatlaridan foydalanib tayyorlandi. Uchuvchan kul asosidagi yangi geopolimer beton qovushqoq, bog'lanuvchan, to'q rangli va shishasimon ekanligi aniqlandi. Yangi tayyorlangan geopolimer beton o'z tabiatiga ko'ra qovushqoq bo'lib, polimerlanish jarayonida undan suv chiqib ketadi. So'ngra kublar 70°C haroratda 24 soat davomida termik qotish uchun pechga joylashtirildi. Haroratning keskin o'zgarishini oldini olish maqsadida beton kublar xona haroratigacha sovutiladi. Har bir qorishma uchun to'qqizta kub tayyorlandi va ular 3, 7 hamda 28 kunlik qotish davridan so'ng siqilishga mustahkamlik sinovidan o'tkazildi. Bu yerda sinov davri kublarni pechdan olishdan to' siqilishga mustahkamlik sinovigacha bo'lgan vaqtni anglatadi. 2-jadvalda geopolimer betonning 3, 7 va 28 kunlik qotish davridan keyin har uchala qorishma uchun olingan siqilishdagi mustahkamligi ko'rsatilgan.

2-jadval

Barcha qorishmalarning siqilishdagi mustahkamligi

Qorishmalar	Siqilishga mustahkamlik (MPa)		
	3 kun	7 kun	28 kun
Qorishma 1	21.5	26	32
Qorishma 2	22.5	27.5	33.5
Qorishma 3	21.5	27	33.5



1-rasm. Barcha qorishmalarning siqilishdagi mustahkamligi

Grafik turli qorishmalardan tayyorlangan geopolimer betonning siqilishga bo'lgan mustahkamligini ko'rsatmoqda. 3 kundan keyingi siqilishga bo'lgan mustahkamlik bo'yicha eng yuqori natija 2- qorishma, ya'ni umumiy to'ldiruvchining 76 foizli tarkibi uchun olingan. 7 kundan keyingi siqilishga bo'lgan mustahkamlik bo'yicha ham eng yuqori natija 2- qorishmada qayd etilgan. 28 kunlik yetilish davridagi holatda esa eng yuqori mustahkamlik 2 va 3- qorishmalar, ya'ni umumiy to'ldiruvchining 76 va 78 foizli tarkiblari uchun kuzatilgan. Natijalar shuni aniq ko'rsatadiki, geopolimer betonning mustahkamligi umumiy to'ldiruvchining foiz miqdori ma'lum chegaragacha ortishi bilan ortadi, so'ngra umumiy to'ldiruvchining foiz miqdorini yanada oshirish bilan mustahkamlik yana pasaya boshlaydi. Geopolimer betondagi umumiy to'ldiruvchining foiz miqdorini oshirish betonning qayta ishlanuvchanligini pasaytiradi. Yuqoridagi natijadan ko'rinib turibdiki, 2- qorishma, ya'ni 76% umumiy to'ldiruvchili qorishma, 70 °C haroratda 3 kun, 7 kun va 28 kun davomida siqilishga bo'lgan eng yuqori mustahkamlik qiymatini beradi. Ushbu natija umumiy to'ldiruvchining foiz miqdorini o'zgartirish orqali olindi.

4. Xulosa

Olingan natijalar asosida quyidagi xulosalarga kelishimiz mumkin:

1. Geopolimer beton cho'kish sinovlarida yaroqli bo'lib chiqdi. Ishqorli suyuqliklarning molyar konsentratsiyasi geopolimer betonning ishlash xususiyatlariga ta'sir etmaydi.
2. Biroq, umumiy to'ldiruvchining foiz miqdori oshishi bilan geopolimer betonning ishlash qobiliyati pasayib boradi.
3. Geopolimer beton tarkibidagi umumiy to'ldiruvchining foiz miqdori ma'lum bir chegaragacha oshirilganda, uning siqilishga bo'lgan mustahkamligi ortadi.
4. Ushbu ma'lum chegaradan so'ng (bizning holatda umumiy to'ldiruvchining 74 foizi) umumiy to'ldiruvchining foiz miqdori oshishi bilan mustahkamlik pasayib boradi.

Foydalanilgan adabiyotlar / References

- [1] Pacheco-Torgal, F., Castro-Gomes, J., Jalali, S. "Alkali-activated binders: a review part I, historical background, terminology, reaction mechanisms and hydration products", Construction and Building Materials, 22 (2008), 1305-1314. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.10.015>
- [2] Van Deventer, J. S. J., Provis, J. L., Duxson, P., Lukey, G. C. "Reaction mechanisms in the geopolymeric conversion of inorganic waste to useful products", Journal of Hazardous Material, A139 (2007), 506-513. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.02.044>

[3] Patankar, S.V., Jamkar, S.S., Ghugal, Y.M.: Effect of water-to-geopolymer binder ratio on the production of fly ash based geopolymer concrete. International Journal of Advanced Technology in Civil Engineering, (2013), 2(1), 9-83. <http://dx.doi.org/10.13140/2.1.4792.1284>

[4] Lloyd N.A and Rangan.B.V. "Geopolymer Concrete with Fly Ash". Coventry University and the University of Wisconsin Milwaukee Centre for By-products Utilization, Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies. June 2010. https://www.researchgate.net/publication/228825101_Geopolymer_Concrete_with_Fly_Ash

[5] Фаликман В.Р., Охотникова К.Ю. Геополимерные вяжущие и бетоны в современном строительстве // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. No 4-1 (35). С. 93-97

[6] Каргин А.А., Маликов И.М. Геополимерный бетон // Россия молодая: сб. мат. XI Всеросс. науч.-практ. конф. с междунар. участием. 2019. С. 60613.

[7] Гончарова М.А., Матченко Н.А. Разработка составов геополимерного бетона для конструкционного материала // Научные исследования: от теории к практике. 2015. Т. 2. No 4 (5). С. 15-18.

Mualliflar to'g'risida ma'lumot / Information about authors

**Ilyasov
Allanazar
Torexanovich**

Qoraqalpoq davlat universiteti "Shahar qurilishi va xo'jaligi" kafedrası professori,
e-mail: allanazarilyasov368@gmail.com
Tel.: +998977473086
<https://orcid.org/0000-0001-6973-4545>

**Nazibekov
Azamat
Kuatbayevich**

Toshkent davlat transport universiteti "Bino va sanoat inshootlari qurilishi" kafedrası doktoranti,
e-mail: azamatnazibekov@gmail.com
Tel.: +998913879093
<https://orcid.org/0009-0008-9666-6320>

**Azirbayev
Babur
Tenelbaevich**

Qoraqalpoq davlat universiteti "Shahar qurilishi va xo'jaligi" kafedrası o'qituvchi-stajyori,
e-mail: baburazirbayev@gmail.com
Tel.: +998933686111
<https://orcid.org/0009-0002-1334-8690>

Production and application of ceramovermiculite materials based on layered vermiculite in Uzbekistan

R.M. Auezbaev¹, P.D. Lepesbaeva²

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

²Karakalpak State University, Karakalpakstan, Uzbekistan

Abstract: The results of a study on the influence of serpentinite on the properties of ceramovermiculite are presented. The introduction of a natural magnesium-containing material into the mixture increases the strength of the samples while decreasing shrinkage and density. The combined addition of serpentinite, coal (as a combustible additive), and nepheline made it possible to obtain ceramovermiculite materials with high thermophysical properties

Keywords: ceramovermiculite, slurry, serpentinite, nepheline, firing

O'zbekistonda qatlamli vermikulit asosidagi keramovermikulit materiallarining ishlab chiqarilishi va qo'llanilishi

Auezbaev R.M.¹, Lepesbaeva P.D.²

¹ Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

²Qoraqalpog' davlat universiteti, Qoraqalpog'iston, O'zbekiston

Annotatsiya: Serpentinning keramovermikulit xususiyatlariga ta'siri bo'yicha olib borilgan tadqiqot natijalari keltirilgan. Massaga tabiiy magniy tarkibli materialning kiritilishi namunalarning kirishishi va zichligi pasaygan holda mustahkamligini oshiradi. Serpentin, ko'mir (yonuvchi qo'shimcha sifatida) va nefelinning birgalikda qo'shilishi yuqori issiqlik-fizik ko'rsatkichlarga ega bo'lgan keramovermikulitlarni olish imkonini berdi

Kalit so'zlar: keramovermikulit, shlikker, serpentin, nefelin, kuydirilish

1. Kirish

Ma'lumki, magniy silikatlar, jumladan serpentin magnezit, keramik massalarning pishishini yaxshilovchi flyus sifatida qo'llaniladi. Shuningdek, ular keramik plitkalar ishlab chiqarishda shixta tarkibida hamda payvandlash elektrodlarini qoplashda foydalaniladi. Keramovermikulitning tannarxini kamaytirish va uning issiqlikka chidamliligini oshirish maqsadida, shixta tarkibidagi magniy saqlagan komponentlarni magniy oksidi yuqori bo'lgan tabiiy serpentinlar bilan almashtirish bo'yicha izlanishlar o'tkazildi.

Tadqiqotlar uchun tabiiy materiallar sifatida sanoat miqyosida o'zlashtirilgan Xalilov serpentinlari qo'llanildi. Serpentin guruhining barcha asosiy minerallari tarkibi taxminan $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ yoki $3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot H_2O$ formulasiga mos keladi. Ularning taxminiy kimyoviy tarkibi quyidagicha: tarkibi $MgO - 43.50\%$, $SiO_2 - 43.46\%$, $H_2O - 13.4\%$ [2].

2. Materiallar va metod

Bugungi kunda barcha serpentin minerallarining qatlamli tuzilishga ega ekanligi haqida yetarli dalillar mavjud. Bu tuzilishning asosiy tarkibiy elementi serpentin qatlami hisoblanadi. Serpentin qatlamining bir qismi o'zaro bog'langan SiO_4 tetraedrlaridan tashkil topgan psevdogeksagonal to'rdan iborat. Ushbu qatlamdagi barcha tetraedrlar bir tomonga yo'naltirilgan bo'lib, brusit qatlami

bilan tutashadi. Brusit qatlami ikkita gidroksil qatlamdan tashkil topgan bo'lib, ular orasida Mg atomlari qatlami joylashgan. Bunda har bir Mg atomi oltita OH guruhi bilan o'ralgan. Bunday tuzilish vermikulit tuzilishiga o'xshaydi. Har bir brusit qatlamining bir tomonida uchta gidroksildan ikkitasi (SiO_4)⁴⁻ tetraedrlarining cho'qqilarini tashkil etuvchi kislorod atomlari bilan almashtiriladi.

$Mg_6(OH)_8[Si_4O_{10}]$ tarkibli serpentin plastinkasimon tuzilishga ega bo'lib, qorishma aralashmalariga yuqori oquvchanlik xususiyatini beradi. Bundan tashqari, serpentin GOST 24816-81 standarti bo'yicha ham o'tga chidamli material hisoblanadi va pechlar hamda kaminlar uchun issiqlikka bardoshli aralashmalarda to'ldiruvchi (shamot o'rniga) sifatida qo'llanilishi mumkin. An'anaviy to'ldiruvchilar orasida serpentin o'zining past issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti bilan ajralib turadi, bu ko'rsatkich asbestning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentiga deyarli teng.

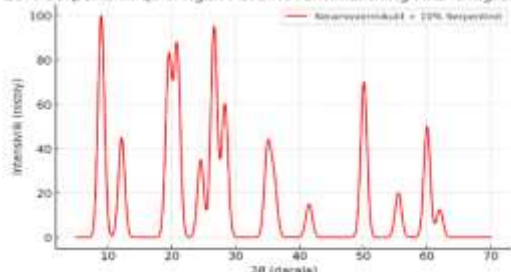
Serpentinning termik parchalanishi jarayonida hosil bo'ladigan mayda dispersli kremniy dioksidi va magniy oksidi kimyoviy faol (in situ) bo'lib, shixta tarkibidagi moddalar bilan o'zaro ta'sirlashib, mustahkamlovchi xususiyat namoyon etishi mumkin. Bu xususiyatlari tufayli termoaktivlangan serpentin qurilish aralashmalari va eritmalarining istiqbolli to'ldiruvchisi hisoblanadi, chunki u ularning fizik-mexanik va issiqlik-fizik xossalari yaxshilaydi.

3. Tahlil natijalari

Tizimda termik faollashtirilgan serpentindan olovbardosh forsterit tuzilmasining (Mg_2SiO_4) hosil bo'lishi, uning asosidagi kompozitsiyalarga qo'shimcha olovga chidamlilik xususiyatlarini baxsh etishi mumkin.

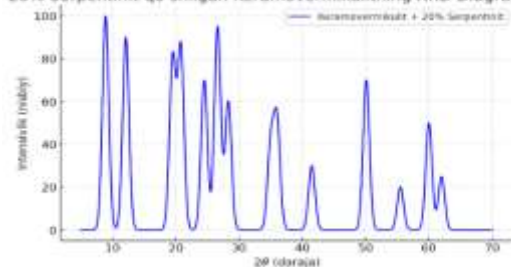
Serpentinning kimyoviy tarkibi, massa bo'yicha %: SiO_2 – 35-45, MgO – 35-45, $FeO + Fe_2O_3$ – 0-10, Al_2O_3 – 0.5, H_2O – 12-15, CaO – 0-2, NiO 0-1 % Keramovermikulitning xususiyatlariga serpentinning ta'sirini o'rganish maqsadida aralashmalar tayyorlandi. Qo'shimchalar 100% dan tashqari 10-30 massa % miqdorida kiritildi. Serpentin gil shlikeriga qo'shilganda, uning plastinkasimon tuzilishi tufayli shlikerning oquvchanligi oshdi. Bu esa vermikulit to'ldiruvchisining bir tekis taqsimlanishini ta'minladi va namunalarni shakllantirish sharoitlarini yaxshiladi. O'rganilayotgan harorat oralig'ida kuydirilgan serpentinitli namunalar kirishish va zichlik qiymatlari past bo'lishiga qaramay, yetarli darajada mustahkamlikka ega. Qo'shimcha moddaning miqdoriga qarab olingan materialning xususiyatlari o'zgarishini o'rganish natijasida sezilarli farqlar aniqlanmadi. 1-3-raslarda olingan keramovermikulitning fazaviy tarkibi ko'rsatilgan.

10% Serpentin qo'shilgan Keramovermikulitning XRD Diagrammasi



1-rasm. 10 massa % serpentinit qo'shimchali keramovermikulitning rentgenogrammasi. Kuydirish harorati 1200°C, ushlab turish vaqti 4 soat, 900°C haroratda oraliq ushlab turish - 1 soat

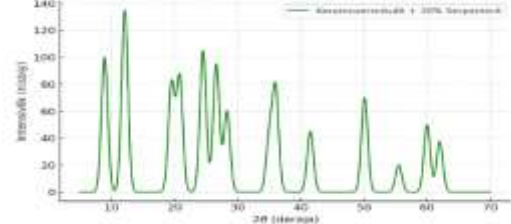
20% Serpentin qo'shilgan Keramovermikulitning XRD Diagrammasi



2-rasm. 20% serpentinit qo'shilgan keramovermikulitning rentgenogrammasi

Kuydirish harorati 1200°C bo'lib, 4 soat davomida ushlab turilgan, bunda 900°C haroratda 1 soat oraliq ushlab turish ham amalga oshirilgan.

30% Serpentin qo'shilgan Keramovermikulitning XRD Diagrammasi



3-rasm. 30% serpentinit qo'shilgan keramovermikulitning rentgenogrammasi.

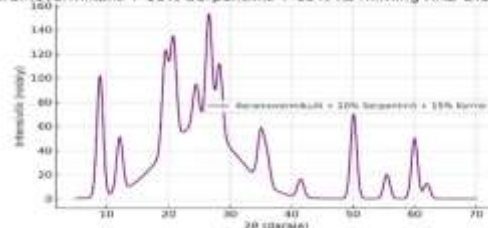
Pishirish harorati 1200°C, ushlab turish vaqti 4 soat, 900°C haroratda oraliq ushlab turish vaqti 1 soat

Rasmlardan ko'rinib turibdiki, tarkibida turli miqdordagi serpentinit mavjud bo'lgan namunalarning fazaviy tarkibi bir xil bo'lib, asosan kordiyeritdan iborat, shuningdek sezilarli miqdorda mullit ham uchraydi. Tarkibida 30 massa % serpentinit bo'lgan namunalarda qo'shimcha ravishda shpinel ham mavjud.

Namunalar zichligini kamaytirish maqsadida serpentinit saqlovchi tarkibga yonuvchi qo'shimcha sifatida loy og'irligiga nisbatan 15 massa % miqdorida ko'mir kiritildi. Kuydirish jarayoni 1000-1200°C harorat oralig'ida amalga oshirildi.

Fazaviy tarkibni o'rganish jarayonida, keramik massaga ko'mir tarkibiy qismi kiritilganda, fazaviy tarkibda qo'shimcha yuqori haroratli faza - alyumomagnezial shpinel paydo bo'lishi aniqlandi. Kuydirish harorati ko'tarilishi bilan shpinel va kordierit miqdori ortib boradi (4-rasm).

Keramovermikulit + 10% Serpentin + 15% Ko'mirning XRD Diagrammasi

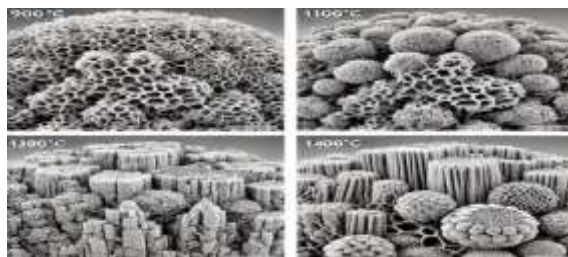


4-rasm. 10 mas. qo'shimchali keramovermikulit rentgenogrammasi. % serpentinit va 15 mas. % ko'mir:

1 - 1000°C haroratda 4 soat davomida kuydiriladi, oraliq bosqichda 900°C haroratda 1 soat ushlab turiladi; 2 - 1200°C haroratda 4 soat davomida kuydiriladi, oraliq bosqichda 900°C haroratda 1 soat ushlab turiladi

Keramik massadagi magniy reagentlarini serpentinit bilan almashtirish natijasida siqilishdagi mustahkamlik chegarasi 2,2 MPa dan 5,3 MPa gacha oshdi. Bu jarayonda qisqarish qiymatlari o'zgarmadi, zichlik esa biroz ko'tarildi.

5-rasmda serpentinit saqlagan va turli rejimlarda kuydirilgan keramovermikulit namunalarining tuzilmalari ko'rsatilgan.



5-rasm. Serpentin saqlagan va turli rejimda kuydirilgan keramovermikulit namunalarining tuzilishi:

a - kuydirish harorati 900°C bo'lib, 2 soat davomida ushlab turiladi; b - kuydirishning yakuniy harorati 1100°C bo'lib, 4 soat davomida ushlab turiladi, 900°C da esa 1 soat; v - kuydirishning yakuniy harorati 1300°C bo'lib, 1 soat davomida ushlab turiladi, 900°C da esa 1 soat; g - kuydirishning yakuniy harorati 1400°C bo'lib, 1 soat davomida ushlab turiladi, 900°C da esa 1 soat.

Keltirilgan rasmlardan ko'rinib turibdiki, kuydirish harorati oshgani sayin materialning g'ovakli tuzilmasi 1400°C haroratgacha saqlanib qolmoqda. Bu haroratni qo'llashning chegaraviy harorati sifatida qabul qilish mumkin.

1-jadvalda turli xil qo'shimchalar bilan har xil kuydirish haroratlarda namunalarning issiqlik o'tkazuvchanligining zichlikka bog'liqligi to'g'risidagi ma'lumotlar keltirilgan. Jadvaldan ko'rinib turibdiki, nefelin yoki serpentinit va ko'mir qo'shilgan namunalarda eng past issiqlik o'tkazuvchanlikka ega. Ushbu qo'shimchalarni qo'llash natijasida namunalarning siqilishdagi mustahkamlik chegarasi qo'shimchasiz namunalarga nisbatan deyarli 2 barobar oshgan, 1000-1200°C harorat oralig'ida esa issiqlik o'tkazuvchanlik va zichlik pasaygan.

Magniy tarkibli reaktiv materiallarni tabiiy materiallarga almashtirish namunalarning mustahkamligini 0.7-2.2 MPa dan 5.3 MPa gacha oshirdi va bunda qisqarish kamaydi. Tabiiy komponentli namunalarning zichligi esa yuqoriroq bo'ldi.

1-jadval

Keramovermikulit namunalarning issiqlik o'tkazuvchanligi zichlik va pishirish haroratiga bog'liqligi

Shixtaning tarkibi	Pishirish harorati (°C)	Issiqlik o'tkazuvchanligi (W/m·K)	Zichligi, kg/m³
Vermikulit, gilli shliker	1000	0.10	0.50
Vermikulit, glinali shliker	1100	0.12	0.55
Vermikulit, gilli shliker, serpentinit, ko'mir	1200	0.15	0.70
Vermikulit, gilli shliker, nefelin, ko'mir	1300	0.18	0.85
Vermikulit, gilli shliker	1400	0.2	1.10

Magniy miqdori yuqori bo'lgan tabiiy qo'shimchalarni shixtaga kiritish, yangi hosil bo'lgan fazalarning kimyoviy faolligi va mavjud ishqoriy agentlar a'siri tufayli, yuqori issiqlik-fizik ko'rsatkichlarga ega bo'lgan keramovermikulitlar olish imkonini berdi. Bu keramovermikulitlarning issiqlik o'tkazuvchanligi 0,2-0,18 (W/m·K) ni tashkil etdi.

4. Xulosa

Tarkibida tabiiy serpentinitlar mavjud bo'lgan shixtalarga termik ishlov berish natijasida yuqori haroratli fazalar (forsterit, shpinel) hosil bo'lishi, ularning erish harorati 1800-2000°C bo'lishi va namunalarning termomexanik xususiyatlari oshishi vermikulit hamda olovbardosh kaolinit gillari asosida qo'llanish harorati 1500°C dan yuqori bo'lgan keramovermikulit olish imkoniyatlarini ochib beradi.

Foydalanilgan adabiyotlar / References

- [1] Xasanov A., Karimov B "Vermikulit asosidagi keramika materiallari: ishlab chiqarish texnologiyasi va qo'llanilishi" 2020-y
- [2] Safarov D., Ismoilova G. "O'zbekistonda tabiiy vermikulit zaxiralari va ularning sanoatdagi ahamiyati" 2018-y
- [3] Yegorov Yu.A. Serpentinit v zashite yadernix reaktorov. M., 1973. 543 s.
- [4] Vayvad A.Ya. Magnezialli bog'lovchi moddalar. Riga: Zinatne, 1971. 329 s.

Mualliflar to'g'risida ma'lumot/ Information about the authors

Auezbaev Raman Muratbay uli Toshkent davlat transport universiteti "Bino va sanoat inshootlari qurilishi" kafedrasida doktoranti, e-mail: ramanawezbaev400@gmail.com
Tel.: +998999577144
<https://orcid.org/0009-0002-5170-9194>

Lepesbaeva Paruaz Dauletbay qizi Berdaq nomidagi Qoraqalpoq davlat universiteti "Shaxar qurilishi va xo'jaligi" kafedrasida oqutuvchisi e-mail: paruaz9598@gmail.com
Tel.: +998999577155
<https://orcid.org/0009-0006-3316-5399>

Multifunctional residential complex as a new type of residential building

D.K. Mirzajonov¹, E.V. Shipacheva¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: The article reveals aspects of the concept of “sustainable urban planning”, which in the construction industry means orientation to the creation of multifunctional buildings and territories, intensive use of land resources and compact development, meeting the basic needs of society, creating comfortable living conditions for all population groups, as well as limiting the negative impact on the environment and protection of natural resources. It is proved that multifunctional residential complex is a new type of residential buildings. As a result of the performed researches the method of definition of the required public premises included in the complex is offered, variants of functional-planning structure of the building are established, which can be used to solve the main problems of formation of volume-planning solution of the multifunctional residential complex, proceeding from the town-planning peculiarities of the construction site.

Keywords: architectural and planning solution, multi-storey residential building, comfort levels, design, functionality

Многофункциональный жилой комплекс как новый тип жилого здания

Мирзажонов Д.К.¹, Щипачева Е.В.¹

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация: В статье раскрываются аспекты концепции «устойчивое градостроительство», что в строительной отрасли означает ориентацию на создание многофункциональных зданий и территорий, интенсивное использование земельных ресурсов и компактность застройки, удовлетворение базовых потребностей общества, создание комфортных условий для проживания всех групп населения, а также ограничение негативного воздействия на окружающую среду и охрану природных ресурсов. Доказано, что многофункциональный жилой комплекс является новым типом жилых зданий. В результате выполненных исследований предложен метод определения требуемых общественных помещений, входящих в комплекс, установлены варианты функционально-планировочной структуры здания, которые можно использовать для решения основных проблем формирования объемно-планировочного решения многофункционального жилого комплекса, исходя из градостроительных особенностей участка строительства.

Ключевые слова: архитектурно-планировочное решение, многоэтажный жилой дом, уровни комфортности, проектирование, функциональность.

1. Введение

Современная городская среда во многих странах мира несовершенна из-за невозможности обеспечить безопасные и комфортные условия для проживания, работы и отдыха населения. В связи с этим в мировом сообществе широкое распространение получает концепция «устойчивого градостроительства», включающая в себя такие аспекты как:

- внедрение научно-обоснованной логистической сети, способной обеспечить пропускную способность улиц в результате продуманного расположения крупных общественных зданий и регулирования транспортных потоков;
- повышение многофункциональности селитебной территории с обеспечением пешеходной доступности объектов социального назначения;
- обеспечение санитарных норм в отношении жилых помещений за счет правильной ориентации зданий и зелёных зон, в том числе с учетом защиты от летнего перегрева;
- обоснованность в принятии плотности и высотности застройки, ориентируясь при этом на климат и сейсмичность местности.

В строительной отрасли это означает ориентацию на создание многофункциональных зданий и территорий, интенсивное использование земельных ресурсов и компактность застройки, удовлетворение базовых потребностей общества, создание комфортных условий для проживания всех групп населения, а также ограничение негативного воздействия на окружающую среду и охрану природных ресурсов.

Среди основных принципов устойчивого городского развития особое значение имеет сокращение доли монофункциональных кварталов в городах; повышение доли в застройке кварталов приносящей доход недвижимости – торговли, общепита и офисов; разнообразие типов жилой недвижимости по уровню доступности для предотвращения сегрегации по доходам различных групп населения; реализация парадигмы компактной городской среды.

Однако, если вопрос внедрения в жилые здания объектов, приносящих доход, решается достаточно последовательно, то вопрос о необходимости обеспечения жителей детскими дошкольными и образовательными учреждениями, зонами для проведения общественных мероприятий, отдыха и спорта, автостоянками и т.п. реализуется очень слабо. Кроме того, стоит отметить, что расположение

доходной недвижимости в структуре жилого квартала в настоящее время является хаотичным и не обоснованным ни по количеству, ни по назначению. Так, например, в одном жилом доме могут располагаться 3 аптеки и 2 кассы по продаже авиабилетов.

Еще одним важным моментом является отступление в современной отечественной архитектуре от планировочных приёмов, разработанных в национальной узбекской архитектуре. В большинстве построенных многоэтажных жилых зданиях принцип «устойчивой архитектуры» реализуется только за счет устройства фасадной теплоизоляции стен и индивидуальных тепловых котлов. При этом такой важный энергосберегающий фактор как объемно-планировочное решение квартир в зависимости от климатических условий района строительства даже не рассматривается.

В связи с этим, представлялось актуальным изучить опыт строительства многофункциональных жилых комплексов с целью установления основных архитектурно-планировочных принципов этих объектов для климатических и социальных условий Республики Узбекистан.

2. Материалы и методы

В исследовании использованы теоретические и практические материалы, отражающие принципы проектирования многофункциональных жилых комплексов.

Основными методами исследований приняты системный и сравнительный функционально-композиционный анализы проектных решений многофункциональных жилых комплексов.

3. Результаты и обсуждения

Идея многоэтажных жилых комплексов для комфортного проживания в городской застройке, пришла к нам из западноевропейских стран и США.

Одним из наиболее ярких примеров многоэтажного многофункционального комплекса является объект «Марина-сити» в Чикаго (США) (рис. 1).



Рис. 1. «Марина-сити» в Чикаго (США)

На первых 19-ти этажах здания расположена парковка, на 20 этаже - прачечная, спортивный зал, складские помещения, комнаты для конференций, а этажи с 21 по 60 отданы под квартиры [1, 2].

В Бруклине (США) построена Башня искусств (Brooklyn Arts Tower) высотой 120 м (рис.2). На нижних этажах расположены учреждения культурного и торгового назначения, а на верхних – квартиры для людей, связанных с искусством. Здание представляет собой пять жилых блоков средней этажности, нанизанных на общее вертикальное ядро. К лифтовому холлам на ряде этажей примыкают общественные сады [3].



Рис. 2. Brooklyn Arts Tower

Во Франции реализовано строительство комплекса Émergence Lafayette (г. Лион) (рис. 3). Здания комплекса включают в себя: жилье, коммерческую функцию, зону рекреации, коворкинг и часовню [4].



Рис. 3. Комплекс Émergence Lafayette, г. Лион (Франция)

Примером соединения жилья и офиса является комплекс «Де Роттердам», спроектированный ОМА (рис.4). Комплекс объединяет жилые апартаменты, офисы и гостиницу, расположенные в трех башнях, объединенных стилобатом с размещенными в нем конференц-залом, спортклубом, ресторанами и кафе. [5].



Рис. 4. Комплекс «Де Роттердам» в Нидерландах

Анализируя данные жилые комплексы был сделан вывод о востребованности у проживающих в них людей в первую очередь помещений, предоставляющих сервис именно для них – в продовольственных магазинах, коворкингах, медицинских центрах, спортивных секциях.

В связи с этим, представляется целесообразным рассматривать многофункциональный жилой комплекс как самодостаточную среду, при этом расчет пространств общественного назначения (определение их состава и площадей) проводить на основании градостроительных норм ШНК 2.07.01-23 «Градостроительное планирование развития и застройки территорий населенных пунктов».

Функционально-планировочная структура реализованных комплексов достаточно ясна:

- наполнение функциями решено ярусами, расположенными по вертикали;
- в стилобатной части здания располагаются торговые помещения, что соответствует представлению о первой ступени обслуживания;
- второй ярус решен в виде буферной зоны, позволяющей разделить вход в жилые апартаменты и офисные помещения, сервисный блок которых представлен предприятиями питания и конференц-залами;
- средний ярус занимают офисные помещения;
- на верхнем ярусе размещаются жилые апартаменты.

Вместе с тем, очевидно, что возможно и расположение функциональных зон не вертикально, а горизонтально, то есть, когда каждая функциональная группа помещений располагается в отдельных частях здания, соединенных общим стилоблатом.

И это - не предел развития многофункциональных жилых комплексов, призванных улучшить среду обитания человека, разгрузить транспортные магистрали, обеспечить безопасные и комфортные условия для проживания, работы и отдыха населения.

Многофункциональный жилой комплекс - это новый тип жилого дома, имеющий ощутимые преимущества перед монофункциональными объектами.

4. Заключение

Таким образом, можно считать, что многофункциональный жилой комплекс является новым типом жилых зданий. В результате выполненных исследований предложен метод определения требуемых общественных помещений, входящих в комплекс, установлены варианты функционально-планировочной структуры здания, которые можно использовать для решения основных проблем формирования объемно-планировочного решения многофункционального жилого комплекса, исходя из градостроительных особенностей участка строительства.

Использованная литература / References

- [1] Edvard G., Nawy P. Fundaments of High Performanse Concrete. Sec. ed. Willy. 2001. – 302p.
- [2] Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. 2-ое изд. - М.: 1998. – 768 с.

[3] Walraven J. Concrete for a new centure / Proc. of the ist fib congress, 2006, p. 11-22.

[4] Адылходжаев А.И., Махаматалиев И.М., Цой В.М. и др. Инновационные материалы и технологии в строительстве/ Монография под общ. ред. Адылходжаева А.И., Т.: «Фан ва технология», 2016. – 292 с.

[5] Рыбьев И.А. Строительное материаловедение / Учеб. Пособие для ВУЗов –М: Высшая школа, 2004. – 701 с.

[6] Баженов Ю.М. Технология бетона/ Ю.М.Баженов.-М.:Изд.АСВ,2011. – 524 с.

[7] Adylkhodzhaev A.I., Makhamataliev I.M., Tsov V. M., Turgaev J.F., Ruzmetov F.Sh. Assesment of Reinforcement Corrosion in High-Filled Ash-Containing Concrete. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE), Volume-8 Issue-12, October 2019, ISSN: 2278-3075 (Online), p. 4464-4466.

[8] Adylkhodzhaev A.I., Makhamataliev I.M., Tsov V. M., Turgaev J.F., Umarov K.S. Theoretical bases of optimization of concrete microstructure with application of the imporved of mathematical planning of experiments. International Journal of Advanced Science and Technology (IJAST), Volume-8 Issue-9S2, July 2019, ISSN 2207-6360. (Online), p. 210-219.

[9] Obidovich, A. T. (2022). ROMAN STYLE QUALITY CHANGES IN EUROPEAN ARCHITECTURE IN X-XII CENTURIES. *Spectrum Journal of Innovation, Reforms and Development*, 10, 121-126.

[10] Мусахонов, М. А. У., & Умарова, Д. З. (2018). Инженерные коммуникации зданий. *Вопросы науки и образования*, (8 (20)), 30-31.

[11] Usmanova, N. A., & ugli Musajonov, M. A. (2023). CLASSIFICATION OF ENERGY EFFICIENT BUILDINGS. *GOLDEN BRAIN*, 1(1), 228-230.

[12] Мусахонов, М., & Жураев, А. (2023). Рекомендации и требования к проектированию тоннелей в Узбекистане. *Тенденции и перспективы развития городов*, 1(1), 237-239.

Информация об авторах / Information about the authors

Мирзахонов Дониёр Кудиржон оглы / Mirzajonov Doniyor Kudirjon Ташкентский государственный транспортный университет, студент магистратуры кафедры «Строительство зданий и промышленных сооружений»

Щипачева Елена Владимировна/ Shchipacheva Elena Vladimirovna Ташкентский государственный транспортный университет, д.т.н., профессор кафедры «Строительство зданий и промышленных сооружений»
e-mail: eshipacheva@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0000-0489-445X>

Strength investigation of modified vermiculite concrete

V. Soy¹, J. Turgayev², N. Takhirzhanov¹

¹Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

²Karakalpak state university, Nukus, Uzbekistan

Abstract: This paper presents the results of an experimental investigation into the effect of combined admixtures - superplasticizer, silica fume, and polypropylene fiber - on the mechanical properties of vermiculite-based lightweight concrete. The aim of the study was to enhance the compressive and flexural strength of the material while preserving its low density and thermal insulation properties. Three concrete mixtures with varying combinations of admixtures were prepared and tested. The findings revealed that the use of silica fume and superplasticizer increased compressive strength by up to 17%, while the addition of fiber further improved it by up to 26% compared to the reference sample. Flexural strength also increased by up to 20%, highlighting the benefits of microstructural reinforcement. The results demonstrate the effectiveness of the proposed composite modification approach, making the optimized vermiculite concrete suitable for use in structural insulating components in construction.

Keywords: vermiculite concrete, silica fume, superplasticizer, fiber reinforcement, compressive strength, lightweight concrete, material modification

Исследование прочности модифицированного вермикулитобетона

Цой В.М.¹, Тургаев Ж.А.², Тахиржанов Н.К.¹

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

²Каракалпакский государственный университет, Нукус, Узбекистан

Аннотация: В данной работе представлены результаты экспериментального исследования влияния комплексных модифицирующих добавок - суперпластификатора, микрокремнезема и дисперсной фибры - на прочностные характеристики вермикулитобетона. Целью исследования являлось повышение прочности на сжатие и изгиб при сохранении лёгкости материала. Для этого были изготовлены и испытаны три варианта составов с различным сочетанием добавок. Испытания показали, что введение микрокремнезема и суперпластификатора повышает прочность на сжатие на 17%, а добавление фибры позволяет достичь повышения до 26% по сравнению с контрольным образцом. Увеличение прочности на изгиб составило до 20%, что указывает на положительный эффект структурного армирования. Полученные результаты свидетельствуют о высокой эффективности комплексной модификации состава легких бетонов с вермикулитом, что позволяет рекомендовать предложенные составы для применения в конструкционно-теплоизоляционных элементах зданий.

Ключевые слова: вермикулитобетон, микрокремнезем, суперпластификатор, фибра, прочность, модификация состава, лёгкие бетоны.

1. Введение

Современное строительство предъявляет всё более жёсткие требования к строительным материалам, особенно в условиях роста интереса к энергоэффективности, экологичности и снижению эксплуатационных затрат. Одним из перспективных направлений является применение лёгких бетонов с теплоизоляционными свойствами, к которым относится вермикулитобетон. Вермикулит, как вспученный природный минерал, характеризуется низкой плотностью, высокой пористостью и огнестойкостью. Это делает его ценным заполнителем для легких бетонов в гражданском и промышленном строительстве.

Однако классический вермикулитобетон имеет сравнительно низкие прочностные характеристики, особенно на сжатие и изгиб, что ограничивает его применение в конструктивных элементах. В связи с этим актуальной задачей является модификация его

состава за счёт введения высокоэффективных добавок, таких как суперпластификаторы, микрокремнезём и дисперсная фибра. Эти компоненты способны улучшить структуру цементного камня, повысить плотность структуры, улучшить сцепление и армирование, что в конечном итоге должно привести к увеличению прочности.

Целью данного исследования является количественная оценка влияния вышеуказанных добавок на прочность вермикулитобетона при изгибе и сжатии. Научная значимость работы заключается в установлении оптимального сочетания компонентов, обеспечивающего улучшенные эксплуатационные характеристики легкого бетона без значительного увеличения его плотности. Практическая значимость исследования заключается в возможности использования полученных результатов при проектировании энергоэффективных конструкций и малонагруженных конструктивных элементов зданий.



2. Материалы и методы

Для исследования были выбраны три состава вермикулитобетона с постоянной пропорцией основных компонентов: цемент (ПЦ 500-Д0), крупнозернистый кварцевый песок, вода и вспученный вермикулит. Изменения касались наличия и количества следующих добавок:

суперпластификатор (СП) на основе поликарбоксилатов;
микрокремнезём (МК);
полипропиленовая фибра.

Таблица 1

Составы			
№	1	2	3
Единица измерения	всё в граммах		
Цемент	1000	1000	1000
Песок	1105	1105	1105
Вода	859	858	900
Вермикулит	680	680	680
СП	5	10	10
МК	17	17	17
Фибра	-	-	13

Изготовление образцов производилось путём ручного замеса и уплотнения бетонной смеси в металлические формы размером 40×40×160 мм. Образцы хранились в стандартных условиях (20±2 °С, влажность 95%) в течение 28 суток. Испытания проводились по ГОСТ 10180-2012. Прочность на изгиб определялась при трёхточечном нагружении всей длины балочки. Прочность на сжатие определялась на половинках балочек с площадью 1600 мм². Для каждого состава было испытано не менее трёх образцов, а результаты усреднены. Визуально оценивалась однородность структуры, наличие пустот и равномерность распределения фибры.

3. Результаты

Дополнительные наблюдения:

У образца №2, содержащего микрокремнезём и повышенную дозу суперпластификатора, наблюдается прирост прочности на сжатие на 17.4% по сравнению с контрольным образцом. Введение фибры в образец №3 дало дополнительное увеличение прочности: 20.7% к образцу №2 и 42% к образцу №1.

№	1	2	3
Прочность на изгиб, МПа	7.48	7.73	8.56
Прочность на сжатие, МПа	23.0	27.0	32.6
Отношение $R_{сж} / R_{изг}$	3.07	3.49	3.81

Прочность на изгиб увеличилась соответственно на 3.3% (№2 к №1) и 10.7% (№3 к №2), что подтверждает вклад фибры в повышение трещиностойкости.

Визуальная оценка образцов показала более плотную структуру у образцов №2 и №3, с меньшим количеством воздушных пор и равномерным распределением фибры. У образца №3 поверхность разрушения при изгибе носила менее хрупкий характер,

с разветвлёнными трещинами и зонами пластической деформации.

4. Обсуждение

Полученные результаты позволяют утверждать, что добавки микрокремнезёма, суперпластификатора и фибры действуют синергетически и оказывают значительное влияние на структуру и прочность вермикулитобетона.

Влияние суперпластификатора:

Суперпластификатор снижает водоцементное отношение, увеличивает удобоукладываемость и способствует лучшему распределению частиц цемента. Это приводит к более полной гидратации и уменьшению количества капиллярных пор. Уже при увеличении дозировки суперпластификатора с 5 до 10 кг/м³ (образец №1 → №2) наблюдается прирост прочности.

Роль микрокремнезёма:

Микрокремнезём (МК) отличается высокой пуццолановой активностью. Его частицы вступают в реакцию с гидроксидом кальция, образуя дополнительные гелевые соединения, заполняющие поры и капилляры. Это приводит к значительному уплотнению структуры цементного камня. Кроме того, микрокремнезём действует как микрофиллер, повышая прочность на сжатие за счёт уменьшения макро- и микропористости. В образце №2 это дало ощутимый прирост прочности на 17.4%, даже при незначительном изменении прочности на изгиб.

Влияние фибры:

Наиболее выраженный эффект наблюдается при введении фибры (образец №3). Полипропиленовая фибра длиной 6–12 мм действует как внутренняя арматура, эффективно препятствуя распространению микротрещин и перераспределяя напряжения в зоне разрушения. Это особенно важно для легких бетонов, которые по своей природе более склонны к хрупкому разрушению. Прочность на изгиб увеличилась на 10.7% по сравнению с фиброй без фибры (№3 к №2), а прочность на сжатие — на 20.7%.

Отношение прочности на сжатие к изгибной:

Отношение $R_{сж}/R_{изг}$ возросло от 3.08 до 3.81, что остаётся в пределах нормы для конструкционно-теплоизоляционных бетонов. Увеличение этого показателя при добавлении микрокремнезёма и фибры свидетельствует о переходе материала из области преимущественно теплоизоляционного к материалу с потенциальными конструкционными функциями.

Влияние повышенного водосодержания:

Интересным является тот факт, что при увеличении количества воды в образце №3 (900 мл против 858–859 мл) прочностные характеристики не только не снизились, но и возросли. Это объясняется компенсирующим эффектом микрокремнезёма и армированием фиброй, которые совместно улучшают структуру, несмотря на теоретически повышенную водоцементную составляющую.

Возможности дальнейшего анализа:

Проведение микроструктурного анализа (СЭМ, рентгенофазовый анализ) позволило бы подтвердить эффект уплотнения структуры цементного камня.

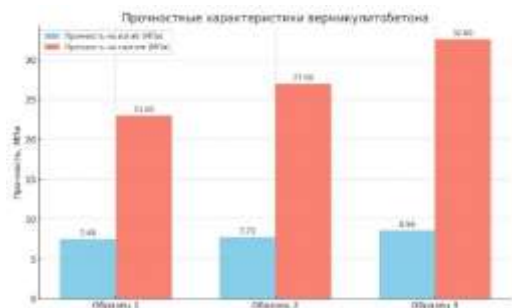


Рис. 1. Прочность образцов вермикулитбетона

Исследование модуля упругости, усадки, ползучести и устойчивости к циклам замораживания/оттаивания даст более полное представление о поведении материала в реальных условиях эксплуатации.

5. Заключение

Проведенное исследование продемонстрировало, что применение суперпластификатора, микрокремнезема и фибры позволяет существенно улучшить механические характеристики вермикулитбетона. Оптимальным является состав, содержащий все три добавки, при этом достигается прочность на сжатие 32,6 МПа и изгибная прочность 8,56 МПа, что позволяет рекомендовать его для применения в теплоизолирующих конструктивных элементах.

В дальнейшем целесообразно провести комплексное исследование долговечности, водостойкости, морозостойкости, а также усадочных деформаций, что обеспечит всестороннюю оценку поведения вермикулитбетона в реальных условиях эксплуатации. Также рекомендуется изучить влияние других типов фибры (базальтовой, стеклянной, металлической) и возможных композиций с различными типами цемента.

Использованная литература / References

[1] Mohammadi, Y., Mousavi, S. S., Rostami, F., Danesh, A., & Sarand, N. I. (2015). The Effect of Silica Fume on the Properties of Self-Compacted Lightweight Concrete. *Current World Environment*, 10(Special Issue 1), 48. <https://doi.org/10.12944/CWE.10.Special-Issue1.48>

[2] Othuman Mydin, M. A. (2015). Effect of Silica Fume and Wood Ash Additions on Flexural and Splitting Tensile Strength of Lightweight Foamed Concrete. *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)*, 74(1), 47-52. <https://doi.org/10.11113/jt.v74.3653>

[3] Abd, S. M., & Jassam, D. G. (2019). Improving Mechanical Properties of Lightweight Foamed Concrete Using Silica Fume and Fibers. *Journal of Engineering and Sustainable Development*, 23(6), 1-12. <https://jeasd.uomustansiriyah.edu.iq/index.php/jeasd/article/view/285>

[4] Jssem, M., & Fawzi, N. M. (2024). Effect of Expanded Perlite Aggregate and Silica Fume on Some Properties of Lightweight Concrete. *Journal of Engineering*, 30(05), 172-185. <https://doi.org/10.31026/j.eng.2024.05.11>

[5] Wang, Q. L., & Bao, J. C. (2012). Effect of Silica Fume on Mechanical Properties and Carbonation Resistance of Concrete. *Applied Mechanics and Materials*, 238, 161-164.

<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.238.161>

[6] Wang, X. H., Jacobsen, S., Lee, S. F., He, J. Y., & Zhang, Z. L. (2010). Effect of Silica Fume, Steel Fiber and ITZ on the Strength and Fracture Behavior of Mortar. *Materials and Structures*, 43(1-2), 125-139. <https://doi.org/10.1617/s11527-009-9475-1>

Mualliflar to'g'risida ma'lumot / Information about authors

Цой Владимир Михайлович	Ташкентский государственный транспортный университет Доктор технических наук, профессор, e-mail: volodya_tsoy@inbox.ru https://orcid.org/0009-0009-7560-2691
Тургаев Жамбул Адилбаевич	Каракалпакский государственный университет, доктор философии технических наук (PhD), доцент, e-mail: turgaev1986@mail.ru https://orcid.org/0000-0003-2483-9727
Тахиржанов Нурсултан Кайратович	Ташкентский государственный транспортный университет. Базовый докторант. e-mail: taxirjanovnursultan@gmail.com https://orcid.org/0009-0004-4251-7101



Flexible concrete (ECC) and its potential for sustainable construction in Uzbekistan

N.R. Mukhammadiev ¹, M.Kh. Mukhammadrasulov ¹, D.M. Tursinaliyev

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Annotation: Engineered cementitious composites (ECC) are a class of high-performance fiber-reinforced materials designed to address the brittleness of conventional concrete. ECC has tensile strengthening properties that control micro-crack formation, making it an ideal material for building resilient infrastructure. This paper provides a brief overview of fiber-reinforced cementitious composites. It also evaluates the feasibility of implementing ECC in Uzbekistan in terms of local resource availability, construction sector needs, and environmental goals. The results of the study indicate that ECC has great potential to improve seismic performance and support the sustainable development of the country's construction industry.

Keywords: ECC, green building, plastic concrete, fiber reinforced composites, seismic resistance

Egiluvchan beton (ECC) va ularning O'zbekistonda barqaror qurilish uchun qo'llanish imkoniyatlari

Mukhammadiyev N.R.¹, Mukhammadrasulov M.X.¹, Tursinaliyev D.M.

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Muhandislik tsementli kompozitlar (ECC) — an'anaviy betonning mo'rtligini bartaraf etish uchun ishlab chiqilgan yuqori samarali tolali mustahkamlangan materiallar sinfidir. ECC kuchlanish paytida kuchlanishni qattiqlashtiruvchi xususiyatlarga ega bo'lib, mikro yoriqlarni boshqarishga imkon beradi, bu esa uni bardoshli infratuzilmani qurish uchun ideal materialga aylantiradi. Ushbu maqolada tola bilan mustahkamlangan tsement asosidagi kompozit materiallar haqida qisqacha ma'lumot berilgan. Shuningdek, u mahalliy resurslarning mavjudligi, qurilish sektori ehtiyojlari va ekologik maqsadlar nuqtai nazaridan O'zbekistonda ECCNI amalga oshirishning maqsadga muvofiqligini baholaydi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, ECC seysmik barqarorlikni oshirish va mamlakat qurilish sanoatida barqaror rivojlanishni qo'llab-quvvatlash uchun katta imkoniyatlarga ega.

Kalit so'zlar: ECC, barqaror qurilish, egiluvchan beton, tola bilan mustahkamlangan kompozitsiyalar, seysmik chidamlilik

1. Kirish

So'nggi yillarda qurilish sanoati barqaror materiallar va amaliyotlarga o'tish bo'yicha tobora kuchayib borayotgan bosimga duch kelmoqda. Ushbu ehtiyojlarni qondirish maqsadida ishlab chiqilgan innovatsion materiallar orasida muhandislik sement kompozitlari (ECC) o'zining ajoyib mexanik xossalari va mustahkamligi bilan katta e'tiborni tortmoqda. ECC, ko'pincha egiluvchan beton deb ataladi, an'anaviy betonning mo'rtligini bartaraf etish uchun ishlab chiqilgan bo'lib, yoriqlarga chidamlilik va cho'zilishga mustahkamlikni oshirish maqsadida ishlab chiqilgan.

Zilzilalarga moyil hududda joylashgan va tez urbanizatsiyalanayotgan mamlakatimiz O'zbekiston uchun uzoq muddatli va barqaror infratuzilma qurilishi katta muammolardan biri hisoblanadi. An'anaviy portland sementiga va oddiy beton materiallariga tayanish bu muammolarni, ayniqsa uzoq muddatli mustahkamlik va seysmik bardoshlilik nuqtai nazaridan, to'liq hal etolmaydi.

2. Usullar va materiallar

ECC — bu yuqori samarali tolali sement asosidagi kompozit materiallar sinfiga kiradi, u tortish kuchi ostida cho'zilishda mustahkamlik va mayda yoriqlarni nazorat

qilish xususiyatlari bilan ajralib turadi [3]. An'anaviy tolali betonlardan farqli ravishda, ECC 3–5% gacha tortilish deformatsiyasiga bardosh bera oladi va har birining kengligi 60 mikrondan kam bo'lgan ko'plab mikro yoriqlar hosil qiladi (rasm-1) [1].



1-rasm. Oddiy temirbeton va ECC da yuklama ta'sirida yoriqlar hosil bo'lishidagi farqlar

ECC texnologiyasi 1990-yillarning boshida Michigan Universitetida professor Viktor C. Li tomonidan ishlab chiqilgan. Uning dizayni matritsa va tolalar orasidagi muvozanatni ta'minlaydigan mikromexanik modellar asosida quriladi. ECCning noyob xatti-harakati, tarkibida ko'mir kuli, to'ldiruvchi va ayniqsa PVA (polivinil alcohol) tolalari mavjud bo'lgan maxsus ishlab chiqilgan matritsasi

tufayli yuzaga keladi.

An'anaviy betondan farqli o'laroq, ECC yorilishga qarshi mukammal nazorat, yuqori mustahkamlik va atrof-muhitning zararli ta'sirlariga qarshi chidamlilikka ega [2]. Bu xususiyatlar uni ayniqsa zilzilaviy hududlar, infratuzilma ta'miri va barqaror qurilishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Egiluvchan beton yirik to'ldiruvchilarni olib tashlab uning o'rniga ko'proq tola qo'shish orqali olinadi. Qorishma tarkibida chaqiq toshning chiqarib tashlanishi tolalarning bir tekis taqsimlanishi va yorilishga qarshi nazoratni kuchaytirish maqsadida amalga oshiriladi. Boshqacha qilib aytganda sement, tola, qum va suvdan iborat bo'lgan aralashmaga plastiklashtiruvchi xususiyat beradigan modda qo'shiladi. Bulardan bir nechtasi quyidagilardir.

Tola: Silikat, azbest, bazalt, polietilin, PVA, shisha yoki po'lat tolalar ishlatiladi. Bu tolalar betonning egiluvchanligini ta'minlaydi. Tollarning yana bir boshqa vazifasi betonning mustahkamligini oshirishidir.

Bog'lovchi: Ananaviy beton ishlab chiqarishda foydalaniladigan Portland sementdan foydalanish mumkin.

Agregatlar: mayda qumdan (0.063-0.2 mm) foydalanish egiluvchan beton ishlab chiqarish uchun ideal to'ldiruvchidir. Farqli materiallar masalan odatiy (normal) qum (0.2-0.63mm), shlak, kul ham foydalanish mumkin.

Plastifikatorlar: Egiluvchan betonlarni konstruksiyalarda qo'llash uni yanada ishlov berish oson bo'lishini talab qiladi. Ushbu bosqichda plastifikator ta'siriga ega bo'lgan lignin, naftalin, melamin formaldegid, sulfonat, polikarboksilat efir va lignosulfonatlar qo'llaniladi.

O'zbekistonda issiqlik elektr stansiyalaridan olinadigan ko'mir kuli mavjudligi bu resursdan ECC ishlab chiqarishda foydalanishni va chiqindilarni boshqarishni ta'minlaydi. ECCni aralashtirish jarayoni mikromexanik prinsiplar asosida amalga oshiriladi. Muhim parametrlarga matritsaning yorilishga chidamliligi, tolalarning uzunlik-diametr nisbati, tolalar hajmi (odatda 2% atrofida) va sirt bog'lanish xossalari kiradi [1]. ECCni tayyorlashda tolalarning to'planib qolmasligi va bir tekis tarqalishini ta'minlaydigan aniq aralashtirish texnikasi zarur. Garchi bu keng tarqalishiga to'sqinlik qilsa-da, ko'plab O'zbekiston qurilish kompaniyalarida zamonaviy aralashtirish uskunalarining mavjudligi bu yo'nalishda ijobiy imkoniyatlar yaratadi.

ECC ayniqsa tortish va egilish kuchlariga nisbatan a'lo darajadagi mexanik xossalarga ega. Uning egilishdagi mustahkamligi va mayda yoriqlarni ko'plab hosil qilish qobiliyati plastiklik va energiyani yutish salohiyatini oshiradi, bu esa zilzilaviy hududlardagi konstruksiyalar uchun juda muhim.

3. Natijalar

Mexanik xususiyatlari. ECCning siqilishdagi mustahkamligi odatda 30 dan 60 MPa gacha bo'lib, buni an'anaviy beton bilan solishtirish mumkin. Ammo uning asosiy ustunligi tortishdagi o'zini tutishidir — oddiy beton 0.01% cho'zish deformatsiyasida sinadi, ECC esa undan 300–500 baravar katta tortishlarga bardosh bera oladi (rasm-2) [4].



2-rasm. Namunalarni cho'zilishga sinash testi

An'anaviy betonlar deyarli egiluvchan emas, faqat 0,1% egilish qobiliyatiga ega bo'lib, juda mo'rt va qattiq hisoblanadi. ECC esa 3% dan ortiq cho'zilish qobiliyatiga ega bo'lib, mo'rt shisha emas, balki egiluvchan metall kabi harakat qiladi (rasm-3).



3-rasm. Namunalarni egilishga sinash(chapda oddiy beton, o'ngda ECC)

Yoriq bardoshlilik va sovuqqa chidamlilik. ECCning yoriqlar kengligi 60 mikrondan oshmaganligi zararli moddalar, masalan xlorid ionlari, karbonat angidrid va suvning kirib borishini sezilarli darajada kamaytiradi [2]. Natijada, ECC qurilmalari uzoq xizmat muddati, kamroq ta'mir xarajatlari va past hayotiy davr qiymatiga ega bo'ladi. O'zbekistonning quruq kontinental iqlimi, shu jumladan muzlash-va-erish sikllari va yuqori yozgi haroratlar sharoitida ECCning chidamliligi ayniqsa muhimdir. Laboratoriya sinovlari ECC 300 martadan ortiq muzlash-erish sikliga sezilarli yemirilishsiz bardosh berganligini ko'rsatmoqda [1].

O'zbekistonda joriy etish imkoniyati. ECC dunyoning ko'plab nuqtalarida infratuzilma loyihalarida muvaffaqiyatli qo'llanilgan. Masalan, Yaponiyadagi Mitaka ko'prigida ECC ko'priki usti plitalarida yoriqlarning oldini olish va mustahkamlikni oshirish uchun ishlatilgan. AQSHda esa ECC ko'priki ustunlarida, seysmik bardoshli balka va ustunlar bog'lanishlarida hamda yo'llarning ustki qatlamlarida ishlatilgan(rasm-4).



4-rasm. 2005-yilda AQSHning Michigan shtatining janubi-sharqida amalga oshirilgan ECC-betondan ko'priki qoplamasi loyihasi[5]

Yevropada, ayniqsa Italiya va Turkiyada ECC zilzilalarga bardoshli qurilishda potensial material sifatida o'rganilmoqda. ECCdan yupqa konstruktiv elementlarda va qayta mustahkamlashda foydalanish natijasida uning ishlash

samaradorligi va xizmat muddatini oshirish imkoniyati ko'rsatildi. Ushbu xalqaro tajribalar O'zbekiston uchun foydali saboqlar bo'lib, ECCni mahalliy infratuzilma, ayniqsa muhim va zilzilaviy hududlarda qo'llash imkoniyatlarini ko'rsatmoqda.

4. Muhokamalar

ECCning ustunliklariga qaramay, O'zbekistonda uni joriy etishda bir qator muammolar mavjud. Asosiy to'siqlardan biri ECCning an'anaviy betonga nisbatan yuqori boshlang'ich narxidir, bu esa PVA tolalari va maxsus aralashtirish usullarining narxi bilan bog'liq. O'zbekistonning uchuvchi kul va mayda qumlarga bo'lgan boy resursi ECCni mahalliy ishlab chiqarish uchun mustahkam asos yaratadi. Shuningdek, hukumatimizning infratuzilmani modernizatsiyalash va barqaror rivojlanishni targ'ib qilish siyosati ECCni joriy etish bilan uyg'unlashadi. Mahalliy manbalardan olinadigan tolalar va bog'lovchilardan foydalanib arzon ECC formulalarini ishlab chiqish bo'yicha akademik va sanoat hamkorliklarining imkoniyati mavjud. Shahar infratuzilmasi, ko'priklar qurilishi va zilzilaviy mustahkamlashda sinov-tajriba loyihalar ECCning amaliy foydasini namoyon etoladi.

5. Xulosalar

ECC barqaror va chidamli qurilishning kelajagi uchun o'zgaruvchan, innovatsion material sifatida e'tirof etiladi. Yuqori egiluvchanlik, yoriqlarga qarshilik va mustahkamlik kabi xususiyatlari bilan ECC O'zbekistonning seysmik va ekologik sharoitlariga juda mos keladi. Amalga oshirish imkoniyati bo'yicha tahlillar resurslarning mavjudligi va talabga mosligini tasdiqlaydi.

O'zbekistonda ECCni joriy qilish uchun quyidagi choralarni tavsiya etamiz:

Tadqiqot va ishlanmalar: Mahalliy materiallardan foydalanib ECC tarkibini ishlab chiqishga qaratilgan milliy tadqiqot dasturlarini yo'lga qo'yish.

Sinov-tajriba loyihalar: Universitetlar va qurilish firmalari bilan hamkorlikda namuna loyihalarni boshlash.

Ta'lim va o'qitish: ECC texnologiyasini fuqarolik muhandisligi o'quv dasturlariga kiritish va quruvchilar uchun maxsus o'quv kurslarini tashkil etish.

Foydalanilgan adabiyotlar / References

- [1] Li, V. C. (2003). On Engineered Cementitious Composites (ECC). Journal of Advanced Concrete Technology, 1(3), 215–230.
- [2] Lepech, M. D., & Li, V. C. (2009). Sustainable infrastructure: ECC for improved resilience. Journal of Advanced Concrete Technology, 7(1), 21–30.
- [3] Zhang, J., & Li, V. C. (2002). Development of durable ECC for structural applications. High Performance Fiber Reinforced Cement Composites Workshop.
- [4] Yang, E. H., & Li, V. C. (2010). Strain-hardening fiber cement optimization and LCA. Cement and Concrete Composites, 32(9), 673–682.
- [5] Michael D. Lepech., Victor C. Li, "Application of ECC for bridge deck link slabs", Materials and Structures, DOI 10.1617/s11527-009-9544-5.

Mualiflar haqida ma'lumot/ Information about the authors

Mukhammadiev Ne'matjon	Toshkent davlat transport universiteti Bino va sanoat inshootlari qurilishi kafedrasini mudiri E-mail: nemat.9108@mail.ru https://orcid.org/0009-0004-2390-6961
Muxammadrasulov Xasanjon Muxammadrasulovich	Toshkent davlat transport universiteti 1-bosqich tayanch doktoranti. E-mail: xasanjonmukhammadrasulov@gmail.com https://orcid.org/0009-0008-2886-7024
D.M.Tursinaliyev	Toshkent davlat transport universiteti

The main factors in determining optimal operating modes when compacting Road foot grills with vibrating catocs

S.I. Komilov¹

¹Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

Abstract:

This article provides information on the peculiarities of compaction of road foot grunt with vibrating catocs and their importance in increasing the stability, strength and load-bearing capacity of the road structure. The sequence of building the road foot structure, the procedure for performing technological processes and the machine – mechanisms used are given. The activities of scientists involved in the production, modernization of compacting machines, determination of the parameters of the interaction between the working body and the grunt, as well as research, have been explained. A table consisting of values reflecting the relationship between the roller mass and the soil layer thickness of the number of transitions in the compaction of the roller has been cited. Graphs are constructed that reflect the relationship between the structural and vibrational parameters of the roller. Opinions have been expressed on the application of the process of dynamic and static compaction of soils. Recommendations for the introduction of the results obtained into production are included.

Keywords:

compaction, vibration, roller, subgrade, soil, awaken force, parameter, working body.

Yo'l poyi gruntlarini vibratsion katoklar bilan zichlashtirishda optimal ish rejimlarini aniqlashdagi asosiy omillar

Komilov S.I.¹

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya:

Ushbu maqolada yo'l poyi gruntlarini vibratsion katoklar bilan zichlashtirishning o'ziga xos xususiyatlari va yo'l tuzilmasini turg'unligi, mustahkamligi va yuk ko'tarish qobiliyatini oshirishdagi ahamiyati to'g'risida ma'lumotlar keltirilgan. Yo'l poyi tuzilmasini barpo etish ketma - ketligi, texnologik jarayonlarni bajarish tartibi va ishlatiladigan mashina – mexanizmlar berilgan. Zichlashtiruvchi mashinalarni ishlab chiqarish, modernizatsiya qilish, ishchi organ va grunt orasidagi o'zaro ta'sir parametrlarini aniqlash shuningdek tadqiq etish bo'yicha shug'ullanadigan olimlar faoliyati izohlab o'tilgan. Katokni zichlashtirishdagi o'tishlar sonini katok massasi va grunt qatlami qalinligi orasidagi bog'liqlikni aks ettiruvchi qiymatlardan iborat jadval keltirib o'tilgan. Katokning konstruktorlik va vibratsion parametrlari orasidagi o'zaro munosabatni aks ettiruvchi grafiklar qurilgan. Gruntlarni dinamik va statik zichlashtirish jarayonini qo'llash bo'yicha fikrlar bildirilgan. Olingan natijalarni ishlab chiqarishga joriy etish bo'yicha tavsiyalar kiritilgan

Kalit so'zlar:

zichlashtirish, vibratsiya, katok, yo'l poyi, grunt, uyg'otuvchi kuch, parametr, ishchi organ

1. Kirish

Har bir davlat iqtisodiyotida transport kommunikatsiya inshootlari muhim o'rin egallaydi. Bu borada mamlakatimizda mazkur sohada, jumladan, avtomobil yo'llarini qurish, xizmat resursini oshirish va ulardan oqilona foydalanish bo'yicha bir necha farmon va qarorlar e'lon qilindi.[1,2] Pirovard maqsad, barpo etilayotgan avtomobil yo'llari texnik iqtisodiy jihatdan sifat ko'rsatkichlarini ta'minlash zarur. Bu esa yo'l xo'jaligi tarmog'ida amalga oshirilayotgan islohotlar shuningdek qurilish ob'ektlarida bajarilayotgan texnologik jarayonlarning samaradorligiga bog'liq bo'ladi. Ma'lumki, avtomobil yo'l tuzilmasini qurish bosqichi bir necha texnologik jarayonlar majmuasidan iborat. Har bir qatlam bo'yicha amalga oshiriladigan qurilish bosqichlari 1-jadvalda keltirilgan [3]. Keltirilgan jarayonlar ichida zichlashtirish muhim ahamiyatga ega. Zero yo'l tuzilmasini har bir qatlamida mazkur texnologik operatsiya amalga oshiriladi. Keyingi yillarda avtomobil yo'llarini tarkibiy elementlarini zichlashtirishda vibratsion katoklar keng qo'llanilmoqda [4].

1-jadval

Yo'l tuzilmasini barpo etishdagi texnologik jarayonlar

I/r	Yo'l tuzilma tarkibiy elementlari	Bajariladigan ish turi	Ishlatiladigan mashinalar
1	Yo'l tuzilma asosi	Tayyorgarlik, trambovka, zichlash	Butakeskich, yumshatgich, katok
2	Yo'l poyi	Surish, tekislash, profilirovka, zichlash	Buldozer, avtogreyder, suv sepuvchi, kombinatsiyali katok
3	Yo'l to'shama asosi	Surish, zichlash, bitum bilan ishlov berish	Buldozer, avtogreyder, mushumli va silliq valetsli katok, gudronator
4	Qoplama	Samosval, asfaltetqizgich, pnevmakatok	Qorishmani yotqizish, zichlash
5	Qoplamaga ishlov berish	Gudranator	Bitum bilan ishlov berish

2. Tadqiqot usuli

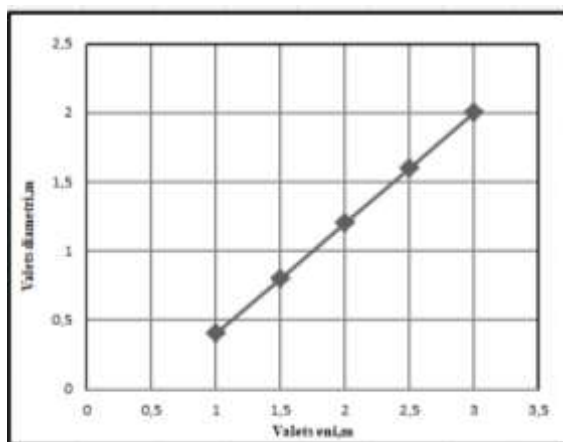
Mazkur turdagi katoklarni ishlab chiqarish, modernizatsiya qilish va ularni samarali qo'llash bo'yicha dunyoning etakchi ishlab chiqaruvchilari, jumladan Caterpillar firmasi (AQSH), BOMAG kompaniyasi (Germaniya), DYNAPAC kompaniyasi (Shvetsiya), Raskat OAJ (Rossiya), HAMM firmasi (Germaniya) va boshqa yirik firma va kompaniyalar shug'ullanmoqda. Shu bilan birga katoklarni ishchi organlari va grunt orasidagi o'zaro ta'sir jarayoni parametrlarini tadqiq etish bo'yicha dunyoning etakchi olimlari Darabi M.K., Geske D.M., Rakowski S., Ryan S., Scherocman J.A., Serafin P.J., West R.C., MDH olimlaridan Kalujskiy .A., Nosov S.V., Repina S.V., Xarxuta N.Ya., Shestopalov A.A., Zaxarenko A.V., Permyakov V.B., Kustarev G.V. o'zbek olimlaridan, T.Q.Xankelov, Kayumov A.J kabi tadqiqotchilar tomonidan ilmiy izlanishlar olib borilmoqda. Tadqiqotchilar tomonidan dala va laboratoriya sharoitida zichlashtiruvchi mashinalarni texnologik ish jarayonini tadqiq etgan holda ekspluatatsiya sharoitidan kelib chiqqan holda texnik va texnologik parametrlar tadqiq etilmoqda [4,5]. Xususan, yo'l poyi gruntlarini zichlashtirishda eng muhim ko'rsatkichlardan bo'lgan katok o'tishlar sonini uning massasi va grunt qatlami qalinligi orasidagi munosabatlar muhim ahamiyatga ega. Mazkur parametrlar orasidagi o'zaro bog'lanishlar 2-jadvalda keltirilgan.

2-jadval

O'tishlar sonini katok massasi va grunt qatlami qalinligi orasidagi bog'liqlik

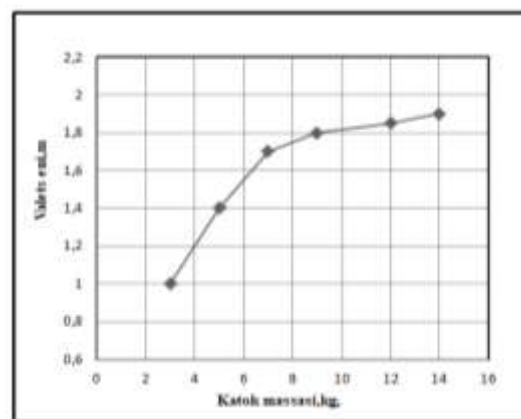
T/r	Katok massasi	Yo'l poyi qatlam qalinligi, sm	O'tishlar soni
1	Yengil (3-4 t)	25-35	6
2	O'rta (6-9 t)	45-55	8
3	O'g'ir (10-16 t)	65-75	12
4	O'ta og'ir (18-25 t)	85-95	16

Shu bilan birga zichlashtirish jarayonida mashina parametrlarini bir-biri bilan bog'liqligi ham muhim ahamiyat kasb etadi. Bu munosabatlarni tadqiq etish orqali jarayonni to'liq tahlil qilish va kattaliklar ko'rsatkichlarini baholash imkoniyati paydo bo'ladi. Jumladan, zichlashtiruvchi mashina valets eni va valets diametri orasidagi munosabat 1-rasmda keltirilgan.



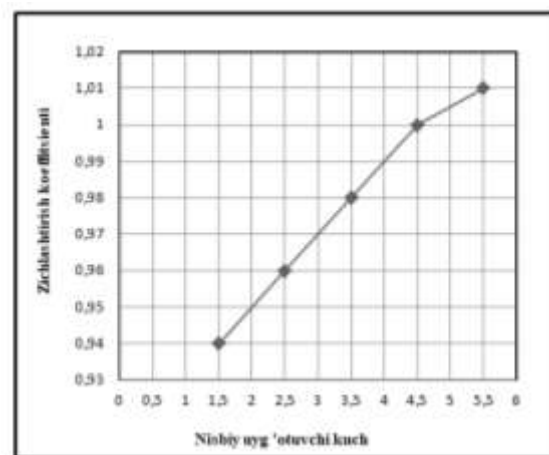
1-rasm. Valets eni va valets diametri orasidagi munosabat

Katok massasi va valets eni orasidagi bog'lanish 2-rasmda keltirilgan.



2-rasm. Katok massasi va valets eni orasidagi munosabat

Yo'l poyi gruntlarini vibrasion usul bo'yicha zichlashtirishda asosan ishchi organ valida o'rnatilgan vibroelementlarni harakati natijasida hosil bo'lgan uyg'otuvchi kuchlar ta'siridagi tebranishlar chastotasi va amplitudalari tadqiqi muhim ahamiyatga ega [4,5]. Shu sababli nisbiy uyg'otuvchi kuchlar bilan zichlashtirish koeffitsienti orasidagi o'zaro bog'liqlik yo'l poyi mustahkamligi, turg'unligi va yuk ko'tarish qobiliyatini ta'minlaydi. Bir narsani ta'kidlash kerakki, yo'l poyini barcha qatlamlarida ham zichlashtirishning dinamik ko'rinishdagi vibrasion usullarini qo'llash tavsiya etilmaydi. Zero dinamik zichlashtirish jarayoni gruntlarning mustahkamligi ko'rsatkichlarining ma'lum chegaraviy qiymatigacha amalga oshiriladi. Ko'rsatilgan talablar asosida bajarilmagan ishlar yo'l poyi uchun talab etilgan zichlashtirish koeffitsiyentini ta'minlamaydi. Tajribadan kelib chiqqan holda odatda, yo'l poyining dastlabki va yuqori qatlamlari uchun statik usulda zichlashtirish tavsiya etiladi. Bu boradagi tajriba tadqiqot natijalari 3-rasmda keltirilgan.



3-rasm. Gruntning zichlashtirish parametrlari va nisbiy uyg'otuvchi kuch orasidagi munosabat

3. Xulosalar

Yuqorida keltirilgan munosabatlardan shuni tasdiqlash mumkinki, yo'l poyi gruntlarini zichlashtirishda mashinaning konstruktorlik, texnologik va vibratsion parametrlar bilan birga gruntlarning fizik mexanik xossalari dala va laboratoriya sharoitidagi tadqiqi muhim ahamiyat kasb etadi. Zero zichlashtirish mashinalarini ishlab chiqaruvchi yirik firma va kompaniyalar mashina ishchi organ parametrlarini aynan tashqi muhit bilan o'zaro ta'sir jarayoni qonuniyati bilan bog'laydi.

Foydalanilgan adabiyotlar / References

[1] Yo'l xo'jaligi sohasini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining Qarori PQ-330.10.10.2023 y.

[2] Vazirlar mahkamasi qarori. VMQ-901.30.12.2024 y. Avtomobil yo'llarini qurish, rekonstruksiya qilish, ta'mirlash va ulardan foydalanish ishlarini tashkil etish chora-tadbirlari to'g'risida.

[3] M.Xudaykulov, T.Q.Xankelov, S.I.Komilov. Avtomobil yo'llari poyida ishlatiladigan gruntlarni zichlashtirishda foydalaniladigan katoklarning o'rni. Mexanika va texnologiya jurnali. №.1. NMQI. 2023 y. 205-212 b.

[4] Komilov S.I. Distinctive features of vibrational compaction of subgrade soils with rollers. International multidisciplinary journal for research development. volume12, issue 05(2025).p.678-683.

[5] Komilov S.I. Avtomobil yo'llari yo'l tuzilmasini katoklar bilan zichlashtirishning metodologik asoslari. Jizpi xabarnomasi. 2025-yil №1.59-66 b.

Mualliflar to'g'risida ma'lumot / Information about authors

**Komilov
Samandar
Iskandarovich**

Toshkent davlat transport
universiteti Texnologik mashinalar
muhandisligi kafedrası, PhD,
dotsent.

Tel.: +99893-232-75-55,

E-mail: skomilov1974@mail.ru



Method of detecting interaction parameters between the physical model valet and grunt

S.I. Komilov¹

¹Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This article presents the procedures and methods for conducting experimental work in determining the laws of interaction of soils with a physical model working body in a laboratory setting. In particular, devices consisting of a physical model, a soil corridor and a movable trolley valets are given, which are used in conducting experimental work. An explanation has also been cited for the clay grunts used to carry out experimental work. In particular, the values the moisture intervals of the soils, compaction coefficients, indicators of the number of plasticity are shown in the table. An expression that determines the moisture content of the soil has been cited. Graphs are constructed showing the relationship of parameters interconnected by the soils moisture feedback. In particular, when the values of the compaction coefficients differ, the internal friction angle of the soils and the state of moisture dependence of the tensile force magnitudes are expressed, as well as the description of the physical model used in the experiment and the physical mechanical properties of the soils used are also given.

Keywords: experience, physical model, soil corridor, interaction, physical mechanical properties, factors, magnitudes.

Fizik model valetsi va grunt orasidagi o'zaro ta'sir paramaterlarini aniqlash uslubi

Komilov S.I.¹

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Ushbu maqolada laboratoriya sharoitida fizik model ishchi organi bilan gruntlarning o'zaro ta'sir qonuniyatlarini aniqlashdagi tajriba ishlarini o'tkazish tartiblari va uslublari keltirilgan. Jumladan, tajriba ishini o'tkazishda qo'llaniladigan fizik model, gruntli yo'lak va harakatlanadigan aravachali valetsdan iborat qurilmalar berilgan. Tajriba ishlarini o'tkazishda foydalaniladigan loysimon gruntlarga ham izoh keltirib o'tilgan. Jumladan, gruntlarning namlik oraliqlari, zichlashtirish koeffitsientlari, plastiklik soni ko'rsatkichlarini qiymatlar oralig'i jadvalda ko'rsatilgan. Gruntning namligini aniqlovchi ifoda keltirib o'tilgan. Gruntning namlik ko'rsatkichlari bilan o'zaro bog'langan parametrlar munosabatini ko'rsatuvchi grafiklar qurilgan. Xususan, zichlashtirish koeffitsientlari qiymatlari turlicha bo'lganda gruntlarning ichki ishqalanish burchagi va ilashish kuchi kattaliklarini namlikka bog'liqlik holati ifodalangan. Shuningdek tajribada qo'llanilgan fizik modelni tavsifi va ishlatiladigan gruntlarning fizik mexanik xossalari ham berilgan.

Kalit so'zlar: tajriba, fizik model, gruntli yo'lak, o'zaro ta'sir, fizik mexanik xossa, omillar, kattaliklar.

1. Kirish

Ma'lumki, har bir davlat iqtisodiyotida avtomobil yo'llari muhim o'rin tutadi. Zero yo'lovchilarni manzillariga o'z vaqtida yetib borishi va tashilayotgan yuklarni xavfsiz olib borishni ta'minlash, yo'llarni sifat ko'rsatkichlari bilan bog'liq. Shu sababli, yo'llarni qurish, mavjudlarini ta'mirlash, olib borilayotgan islohotlar samarasi bilan bog'liq. Bu borada ko'plab qaror va farmonlar chiqarilmoqda [1]. Yo'l tuzilmalarini barpo etishda bir necha texnologik jarayonlar amalga oshiriladi. Jumladan, ular orasida katoklar yordamida amalga oshiriladigan zichlashtirish ishlari muhim ahamiyat ega [2]. Zichlashtirish mashinalari ishchi organlari va yo'l tuzilma gruntlari orasidagi o'zaro ta'sirini laboratoriya sharoitida tadqiq etish mazkur texnologik jarayonlarni fizik mohiyatini to'liqroq tushinish imkoniyatini beradi.

2. Tadqiqot usuli

Keyingi yillarda yer qazish-tashish, yo'l qurilish mashinalari tomonidan bajarilayotgan texnologik jarayonlarni fizik modellarda o'tkazish va o'zaro ta'sir parametrlarini aniqlash bo'yicha tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Laboratoriya sharoitida o'tkaziladigan joylarni va qurilmalarni sifatli va puxta tayyorlash, o'rnatish va ishga tushirish tadqiqot ishlari samaradorligini ta'minlaydi. Jumladan, zichlashtirish texnologik jarayonlari o'zaro ta'sir qonuniyatlarini aniqlash bo'yicha ishlatiladigan qurilma va jihozlar 1-rasmda keltirilgan. Fizik model konstruktorlik talablar asosida tayyorlangan bo'lib, asosan zichlashtirish mashinasi ishchi organi bo'lgan valetni grunt bilan o'zaro ta'sir jarayoni parametrlari va ko'rsatkichlarini aniqlashga mo'ljallangan qurilma sifatida foydalaniladi. Qurilma asosan, rama, valets, dvigatel va zanjirli uzatma kabi tarkibiy qismlardan iborat va vibratsion usulda yo'l poyini qurishda qurilish materiallari sifatida foydalaniladigan loysimon, supesli, suglinokli va loysimon gruntlarni zichlaydi.

Tebranishlarni valets valida o'rnatilgan vibroelenentlar hosil qiladi.

Tajriba ishini o'tkazishda ishlatiladigan mazkur quilmalar majmuasi asosan harakatlanuvchi arava, ishchi organi ko'tarib tushiruvchi gidrosilindrlar va vibratsion zichlashtirish elementlariga ega valetslardan iborat.



1-rasm. Tajriba o'tkazish joyi va qurilmalar.

a) fizik model; b) gruntli yo'lak; c) fizik modelni aravachaga o'rnatish

Tajriba ishlarini o'tkazishdan oldin gruntli yo'lakda tayyorlangan gruntni namligi laboratoriya sharoitida aniqlanadi. Zarur hollarda muqobil namlikka etkaziladi.

3. Natijalar

Tajriba ishlarini o'tkazishdan oldin foydalaniladigan loysimon gruntlarning turlari, fizik mexanik xossalari aniqlanadi. Bu esa o'z navbatida olib borilayotgan eksperiment tadqiqot natijalari aniqligini oshiradi. Yo'l poyini qurishda qurilish materiali sifatida asosan supes, suglinok va loysimon turiga mansub gruntlar ishlatiladi [3,4]. Mazkur holatdan kelib chiqib, keltirilgan gruntlarning turi va fizik mexanik xossalari tegishli qiymatlar laboratoriya sharoitida aniqlanadi. Dala sharoitida mavjud avtomobil yo'llarida yo'l poyi gruntlarini namligi yillik mavsumga bog'liq holda 13% dan 22% gacha o'zgarishini ko'rsatadi. Me'yoriy hujjatlarga [5] asosan yo'l

poyi ishchi qatlamidagi gruntning zichlashtirish koeffitsienti 0,96 - 1,00 gacha, supesning plastiklik soni 1-7 gacha o'zgarishi ko'rsatilgan. Shundan kelib chiqib: namlik miqdori $W = 13-22\%$, zichlashtirish koeffitsienti $K_3 \approx 0,96-1,0$; plastiklik soni $I = 1-7$ deb belgilandi. Eksperiment rejasi 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

Tajribadagi omil ko'rsatkichlari

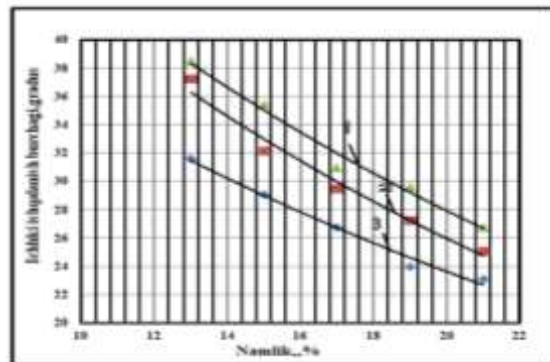
Tajriba raqami №	Namlik W_n	Zichlashtirish koeffitsienti K_3	Plastiklik soni I_p
1	22	1	7
2	13	1	7
3	22	0,96	7
4	13	0,96	7
5	22	1	1
6	13	1	1

Omillarga ishlov berishdan oldin, gruntning namligi quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_0} \cdot 100\%; \quad (1)$$

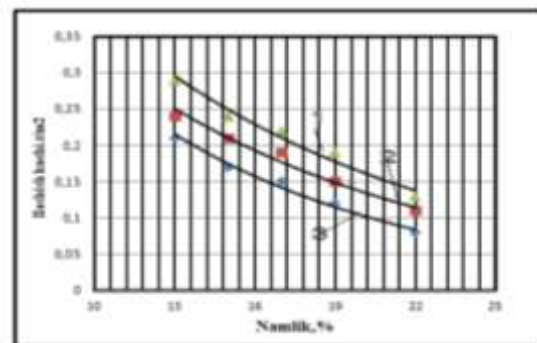
bu yerda m_1 - quritilguncha grunt bilan birgalikda idishni massasi; m_2 - quritilgandan keyin grunt bilan birgalikda idishni massasi; m_0 - idish massasi.

Shundan so'ng gruntning boshqa parametrlari ketma - ket aniqlanib, namlik ko'rsatkichlari bilan o'zaro bog'langan grafiklar quriladi



2-rasm. Grunt ichki ishqalanish burchagini grunt namligiga bog'liqligi. $PI = 5$;

1- $K_u=0,96$; 2- $K_u=0,98$; 3- $K_u=1$.



3-rasm. Grunt ilashish kuchini grunt namligiga bog'liqligi. $PI = 5$;

1- $K_u=0,96$; 2- $K_u=0,98$; 3- $K_u=1$.



4. Xulosalar

Laboratoriya sharoitida fizik modellar yordamida o'tkaziladigan tajriba ishlarini o'tkazishdan oldin zichlashtiruvchi mashinalar ishchi organlari parametrlari va gruntning fizik mexanik xossalari inobatga olinadi. Xususan, Vales dimateri, eni va rama o'lchamlari shular jumlasidandir. Gruntlarda esa eng qulay namlik, maksimal zichlik va zichlashtirish koeffitsienti qiymatlarini aniqlashimiz zarur. Pirovard maqsad, fizik model valetsi va grunt ta'siri jarayonida dinamik va vibration parametrlar aniqlanishi zarur.

Foydalanilgan adabiyotlar / References

- [1] Yo'l xo'jaligi sohasini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining qarori 10.10.2023 y. PQ-330.
- [2] Rustamov K.J., Komilov S.I. Er qazish va yo'l qurilish mashinalari konstruksiyasi.2-modul. Hisoblash va loyihalash. o'quv qo'llanma. Toshkent. Complex print nashriyoti 2022 y. 168-174 b.
- [3] Каюмов А.Д., Махмудова Д.А., Худайкулов Р.М.Поведение лессовых грунтов. Автомобильные дороги. №06 (991), 2014. 93-94 с.

[4] Каюмов А.Д. Уплотнение и расчетные характеристики лессовых грунтов. - Т: Фан, 2004. - 120 с.

[5] SHNQ 2.05.02.22. "Avtomobil yo'llari shaharsozlik normalari va qoidalari.Toshkent 2022 y.-130 b.

[6] Xankelov T.Q., Komilov S.I. Avtomobil yo'llari yo'l poyidagi lyossimon gruntlarni, zichlashtirishga qo'yiladigan talablar.The scientific journal vehicles and roads,Toshkent ., 2023 y., №1, 6-11 b.

Mualliflar to'g'risida ma'lumot / Information about authors

**Komilov
Samandar
Iskandarovich**

Toshkent davlat transport
universiteti Texnologik mashinalar
muhandisligi kafedrasi,
PhD,dotsent.
Telegram nomeri:
+99893-232-75-55,
E-mail: skomilov1974@mail.ru

Methodological approaches to the implementation of the calculation of shell pipelines beyond the limits of elasticity under cyclic loading

A. Abdusattarov¹, N. Ruzieva¹

¹Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This article provides methodological approaches to the implementation of the calculation of shell pipelines beyond the limits of elasticity under cyclic loading. For this purpose, the formulation of the problem and the process of deformation of pipeline elements – cylindrical shells beyond the limits of elasticity under repeated variable loading are formulated. Based on the Hamilton-Ostrogadsky variational principle, equations of motion are derived for main pipelines – cylindrical shells interacting with the ground under single and cyclic loads with appropriate boundary and initial conditions beyond the limits of elasticity under cyclic loading. A procedure for solving a boundary value problem using the finite difference method and “elastic” solutions has been developed. The stress-strain state of the compensator pipeline under repeated loading is investigated, taking into account the elastic-plastic properties. For a comparative assessment, an elastic calculation was performed using the ANSYS software package. The calculation results make it possible to estimate the stress-strain state of pipeline systems under various types of loads, reduce the computational process time by 1.3-1.4 times and increase the efficiency of design work by 11-15%.

Keywords: Elastic limit, cylindrical shell, Hamilton-Ostrogadsky variational principle, finite difference method and “elastic” solutions, equilibrium equations

Методические подходы к реализации расчета трубопроводов – оболочек за пределами упругости при циклическом нагружении

Абдусаттаров А.¹, Рузиева Н.¹

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация: В данной статье приводятся методические подходы к реализации расчета трубопроводов – оболочек за пределами упругости при циклическом нагружении. Для этого сформулирована постановка задачи и процесс деформирования элементов трубопроводов – цилиндрических оболочек за пределами упругости при повторно-переменном нагружении. На основе вариационного принципа Гамильтона-Острогадского выведены уравнения движения для магистральных трубопроводов – цилиндрических оболочек, взаимодействующих с грунтом при однократных и циклических нагрузках с соответствующими граничными и начальными условиями, за пределами упругости при циклическом нагружении. Разработана процедура решения краевой задачи с применением метода конечных разностей и “упругих” решений. Исследовано напряженно-деформированное состояние трубопровода-компенсатора при повторном нагружении с учетом упругопластических свойств. Для сравнительной оценки произведен упругий расчет с использованием комплекса программ ANSYS. Результаты расчета позволяют оценить напряженно-деформированное состояние трубопроводных систем при различных видах нагружений, сократить сроки вычислительного процесса в 1,3-1,4 раза и повысить результативность проектных работ на 11-15%.

Ключевые слова: Предел упругости, цилиндрическая оболочка, вариационного принципа Гамильтона-Острогадского, метод конечных разностей и “упругих” решений, уравнения равновесия

1. Введение

Следуя [1,4], приводим сначала построение геометрических и физических соотношений для цилиндрической части магистрального трубопровода. Пусть R – радиус дуги окружности средней поверхности, h – толщина трубы, $\alpha = z/R$ – относительное расстояние в направлении образующей, $\beta = s/R$ – центральный угол, пропорциональный дуге S поперечного круга. В этой системе координат формула для квадрата длины линейного элемента средней поверхности принимает вид [5]

$$dS^2 = R^2 d\alpha^2 + R^2 d\beta^2. \quad (1)$$

Здесь коэффициенты $A=B=R$, а главные кривизны равны:

$$k_1 = 0; k_2 = 1/R = \text{const} \quad (2)$$

Представим коэффициенты Ламе – H_1, H_2, H_3 и их отношения в виде ряда по переменной γ [1]:

$$H_1 = A(1 + k_1\gamma); H_2 = B(1 + k_2\gamma); H_3 = 1; \quad \frac{H_2}{H_1} = \frac{B}{A}(1 + k_2\gamma);$$

$$\frac{1}{H_2} = \frac{1}{B}(1 - k_2\gamma + k_2^2\gamma^2);$$



$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{A}{B} (1 - k_2\gamma + k_2^2\gamma^2) \quad (3)$$

Перемещения произвольной точки трубопровода представим в виде

$$U_\alpha = U - \frac{\gamma}{A} \cdot \frac{\partial W}{\partial \alpha};$$

$$U_\beta = (1 + k_2\gamma)V - \frac{\gamma}{B} \cdot \frac{\partial W}{\partial \beta};$$

$$U_\gamma = W(\alpha, \beta), \quad (4)$$

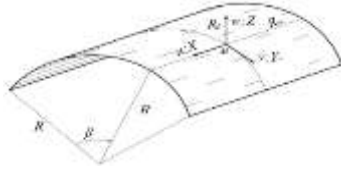


Рис.1. Положительные направления напряжений и перемещений

Где $U = U(\alpha, \beta)$, $V = V(\alpha, \beta)$, $W = W(\alpha, \beta)$ перемещения точки срединной поверхности оболочки по нормали на расстояние γ .

Положительные направления перемещений и заданных поверхностных сил X, Y, Z показаны на рис. 1. Для определения деформаций, согласно (3) и (4), получили следующие формулы:

$$e_{\alpha\alpha} = \frac{1}{R} \frac{\partial U}{\partial \alpha} - \frac{\gamma}{R^2} \frac{\partial^2 W}{\partial \alpha^2}; \quad e_{\beta\beta} = \frac{\partial V}{R \partial \beta} - (\gamma - k_2\gamma^2) \frac{\partial^2 W}{R^2 \partial \beta^2} + (1 - k_2\gamma + k_2^2\gamma^2) k_2 W;$$

$$e_{\alpha\beta} = (1 - k_2\gamma + k_2^2\gamma^2) \frac{\partial U}{R \partial \beta} - (\gamma - k_2\gamma^2) \frac{\partial^2 W}{R^2 \partial \alpha \partial \beta} + (1 + k_2\gamma) \frac{\partial V}{R \partial \alpha} - \frac{\gamma}{R^2} \frac{\partial^2 W}{\partial \alpha \partial \beta}. \quad (5)$$

Предположим, что трубопровод – оболочка деформируется за пределами упругости при переменном нагружении. В этом случае напряженно – деформированное состояние трубопровода определяется на основе теории малых упругопластических деформаций [1,2]. Следуя теории В.В.Москвитина [5], введем разности

$$\bar{e}_{ij}^{(n)} = (-1)^n (e_{ij}^{(n-1)} - e_{ij}^{(n)});$$

$$\bar{U}_i^{(n)} = (-1)^n (U_i^{(n-1)} - U_i^{(n)});$$

$$\bar{\sigma}_{ij}^{(n)} = (-1)^n (\sigma_{ij}^{(n-1)} - \sigma_{ij}^{(n)}). \quad (6)$$

Согласно формулам (5) и (6), для определения компонентов перемещений $\bar{U}_i^{(n)}$ и деформаций $\bar{e}_{ij}^{(n)}$ при n -ном нагружении имеем следующие соотношения:

$$\bar{U}_\alpha^{(n)} = \bar{U}^{(n)} - \frac{\gamma}{A} \cdot \frac{\partial \bar{W}^{(n)}}{\partial \alpha};$$

$$\bar{U}_\beta^{(n)} = (1 + k_2\gamma) \bar{V}^{(n)} - \frac{\gamma}{B} \cdot \frac{\partial \bar{W}^{(n)}}{\partial \beta};$$

$$\bar{U}_\gamma^{(n)} = \bar{W}^{(n)}(\alpha, \beta); \quad (4.37)$$

$$\bar{e}_{\alpha\alpha}^{(n)} = \frac{1}{R} \frac{\partial \bar{U}^{(n)}}{\partial \alpha} - \frac{\gamma}{R^2} \frac{\partial^2 \bar{W}^{(n)}}{\partial \alpha^2};$$

$$\bar{e}_{\beta\beta}^{(n)} = \frac{\partial \bar{V}^{(n)}}{R \partial \beta} - (\gamma - k_2\gamma^2) \frac{\partial^2 \bar{W}^{(n)}}{R^2 \partial \beta^2} + (1 - k_2\gamma + k_2^2\gamma^2) k_2 \bar{W}^{(n)};$$

$$\bar{e}_{\alpha\beta}^{(n)} = (1 - k_2\gamma + k_2^2\gamma^2) \frac{\partial \bar{U}^{(n)}}{R \partial \beta} - (\gamma - k_2\gamma^2) \frac{\partial^2 \bar{W}^{(n)}}{R^2 \partial \alpha \partial \beta} +$$

$$+ (1 + k_2\gamma) \frac{\partial \bar{V}^{(n)}}{R \partial \alpha} - \frac{\gamma}{R^2} \frac{\partial^2 \bar{W}^{(n)}}{\partial \alpha \partial \beta}. \quad (7)$$

Для составления уравнений равновесия элемента трубопровода – оболочки определяем усилия и моменты.

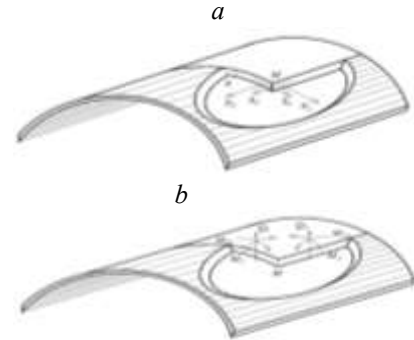


Рис. 2. Нормальные и сдвигающие усилия (a) и изгибающие и крутящие моменты (b)

На рис.2 показаны положительные направления нормальных и сдвигающих усилий, а также изгибающих и крутящих моментов. При переменном нагружении компоненты напряжений и деформаций связаны следующим образом [1]:

$$\sigma_{\alpha\alpha}^{(n)} = G_1 \left[\left(e_{\alpha\alpha}^{(n)} + \mu e_{\beta\beta}^{(n)} \right) - \omega^{(n)} \left(\bar{e}_{\alpha\alpha}^{(n)} + \mu \bar{e}_{\beta\beta}^{(n)} \right) + \sum_{m=1}^{k-1} \omega^{0(n-m)} \left(\bar{e}_{\alpha\alpha}^{0(n-m)} + \mu \bar{e}_{\beta\beta}^{0(n-m-1)} \right) \right]$$

$$\sigma_{\beta\beta}^{(n)} = G_1 \left[\left(e_{\beta\beta}^{(n)} + \mu e_{\alpha\alpha}^{(n)} \right) - \omega^{(n)} \left(\bar{e}_{\beta\beta}^{(n)} + \mu \bar{e}_{\alpha\alpha}^{(n)} \right) - \sum_{m=1}^{k-1} \omega^{0(n-m)} \left(\bar{e}_{\beta\beta}^{0(n-m)} + \mu \bar{e}_{\alpha\alpha}^{0(n-m-1)} \right) \right]$$

$$\sigma_{\alpha\beta}^{(n)} = G_1 \left\{ e_{\alpha\beta}^{(n)} - \omega^{(n)} \bar{e}_{\alpha\beta}^{(n)} + \sum_{m=1}^{k-1} \omega^{0(n-m)} \bar{e}_{\alpha\beta}^{0(n-m)} \right\}. \quad (8)$$

2. Методы и решения задач

При переменном нагружении для получения уравнения движения цилиндрической оболочки – трубопровода воспользуемся принципом Гамильтона – Остроградского [8]:

$$\int_t (\delta T^{(n)} - \delta I^{(n)} + \delta A^{(n)}) dt = 0 \quad (9)$$

Вариации кинетической энергии определяется по аналогии:

$$\int_t \delta T^{(n)} dt = \int \int \left\{ \rho h \frac{\partial U^{(n)}}{\partial t} \delta U^{(n)} + \left[\rho \left(h + k_2 \frac{h^3}{12} \right) \frac{\partial V^{(n)}}{\partial t} - \rho k_2 \frac{h^3}{12 R} \frac{\partial^2 W^{(n)}}{\partial t \partial \beta} \right] \delta V^{(n)} + \left[\rho h \frac{\partial W^{(n)}}{\partial t} - \rho \frac{h^3}{12 R^2} \frac{\partial^3 W^{(n)}}{\partial t \partial \alpha^2} + \rho \frac{h^3}{12 R^2} \frac{\partial^3 W^{(n)}}{\partial t \partial \beta^2} \right] \delta W^{(n)} \right\} R^2 d\alpha d\beta \Big|_t +$$

$$\begin{aligned}
& + \rho k_2 \left[\frac{h^3}{12R} \frac{\partial^2 V^{(n)}}{\partial t \partial \beta} - \rho \frac{h^3}{12R^2} \frac{\partial^3 W^{(n)}}{\partial t \partial \beta^2} \right] \delta W^{(n)} \Big|_t R^2 d\alpha d\beta \Big|_t + \\
& + \int_{\beta} \rho \frac{h^3}{12R} \frac{\partial^2 W^{(n)}}{\partial t \partial \alpha} \delta W^{(n)} R d\beta \Big|_t - \int_{\alpha} \left(\rho k_2 \frac{h^3}{12} \frac{\partial V^{(n)}}{\partial t} - \right. \\
& \left. - \rho \frac{h^3}{12R} \frac{\partial^2 W^{(n)}}{\partial t^2 \partial \beta} \right) \delta W^{(n)} R d\alpha \Big|_t - \\
& - \int \int \int_{\beta} \left[\rho h \frac{\partial^2 U^{(n)}}{\partial t^2} \delta U^{(n)} + \left(\rho \left(h + k_2^2 \frac{h^3}{12} \right) \frac{\partial^2 V^{(n)}}{\partial t^2} - \right. \right. \\
& \left. \left. - \rho k_2 \frac{h^3}{12R} \frac{\partial^3 W^{(n)}}{\partial t^2 \partial \beta} \right) \delta V^{(n)} + \left[\rho h \frac{\partial^2 W^{(n)}}{\partial t^2} - \right. \right. \\
& \left. \left. + \rho \frac{h^3}{12R^2} \frac{\partial^4 W^{(n)}}{\partial t^2 \partial \alpha^2} + \rho k_2 \frac{h^3}{12R} \frac{\partial^3 V^{(n)}}{\partial t^2 \partial \beta} - \right. \right. \\
& \left. \left. - \rho \frac{h^3}{12R^2} \frac{\partial^4 W^{(n)}}{\partial t^2 \partial \beta^2} \right] \delta W^{(n)} \right] R^2 d\alpha d\beta dt + \\
& + \int_t \int_{\alpha} \left(\rho k_2 \frac{h^3}{12} \frac{\partial^2 V^{(n)}}{\partial t^2} - \rho \frac{h^3}{12R} \frac{\partial^3 W^{(n)}}{\partial t^2 \partial \beta} \right) \delta W^{(n)} R d\alpha dt \Big|_{\beta} - \\
& - \int_t \int_{\beta} \rho \frac{h^3}{12R} \frac{\partial^3 W^{(n)}}{\partial t^2 \partial \alpha} \delta W^{(n)} R d\beta dt \Big|_{\alpha}. \quad (10)
\end{aligned}$$

Определяем также вариации работы внешних сил:

$$\begin{aligned}
\int_t \delta A^{(n)} dt &= \int_t \int_{\beta} \int_{\alpha} \left\{ \left[N^{(n)}(P_1^{(n)}) + N^{(n)}(q_1^{(n)}) \right] \delta U^{(n)} + \right. \\
&+ \left[N^{(n)}(P_2^{(n)}) + N^{(n)}(q_2^{(n)}) \right] \delta V^{(n)} + \\
&+ \left[\frac{\partial}{R \partial \alpha} \left(M^{(n)}(P_1^{(n)}) + M^{(n)}(q_1^{(n)}) \right) + \right. \\
&+ \frac{\partial}{R \partial \beta} \left(M^{(n)}(P_2^{(n)}) + M^{(n)}(q_2^{(n)}) \right) \Big] \delta W^{(n)} + \\
&+ Q^{(n)}(P_3^{(n)}) + Q^{(n)}(q_3^{(n)}) \Big] \delta W^{(n)} \cdot \\
&\cdot R^2 d\alpha d\beta dt + \int_t \int_{\beta} \left\{ N^{(n)}(\phi_1^{(n)}) \delta U^{(n)} + \right. \\
&+ N^{(n)}(\phi_2^{(n)}) \delta V^{(n)} + \\
&+ \left[Q^{(n)}(\phi_3^{(n)}) + \frac{\partial M^{(n)}(\phi_2^{(n)})}{R \partial \beta} \right] \delta W^{(n)} - \\
&- M^{(n)}(\phi_1^{(n)}) \delta \frac{\partial W^{(n)}}{R \partial \alpha} \Big\} R d\beta dt \Big|_{\alpha}, \\
&\int_t M^{(n)}(\phi_2^{(n)}) \delta W^{(n)} dt \Big|_{\beta} + \\
&+ \int_t \int_{\alpha} \left\{ N^{(n)}(f_1^{(n)}) \delta U^{(n)} + N^{(n)}(f_2^{(n)}) \delta V^{(n)} + \right. \\
&+ \left[Q^{(n)}(f_3^{(n)}) + \frac{\partial M^{(n)}(f_1^{(n)})}{R \partial \alpha} \right] \delta W^{(n)} - \\
&- M^{(n)}(f_2^{(n)}) \delta \frac{\partial W^{(n)}}{R \partial \beta} \Big\} R d\alpha dt \Big|_{\beta} - \\
&- \int_t M^{(n)}(f_1^{(n)}) \delta W^{(n)} dt \Big|_{\alpha}. \quad (11)
\end{aligned}$$

Переходим к определению вариации потенциальной энергии в данной постановке по формуле, где учитывая соотношения (7) – (8) и выполняя операции интегрирования по частям, после некоторых преобразований для вариации потенциальной энергии при переменном нагружении получим следующие выражения:

$$\int_t \delta \Pi dt = \int_t \int_{\beta} \left(\left(N_{\alpha}^{(n)} \delta U^{(n)} + N_{\alpha\beta}^{(n)} \delta V^{(n)} \right) \right.$$

$$\begin{aligned}
& + \left(\frac{\partial M_{\alpha}^{(n)}}{R \partial \alpha} + 2 \frac{\partial M_{\alpha\beta}^{(n)}}{R \partial \beta} \right) \delta W^{(n)} - M_{\alpha}^{(n)} \delta \frac{\partial W^{(n)}}{R \partial \alpha} \Big) R d\beta dt \Big|_{\alpha} \\
& - \int_t M_{\alpha\beta}^{(n)} \delta W^{(n)} \Big|_{\alpha} \Big|_{\beta} dt \\
& + \int_t \int_{\alpha} \left(\left(1 + k_2^2 \frac{h^2}{12} \right) N_{\alpha\beta}^{(n)} \delta U^{(n)} + \right. \\
& + N_{\beta}^{(n)} \delta V_{\alpha}^{(n)} + \left(\frac{\partial M_{\beta}^{(n)}}{R \partial \beta} + 2 \frac{\partial M_{\alpha\beta}^{(n)}}{R \partial \alpha} \right) \delta W^{(n)} - \\
& - M_{\beta}^{(n)} \delta \frac{\partial W^{(n)}}{R \partial \beta} \Big) R d\alpha dt \Big|_{\beta} - \int_t M_{\alpha\beta}^{(n)} \delta W^{(n)} \Big|_{\alpha} \Big|_{\beta} dt - \\
& - \int_t \int_{\beta} \int_{\alpha} \left(\frac{\partial N_{\alpha}^{(n)}}{R \partial \alpha} + \left(1 + k_2^2 \frac{h^2}{12} \right) \frac{\partial N_{\alpha\beta}^{(n)}}{R \partial \beta} \right) \delta U^{(n)} + \\
& + \left(\frac{\partial N_{\alpha\beta}^{(n)}}{R \partial \alpha} + 2 \frac{\partial N_{\beta}^{(n)}}{R \partial \beta} \right) \delta V^{(n)} + \left(\frac{\partial^2 M_{\alpha}^{(n)}}{R^2 \partial \alpha^2} + \frac{\partial^2 M_{\alpha\beta}^{(n)}}{R^2 \partial \alpha \partial \beta} + \right. \\
& + 2 \frac{\partial^2 M_{\alpha\beta}^{(n)}}{R^2 \partial \alpha \partial \beta} - \left(1 + k_2^2 \frac{h^2}{12} \right) k_2 N_{\beta}^{(n)} \Big) \delta W^{(n)} \Big) R d\alpha d\beta dt,
\end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned}
N_{\alpha}^{(n)} &= \int_{\gamma} \sigma_{\alpha\alpha}^{(n)} d\gamma; \quad N_{\beta}^{(n)} = \int_{\gamma} \sigma_{\beta\beta}^{(n)} d\gamma; \\
N_{\alpha\beta}^{(n)} &= \int_{\gamma} \sigma_{\alpha\beta}^{(n)} d\gamma; \quad M_{\alpha}^{(n)} = \int_{\gamma} \sigma_{\alpha\alpha}^{(n)} \gamma d\gamma; \quad (13) \\
M_{\beta}^{(n)} &= \int_{\gamma} \sigma_{\beta\beta}^{(n)} \gamma d\gamma; \quad M_{\alpha\beta}^{(n)} = \int_{\gamma} \sigma_{\alpha\beta}^{(n)} \gamma d\gamma.
\end{aligned}$$

Теперь определяем внутренние усилия $N_i^{(n)}$ и моменты $M_i^{(n)}$ по (13) при переменном нагружении с учетом выражения напряжений (8):

$$\begin{aligned}
M_{\alpha}^{(n)} &= \int_{\gamma} \sigma_{\alpha\alpha}^{(n)} \gamma d\gamma = G_1 \left[\left(a_{41} - a_{41\omega}^{(n)} \right) \frac{\partial^2 W^{(n)}}{\partial \alpha^2} - \right. \\
&- \left(a_{42} - a_{42\omega}^{(n)} \right) \frac{\partial^2 W^{(n)}}{\partial \beta^2} - \left(a_{43} - a_{43\omega}^{(n)} \right) W^{(n)} \Big]; \\
M_{\beta}^{(n)} &= \int_{\gamma} \sigma_{\beta\beta}^{(n)} \gamma d\gamma = G_1 \left[\left(a_{51} - a_{51\omega}^{(n)} \right) \frac{\partial^2 W^{(n)}}{\partial \beta^2} - \right. \\
&- \left(a_{52} - a_{52\omega}^{(n)} \right) W^{(n)} - \left(a_{53} - a_{53\omega}^{(n)} \right) \frac{\partial^2 W^{(n)}}{\partial \alpha^2} \Big], \\
M_{\alpha\beta}^{(n)} &= \int_{\gamma} \sigma_{\alpha\beta}^{(n)} \gamma d\gamma = G \left[\left(a_{61} - a_{61\omega}^{(n)} \right) \frac{\partial U^{(n)}}{\partial \beta} + \right. \\
&+ \left(a_{62} - a_{62\omega}^{(n)} \right) \frac{\partial^2 W^{(n)}}{\partial \alpha \partial \beta} + \left(a_{63} - a_{63\omega}^{(n)} \right) \frac{\partial V^{(n)}}{\partial \alpha} \Big], \quad (14)
\end{aligned}$$

где коэффициенты a_{ij} и $a_{ij\omega}$ например, определяются по следующим формулам:

$$a_{11} = \frac{h}{R}; \quad a_{12} = 0; \quad a_{13} = \frac{h\mu}{R};$$

$$a_{13\omega} = \frac{\mu}{R} \int_{\gamma} \omega^{(n)} d\gamma; \quad a_{14} = \mu k_2 \frac{h^3}{12R^2};$$

$$a_{15} = \mu \left(h + k_2^2 \frac{h^3}{12} \right) k_2;$$

$$a_{11\omega} = \frac{1}{R} \int_{\gamma} \omega^{(n)} d\gamma; \quad a_{12\omega} = \frac{1}{R^2} \int_{\gamma} \omega^{(n)} \gamma d\gamma;$$

$$a_{14\omega} = \frac{\mu}{R^2} \int_{\gamma} \omega^{(n)} (\gamma - k_2 \gamma^2) d\gamma;$$

$$a_{15\omega} = \mu k_2 \int_{\gamma} \omega^{(n)} (1 - k_2 \gamma + k_2^2 \gamma^2) d\gamma;$$

$$a_{21} = \frac{h}{R}, \quad a_{22} = -k_2 \frac{h^3}{12R^2};$$

$$a_{23} = \left(h + k_2^2 \frac{h^3}{12} \right) k_2;$$



$$\begin{aligned}
a_{24} &= \mu \frac{h}{R}; \quad a_{21\omega} = \frac{1}{R} \int_Y \omega^{(n)} d\gamma; \\
a_{22\omega} &= \frac{1}{R^2} \int_Y \omega^{(n)} (\gamma - k_2 \gamma^2) d\gamma; \\
a_{24\omega} &= \frac{\mu}{R} \int_Y \omega^{(n)} d\gamma; \\
a_{62\omega} &= -\frac{1}{R^2} \int_Y \omega^{(n)} (\gamma - k_2 \gamma^2) \gamma d\gamma; \\
a_{63\omega} &= \frac{1}{R} \int_Y \omega^{(n)} (1 + k_2 \gamma) \gamma d\gamma; \\
a_{64\omega} &= \frac{1}{R^2} \int_Y \omega^{(n)} \gamma d\gamma. \quad (15)
\end{aligned}$$

С учетом соотношений (8) и обозначений (15) выражения внутренних усилий и моментов, например $N_\alpha^{(n)}$ и $M_\alpha^{(n)}$, можно представить в виде

$$\begin{aligned}
N_\alpha^{(n)} &= G_1 \left[(a_{11} - a_{11\omega}^{(n)}) \cdot \frac{\partial U^{(n)}}{\partial \alpha} - \right. \\
&\quad - (a_{12} - a_{12\omega}^{(n)}) \cdot \frac{\partial^2 W^{(n0)}}{\partial \alpha^2} + (a_{13} - a_{13\omega}^{(n)}) \cdot \frac{\partial V^{(n)}}{\partial \beta} - \\
&\quad - (a_{14} - a_{14\omega}^{(n)}) \frac{\partial^2 W^{(n)}}{\partial \beta^2} + (a_{15} - a_{15\omega}^{(n)}) W^{(n)} + \\
&\quad \left. + N_\alpha^{0(n-1)} + N_\alpha^{0(n-m)} \right] \quad (16)
\end{aligned}$$

Выражения усилий и моментов типа (16) перепишем в следующем виде:

$$\begin{aligned}
N_\alpha^{(n)} &= \tilde{N}_\alpha^{(n)} - N_\alpha^{0(n-1)} + N_\alpha^{0(n-m)}; \\
M_\alpha^{(n)} &= \tilde{M}_\alpha^{(n)} - M_\alpha^{0(n-1)} + M_\alpha^{0(n-m)} \quad (17)
\end{aligned}$$

Здесь

$$\begin{aligned}
\tilde{N}_\alpha^{(n)} &= (a_{13} - a_{13\omega}^{(n)}) \frac{\partial V^{(n)}}{\partial \beta} (a_{11} - a_{11\omega}^{(n)}) \cdot \\
&\quad \cdot \frac{\partial U^{(n)}}{\partial \alpha} - (a_{12} - a_{12\omega}^{(n)}) \cdot \frac{\partial^2 W^{(n0)}}{\partial \alpha^2} - \\
&\quad - (a_{14} - a_{14\omega}^{(n)}) \frac{\partial^2 W^{(n)}}{\partial \beta^2} + (a_{15} - a_{15\omega}^{(n)}) W^{(n)}; \\
N_\alpha^{0(n-1)} &= \left[-a_{13\omega}^{0(n-1)} \frac{\partial V^{(n)}}{\partial \beta} + \right. \\
&\quad + a_{12\omega}^{0(n-1)} \frac{\partial^2 W^{(n0)}}{\partial \alpha^2} + a_{11\omega}^{0(n-1)} \frac{\partial U^{(n)}}{\partial \alpha} + \\
&\quad + a_{14\omega}^{0(n-1)} \frac{\partial^2 W^{(n)}}{\partial \beta^2} - a_{15\omega}^{0(n-1)} W^{(n)}; \\
N_\alpha^{0(n-m)} &= \sum_{m=1}^{n-1} \left[-a_{12\omega}^{0(n-m)} \frac{\partial^2}{\partial \alpha^2} \cdot \right. \\
&\quad \cdot (W^{0(n-m)} - W^{0(n-m-1)}) + \\
&\quad + a_{11\omega}^{0(n-m)} \frac{\partial}{\partial \alpha} + \\
&\quad \left. + (U^{0(n-m)} - U^{0(n-m-1)}) - \right. \\
&\quad - a_{14\omega}^{0(n-m)} \frac{\partial^2}{\partial \beta^2} (W^{0(n-m)} - W^{0(n-m-1)}) \\
&\quad - a_{13\omega}^{0(n-m)} \frac{\partial}{\partial \beta} (V^{0(n-m)} - V^{0(n-m-1)}) + \\
&\quad \left. + a_{15\omega}^{0(n-m)} (W^{0(n-m)} - W^{0(n-m-1)}) \right]; \\
M_\alpha^{(n)} &= G_1 \left[(a_{41} - a_{41\omega}^{(n)}) \frac{\partial^2 W^{(n)}}{\partial \alpha^2} - \right. \\
&\quad - (a_{42} - a_{42\omega}^{(n)}) \frac{\partial^2 W^{(n)}}{\partial \beta^2} - (a_{43} - a_{43\omega}^{(n)}) W^{(n)} + \\
&\quad \left. + M_\alpha^{0(n-1)} + M_\alpha^{0(n-m)} \right], \quad (18)
\end{aligned}$$

где

$$\tilde{M}_\alpha^{(n)} = (a_{41} - a_{41\omega}^{(n)}) \frac{\partial^2 W^{(n)}}{\partial \alpha^2} -$$

$$\begin{aligned}
&- (a_{42} - a_{42\omega}^{(n)}) \frac{\partial^2 W^{(n)}}{\partial \beta^2} - (a_{43} - a_{43\omega}^{(n)}) W^{(n)}; \\
M_\alpha^{0(n-1)} &= \left[-a_{41\omega}^{0(n-1)} \frac{\partial^2 W^{(n0)}}{\partial \alpha^2} + \right. \\
&\quad + a_{42\omega}^{0(n-1)} \frac{\partial^2 W^{(n)}}{\partial \beta^2} + a_{43\omega}^{0(n-1)} W^{(n)} \Big]; \\
M_\alpha^{0(n-m)} &= \sum_{m=1}^{k-1} \left[a_{41\omega}^{0(n-1)} \frac{\partial^2}{\partial \alpha^2} (W^{0(n-m)} - W^{0(n-m-1)}) - \right. \\
&\quad a_{42\omega}^{0(n-1)} \frac{\partial^2}{\partial \beta^2} (W^{0(n-m)} - W^{0(n-m-1)}) - \\
&\quad \left. - a_{43\omega}^{0(n-1)} (W^{0(n-m)} - W^{0(n-m-1)}) \right].
\end{aligned}$$

Выражения внутренних усилий и моментов (18) подставим в вариации потенциальной энергии (12). Для краткости записи введем обозначения следующего вида [10]:

$$\begin{aligned}
\tilde{a}_{11} &= (a_{11} - a_{11\omega}^{(n)}), \\
\tilde{a}_{21} &= (a_{21} - a_{21\omega}^{(n)}), \dots, \\
\tilde{a}_{51} &= (a_{51} - a_{51\omega}^{(n)}). \quad (19)
\end{aligned}$$

Отметим, что при определении потенциальной энергии воспользовались формулой (12). Соотношения (12) можем обобщить, используя выражения внутренних усилий и моментов, согласно (17).

В этом случае подставляя кинетической и потенциальной энергий, а также работу внешних сил в (9) получим уравнений движения в преобразованном виде с соответствующими граничными и начальными условиями.

Узловой эффект по параметрам α и β :

$$\begin{aligned}
&\tilde{a}_{61} \frac{\partial U^{(n)}}{\partial \beta} + \tilde{a}_{62} \frac{\partial^2 W^{(n)}}{\partial \alpha \partial \beta} + \\
&+ \tilde{a}_{63} \frac{\partial V^{(n)}}{\partial \alpha} + M^{(n)} (\phi_2^{(n)}) \Big|_\beta \delta W^{(n)} \Big|_\alpha = 0.
\end{aligned}$$

Начальные условия по параметру t :

$$\begin{aligned}
&\rho h \frac{\partial U^{(n)}}{\partial t} \delta U^{(n)} \Big|_e = 0; \\
&\rho \left(h + k_2^2 \frac{h^3}{12} \right) \frac{\partial V^{(n)}}{\partial t} - \rho k_2 \frac{h^3}{12R} \frac{\partial^2 W^{(n)}}{\partial t \partial \beta} \Big|_t \delta V^{(n)} \Big|_t = 0; \\
&\left[\rho h \frac{\partial W^{(n)}}{\partial t} - \rho \frac{h^3}{12R^2} \frac{\partial^3 W^{(n)}}{\partial t \partial \alpha^2} + \right. \\
&\quad \left. + \rho k_2 \frac{h^3}{12R} \frac{\partial^2 V^{(n)}}{\partial t \partial \beta} - \rho \frac{h^3}{12R^2} \frac{\partial^3 W^{(n)}}{\partial t \partial \beta^2} \right] \delta W^{(n)} \Big|_e = 0.
\end{aligned}$$

Граничные и начальные эффекты по параметрам t , α и β :

$$\begin{aligned}
&\int_\beta \rho \frac{h^3}{12R} \frac{\partial^2 W^{(n)}}{\partial t \partial \alpha} \delta W^{(n)} R d\beta \Big|_t = 0; \\
&\int_\alpha \left(\rho k_2 \frac{h^3}{12} \frac{\partial V^{(n)}}{\partial t} - \rho \frac{h^3}{12R} \frac{\partial^2 W^{(n)}}{\partial t^2 \partial \beta} \right) \delta W^{(n)} R d\alpha \Big|_t = 0.
\end{aligned}$$

Решения краевой задачи для упругого случая (первое приближение). Перемещения трубопровода, согласно методу Бубнова – Галеркина, представим в виде

$$\begin{aligned}
U &= \sum_n U_n(\alpha, t) \left(\cos \frac{n\pi\beta}{\beta_1} \right); \\
V &= \sum_n V_n(\alpha, t) \sin \left(\frac{n\pi\beta}{\beta_1} \right);
\end{aligned}$$

$$W = \sum_n W_n(\alpha, t) \cos \frac{n\pi\beta}{\beta_1} \quad (20)$$

Для этого случая систему дифференциальных уравнений трубопровода – оболочки перепишем в следующем виде [7]:

$$\begin{aligned} & -\alpha_1^{(1)} \frac{\partial^2 W_n}{\partial t^2} + \alpha_2^{(1)} \frac{\partial^4 W_n}{\partial t^2 \partial \alpha^2} - \\ & -\alpha_3^{(1)} \frac{\partial^2 V_n}{\partial t^2} - \alpha_4^{(1)} \frac{\partial^4 W_n}{\partial \alpha^4} + \\ & + \alpha_5^{(1)} \frac{\partial^2 W_n}{\partial \alpha^2} - \alpha_7^{(1)} W_n - \alpha_8^{(1)} V_n - \\ & -\alpha_6^{(1)} \frac{\partial U_n}{\partial \alpha} + Z_n = 0. \\ & -\alpha_2^{(3)} \frac{\partial^2 V_n}{\partial t^2} + \alpha_1^{(3)} \frac{\partial W_n}{\partial t^2} - \\ & -\alpha_4^{(3)} \frac{\partial U_n}{\partial t} + \alpha_3^{(3)} \frac{\partial^2 V_n}{\partial \alpha^2} + \\ & + \alpha_5^{(3)} W_n - \alpha_6^{(3)} V_n + Y_n = 0. \end{aligned} \quad (21)$$

Здесь

$$\begin{aligned} \alpha_1^{(1)} &= \left[1 + k^2 \cdot n^2 \frac{h^2}{12} \right]; \quad \alpha_6^{(1)} = \frac{\lambda}{(\lambda+2\mu)} \left(1 + k^2 \frac{h^2}{12} \right); \\ \alpha_7^{(1)} &= \left(1 + \left(2k^2 + \frac{n^2}{R} - k^2 n^2 \frac{h^2}{12} \right); \quad \alpha_8^{(1)} = \left(1 + \right. \right. \\ & \left. \left. k^2 \frac{h^2}{12} \right) n; \right. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_n &= \frac{R^2}{\pi(\lambda+2\mu)h^2} \int_0^{2\pi} \left[Q(P_3) + Q(q_3) \right. \\ & \left. + \frac{\partial}{\partial \alpha} (M(P_1) + M(q_1)) \right. \\ & \left. + \frac{\partial}{\partial \beta} (M(P_2) + M(q_2)) \right] \cos \frac{n\pi\beta}{\beta_1} d\beta; \end{aligned}$$

$$\alpha_1^{(2)} = 1; \alpha_2^{(2)} = 1;$$

$$\alpha_7^{(1)} = \left[1 + \frac{h^2}{12} \cdot \left(2k^2 + \frac{n^2}{R} - k^2 \cdot n^2 \right) \right];$$

$$\alpha_8^{(1)} = n \cdot \left[1 + k^2 \cdot \frac{h^2}{12} \right];$$

$$\alpha_5^{(3)} = \left(\frac{k}{R} \frac{h^2}{12} n^2 - \left(1 + k^2 \frac{h^2}{12} \right) Rkn \right); \alpha_6^{(3)} =$$

$$n^2; Y_n = \frac{R^2}{\pi(\lambda+2\mu)} h^2 \int_0^{2\pi} (N(P_2) + N(q_2)) \sin \frac{n\pi\beta}{\beta_1} d\beta.$$

$$\alpha_4^{(2)} = \frac{1}{\lambda+2\mu} \left(\lambda + \mu \left(1 + k^2 \frac{h^2}{12} \right) \right) n;$$

$$\begin{aligned} X_n &= \frac{R^2}{\pi(\lambda+2\mu)h^2} \int_0^{2\pi} (N(p_1) + N(q_1)) \cos \frac{n\pi\beta}{\beta_1} d\beta; \quad \alpha_5^{(2)} = \\ & \frac{\mu}{\lambda+2\mu} \left(1 + 2k^2 \frac{h^2}{12} \right) n^2; \end{aligned} \quad (22)$$

$$\alpha_1^{(3)} = \frac{h^2}{12} \frac{k}{R} n; \alpha_2^{(3)} = 1 + k^2 \frac{h^2}{12};$$

$$\alpha_3^{(3)} = \frac{\lambda}{\lambda+2\mu}; \alpha_6^{(3)} = n^2;$$

$$\alpha_4^{(3)} = \frac{(\lambda + \mu(1 + k^2(h^2/12)))n}{\lambda+2\mu};$$

$$\alpha_5^{(3)} = \left(\frac{k}{R} \frac{h^2}{12} n^2 - \left(1 + k^2 \frac{h^2}{12} \right) Rkn \right);$$

$$Y_n = \frac{R^2}{\pi(\lambda+2\mu)h^2} \int_0^{2\pi} (N(p_2) + N(q_2)) \sin \frac{n\pi\beta}{\beta_1} d\beta.$$

Граничные условия трубопровода – оболочки по параметру α :

$$\begin{aligned} b_1^{(4)} &= \frac{h^2}{12}; b_2^{(4)} = \frac{\lambda}{\lambda+2\mu} \frac{h^2}{12} \left(\left(\frac{n}{2} \right)^2 - k^2 R^2 \right); \\ \bar{M}_n &= \frac{R^2}{\pi(\lambda+2\mu)h^2} \int_0^{2\pi} M(\phi_1) \cos \frac{n\pi\beta}{\beta_1} d\beta \\ \left[b_1^{(3)} \frac{\partial W_n}{\partial \alpha} - b_2^{(3)} \frac{\partial V_n}{\partial \alpha} + b_3^{(3)} U_n + \bar{Y}_n \right] h \delta V_n \Big|_{\alpha} &= 0; \\ \left[-b_1^{(4)} \frac{\partial^2 W_n}{\partial \alpha^2} + b_2^{(4)} W_n \bar{M}_n \right] h \delta \frac{\partial W_n}{\partial \alpha} \Big|_{\alpha} &= 0, \end{aligned} \quad (23)$$

где

$$\begin{aligned} b_1^{(2)} &= R; b_2^{(2)} = \frac{\lambda}{\lambda+2\mu} \left(R \frac{h^2}{12} \left(\frac{n}{2} \right)^2 \right. \\ & \left. - \left(1 + k^2 \frac{h^2}{12} \right) k R^2 \right); b_3^{(2)} = \\ & = \frac{\lambda}{\lambda+2\mu} R \frac{n}{2}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{X}_n &= \frac{R^2}{\pi(\lambda+2\mu)h^2} \int_0^{2\pi} N(\phi_1) \cos \frac{n\pi\beta}{\beta_1} d\beta; b_1^{(3)} = \\ & = \frac{\mu}{\lambda+2\mu} k \frac{h^2}{12} \frac{n}{2}; b_2^{(3)} = \frac{\mu}{\lambda+2\mu} R; \end{aligned}$$

Начальные условия:

$$\begin{aligned} U_n &= (W_n U_n V_n)^T; F_n = (Z_n X_n Y_n)^T \quad (24) \\ A_1 \ddot{U}_n + A_2 \ddot{U}_n^{II} + A_3 U_n^{IV} + A_4 U_n^{II} + A_5 U_n^I + A_6 U_n + F_n &= 0. \end{aligned}$$

здесь

$$m_1^{(3)} = \frac{k}{R} \frac{h^2}{12} \frac{n}{2};$$

$$m_2^{(3)} = 1 + k^2 \frac{h^2}{12}.$$

(20) - систему дифференциальных уравнений представим в векторной форме, вводя следующие векторы:

$$\begin{aligned} A_5 &= \begin{pmatrix} 0 & -a_6^{(1)} & 0 \\ a_3^{(2)} & 0 & a_4^{(2)} \\ 0 & -a_4^{(3)} & 0 \end{pmatrix}; A_6 = \\ & \begin{pmatrix} -a_7^{(1)} & 0 & -a_8^{(1)} \\ 0 & -a_5^{(2)} & 0 \\ a_5^{(3)} & 0 & -a_6^{(3)} \end{pmatrix}. \end{aligned} \quad (25)$$

С учетом (25) система дифференциальных уравнений (20) записываем в следующем виде:

$$A_i \quad (26)$$

где матрицы $U_n^I = \frac{1}{2h} (U_{n,i+1} - U_{n,i-1})$ имеют третий порядок, в соотношениях (21) приведены элементы матрицы $A_3 U_n^{IV} + A_4 U_n^{II} + A_5 U_n^I + A_6 U_n + F = 0$.

3. Результаты и обсуждение

При решении задачи (20), (23) и (24) используется метод конечных разностей второго порядка точности. На основе применения центрально – разностных формул получена следующая система алгебраических уравнений [12-13]. Начальные условия (24) после аппроксимации примет следующий вид:

$$\begin{aligned} & [\bar{M}_1 U_{n,i-1}^{k+1} + \bar{M}_2 U_{n,i}^{k+1} + \bar{M}_3 U_{n,i+1}^{k+1} - \\ & - \bar{M}_1 U_{n,i+1}^{k+1} - \bar{M}_1 U_{n,i-1}^{k-1} - \bar{M}_2 U_{n,i}^{k-1} - \\ & - \bar{M}_3 U_{n,i+1}^{k-1}] \cdot t_0 h \delta U_{n,i+1}^{k-1} = 0 \end{aligned}$$

Разностная краевая задача решается с помощью метода прогонки [6]. Считается, что перемещения и их скорости заданы в начальный момент времени, а также, трубопровод заземлен при $\alpha = 0$ и $\alpha = 1$. В векторном виде граничные условия выражаются следующим образом:

$$\begin{aligned} U_{n,0}^j &= 0; A' U_{n,-1}^j = A' U_{n,1}^j; \\ U_{n,N}^j &= 0; A' U_{n,N+1}^j = A' U_{n,N-1}^j \end{aligned} \quad (27)$$

при $i = 1, 2, \dots, N-1$ с учетом граничных условий (27), систему уравнений (26) перепишем в виде

$$B_n U_{n,i-1}^{k+1} + C_n U_{n,i}^{k+1} + B_n U_{n,i+1}^{k+1} = b_{n,j} \quad (28)$$

где

$$\begin{aligned} b_{n,i} &= \tau^2 F_{n,i}^k - (\bar{A}_n U_{n,i-2}^k + \bar{B}_n U_{n,i-1}^k - \\ & + \bar{C}_n U_{n,i}^k + \bar{D}_n U_{n,i+1}^k + \bar{A}_n U_{n,i+2}^k + \\ & + B_n U_{n,i-1}^{k-1} + C_n U_{n,i}^{k-1} + B_n U_{n,i+1}^{k-1}) \end{aligned}$$

Из уравнения (28) можно вывести решение для i – го уравнения:

$$U_{n,i}^{K+1} = f_i - H_i U_{n,i+1}^{K+1}$$

где

$$f_i = (C_n - B_n H_{i-1})^{-1} (b_{n,i} - B_n f_{i+1}),$$

$$H_i = (C_n - B_n H_{i-1})^{-1} B_n.$$

При обратной прогонке определяются остальные значения вектора перемещений $U_{n,i}^k$.

В качестве примера, на основе разработанной методики расчета трубопровода – компенсатора при исходном и при повторном нагружении представлены НДС по циклам нагружения.

В качестве примера, рассмотрена методика расчета трубопровода-компенсатора при повторном нагружении с учетом упругопластических свойств. Результаты расчета напряженного состояния при повторном нагружении представлены в табличном виде (Табл.1). Конструктивные параметры: $l=200$, $R=200$, $r_1=r_2=50$, $L_H=200$, $h=4$ [мм].

Таблица 1

Кинетика напряженного состояния при повторном нагружении

k	N_{uz}	$\bar{\sigma}_{11}^{(k)} 10^{-2}$	$\bar{\sigma}_{22}^{(k)} 10^{-2}$	$\bar{\sigma}_u^{(k)} 10^{-2}$
Материал – сталь ТС				
1	1	3,77875	1,50897	3,29453
	2	2,28069	3,54484	3,11171
	3	1,07162	-2,49826	3,17283
	4	2,40799	-0,89229	2,9569
2	1	6,04136	1,98930	5,33266
	2	2,92529	4,87101	4,24675
	3	1,83888	-380093	4,98177
	4	3,11230	-1,28425	3,91570
Материал – В-96				
1	1	3,77875	1.50897	3.29453
	2	2,28069	3.54484	3.11171
	3	1.07162	-2.49826	3.17283
	4	2,40799	-0.89229	2.9569
2	1	6,22931	2.01320	5.50603
	2	2,95902	4,94996	4.31403
	3	1,91048	-3.91352	5,14221
	4	3,12805	-1.29356	3,93755

Заметим, что условиями появления вторичных и т.п. пластических областей являются $\bar{\sigma}_u^{(n)} \geq \alpha_n \sigma_s$. Из анализа расчета следует, что с увеличением числа циклов нагружений кинетика напряженно-деформированного состояния компенсатора переходит в стационарное. Это объясняется режимом малоциклового нагружения, а также стабилизацией диаграмм циклического деформирования для упрочняющихся материалов. Результаты исследования НДС компенсаторов при циклическом нагружении показывают, что возникающие в компенсаторе пластические деформации локализованы в относительно узких зонах. Поэтому разрушение компенсатора при малоцикловом нагружении определяется главным образом накоплением повреждений и носит явно выраженный усталостный характер. Для расчета малоциклового прочностии компенсаторов применяется деформационно-кинетический критерий [9]. Для

сравнительной оценки произведен также расчет НДС трубопровода – компенсатора с использованием ANSYS. Проанализированы результаты расчетных величин. В качестве иллюстрации на Рис.3. показано характер изменения расчетных величин при исходном нагружении ($P = 0,4 \cdot 10^5$ Па) [3].

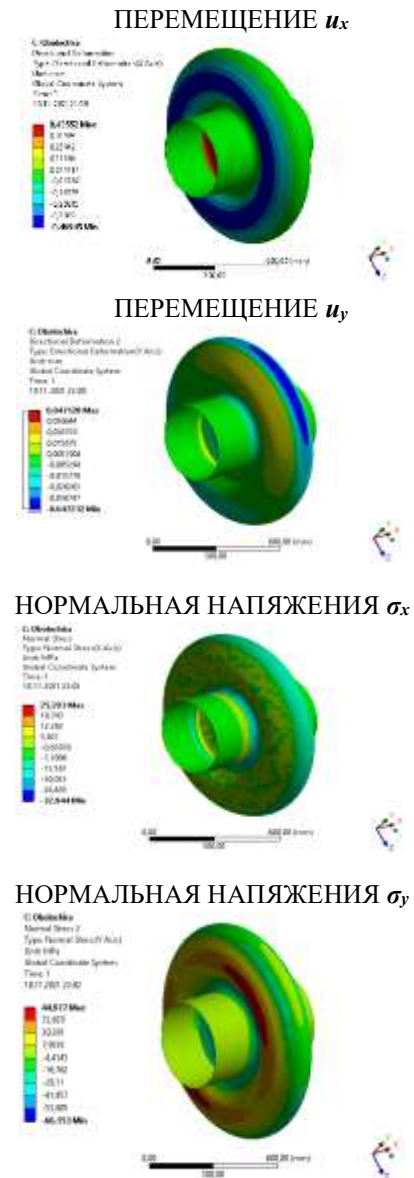


Рис. 3. характер изменения компонентов перемещений и напряжений

Таблица 2

Результаты расчета перемещений и напряжений для компенсатора

u	w	v
0,43552	0,047128	0,047333
0,33497	0,036644	0,036845
0,23442	0,026159	0,026357
0,13386	0,015675	0,015869

σ_x	σ_y	σ_z
25,203	44,977	50,167
18,743	32,629	37,36

12,282	20,281	24,552
5,821	7,9335	11,745

4. Заключение

[1] На основе вариационного принципа выведены уравнения движения для магистральных трубопроводов – цилиндрических оболочек, взаимодействующих с грунтом при однократных и циклических нагрузках с соответствующими граничными и начальными условиями. Разработана процедура решения краевой задачи с применением метода конечных разностей. В качестве примера исследовано НДС трубопровода-компенсатора при однократном и повторном нагружении с учетом упругопластических свойств. Также, для сравнительной оценки произведен упругий расчет с использованием комплекса программ ANSYS.

[2] Разработанные методика расчета и программа апробированы и внедрены на объектах предприятий для использования при выполнении проектно-исследовательских расчетов. Результаты расчета позволяют оценить НДС трубопроводных систем при различных видах нагружений, сократить сроки вычислительного процесса в 1,3-1,4 раза и повысить результативность проектных работ на 11-15% (Справка о внедрении Министерства транспорта Республики Узбекистан от 1 апреля 2022г. №2/1862).

Использованная литература / References

[1] Власов В.З. Избранные труды. – Москва. Наука. – 1962 – 1964, Том I-III – 1506 с Алешин В.В. Численный анализ прочности подземных трубопроводов. – М.: Едиториал УРСС. – 2003. – 320 с.

[2] Ан Е.В., Рашидов Т.Р. Сейсмодинамика подземных трубопроводов, взаимодействующих с водонасыщенным мелкодисперсным грунтом //Изв. РАН. МТТ. – 2015. – № 3. – С. 89 – 104.

[3] Абдусаттаров А., Рузиева Н.Б., Сабилов Н.Х. Программа расчета нелинейного деформирования элементов подземных сооружений типа цилиндрических оболочек при повторно-статическом нагружении// Агентство по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан, Свидетельство №DGU15398, 12.03.2022 г.

[4] Мяченков В.И., Мальцев В.П. Методы и алгоритмы расчета пространственных конструкций на ЭВМ. –М.: Машиностроение. –1984. – 280 с.

[5] Москвитин В.В. Циклические нагружения элементов конструкций. – М.: URSS. – 2019. – 344 с. (перизд).

[6] Буриев Т., Абдусаттаров А. Разработка алгоритмов расчета несущих элементов конструкций при переменных нагружениях с учетом упрочнения-разупрочнения и накопления повреждений //Докл. АН РУз. – 2000. – №2. – С.13– 7.

[7] Абдусаттаров А., Сабилов Н.Х., Абдукадиров Ф.Э. К построению дискретных моделей и алгоритм реализации расчета оболочечных конструкций типа цистерны //ТUIT. «Проблемы вычислительной и прикладной математики». – 2019. №5. С. 62–71.

[8] Кабулов В.К. Алгоритмизация в теории упругости и деформационной теории пластичности. – Ташкент: Фан, – 1966. – 394 с.

[9] Karpov V.V., Maslennikov A.M. Methods for Solving Non-Linear Tasks for Calculating Construction Structures //World Applied Sciences Journal, 23(Problems of Architecture and Construction). 2013. Pp.178–183. <http://idosi.org/wasj/wasj23/28pac/2913/35.pdf> DOI:10.5829/idosi.wasj.2013.23.pac.90035.

[10] Abdusattarov A., Ruzieva N.B and Abdukadirov F. Deformation and damage capacity of thin-walled rods and tubular conduits under alternating loading. E3S Web of Conferences 401, 03033 (2023). CONMECHYDRO –2023. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340103033>.

[11] Abdusattarov A., Starovoitov E.I., Ruzieva N.B. Deformation and damage behaviour of elastoplastic structural elements under cyclic loading. Tashkent: "IDEAL PRESS", 2023, 381 pp.

[12] Sabirov N., Ruzieva N., Abdusattarov A. Mathematical Models of Pipeline Deformation Under Repeated - Variable Loading Taking into Account Damageability//International Conference on Actual Problems of Applied Mechanics AIP Conference Proceedings 2022. 030014.

[13] Abdusattarov A., Ruzieva N., Abdukadirov F. Modeling of elastic-plastic deformation of main pipelines under repeated static and dynamic loading// AIP Conference Proceedings, 2023, 2476, 030016.

Информация об авторах / Information about authors

Абдусаттаров Абдусаттаров Абдусамат – профессор, доктор технических наук, профессор кафедры «Прикладная механика» Ташкентского государственного транспортного университета. e-mail: abdusattarov4646@gmail.com (0000-0003-2271-3768)

Рузиева Ноди Рузиева Ноди Баходировна – (PhD), доцент кафедры «Прикладная механика» Ташкентского государственного транспортного университета, e-mail: nodi2005@rambler.ru (0000-0002-2687-6962)

Current trends and innovative solutions in the construction sector

G.R. Khalfin¹

¹Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: The article covers issues related to the description of current trends and innovations in the construction industry. It has been established that the directions of development of the construction sector are largely focused on social needs, which determines the main vector of evolution of construction companies — meeting the growing needs of the population and enterprises. It is emphasized that new innovations in the construction sector are associated with the use of artificial intelligence and machine learning technologies; the introduction of 3D printing; and the popularization of modular construction.; using drones and robotic systems on construction sites; using mobile technologies for remote control and monitoring; integrated digitalization of business processes; dissemination of smart home and smart city concepts; as well as the introduction of virtual and augmented reality technologies.

Keywords: trends, innovations, construction process, construction sector, investment and construction initiatives.

Qurilish sohasidagi dolzarb tendentsiyalar va innovatsion yechimlar

Xalfin G.R.¹

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Maqolada qurilish sanoatidagi zamonaviy tendentsiyalar va innovatsiyalarni tavsiflash bilan bog'liq masalalar yoritilgan. Qurilish sektorining rivojlanish yo'nalishlari asosan ijtimoiy ehtiyojlarga yo'naltirilganligi aniqlandi, bu qurilish kompaniyalari evolyutsiyasining asosiy vektorini — aholi va korxonalar ehtiyojlarining o'sishini qondirishni belgilaydi. Qurilish sohasidagi sun'iy intellekt va mashinani o'rganish texnologiyalaridan foydalanish bilan bog'liqligi ta'kidlangan; 3D bosib chiqarishni joriy etish; modulli qurilishni ommalashtirish; qurilish maydonchalarida dronlar va robot tizimlaridan foydalanish; masofadan boshqarish uchun mobil texnologiyalardan foydalanish; biznes jarayonlarini kompleks raqamlashtirish; shuningdek, virtual texnologiyalarini joriy etish.

Kalit so'zlar: tendensiya, innovatsiya, qurilish jarayoni, qurilish sektori, investitsiya va qurilish tashabbuslari.

1. Kirish

Qurilish sanoati milliy iqtisodiyot tarkibida muhim rol o'ynaydi, chunki u uning kompleks rivojlanishi uchun zarur shart-sharoitlarni yaratadi. Bu ta'sir qurilish sektori zarur infratuzilma, kommunikatsiyalar, bino va inshootlar, shuningdek boshqa ko'chmas mulk ob'ektlarini shakllantirish imkoniyatini belgilashi bilan bog'liq bo'lib, bu o'z navbatida hududiy birliklarni rivojlantirishning istiqbolli yo'nalishlarini shakllantiradi. Oxir oqibat, qurilish sektori faoliyati yalpi mintaqaviy mahsulotga sezilarli ta'sir ko'rsatishi mumkin, bu esa qurilishni rivojlantirishni uzoq muddatli iqtisodiy o'sishning yangi istiqbollari aniqlash bilan bog'liq qiladi. Zamonaviy qurilish sanoati yuqori rivojlanish dinamikasini namoyish etadi.

Qurilish kompaniyalari innovatsion texnologiyalarni faol ravishda qo'llaydilar va yangi tendentsiyalarni joriy etishga intilishadi, bu ularga o'z xizmatlariga yuqori darajadagi raqobatbardoshlik va talabni saqlashga imkon beradi. Qurilish sohasidagi zamonaviy tendentsiyalar va innovatsiyalarni o'rganishning ahamiyati shundaki, ushbu tendentsiyalarni aniqlash nafaqat sektorning o'zgarishi yo'lini kuzatishga, balki ko'chmas mulk sohasidagi kelajakdagi o'zgarishlarning xarakterli belgilarini aniqlashga imkon beradi, bu esa oxir-oqibat butun iqtisodiyotga ta'sir qiladi. O'sib borayotgan tendentsiyalar, o'z vaqtida hisobga olinsa, qurilish sohasi bilan chambarchas bog'liq bo'lgan iqtisodiyotning tegishli

tarmoqlarining holatini bashorat qilish uchun asos bo'lib xizmat qilishi mumkin. Shunday qilib, qurilish sanoatidagi yangi tendentsiyalar va innovatsion jarayonlarni tahlil qilish sanoatni rivojlantirish vektorini o'zgartirish imkoniyatiga ta'sir qiladi va korxonalarning iqtisodiy faolligini oshirish uchun ko'rsatmalarni belgilaydi. Ushbu maqolaning maqsadi qurilish sohasidagi yangi tendentsiyalar va innovatsiyalarni aniqlash va tavsiflashdir.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Ushbu ishda tahlil, sintez, taqqoslash, umumlashtirish, taqqoslash, shuningdek deduktiv va induktiv usullar kabi nazariy tadqiqot usullari qo'llanilgan.

3. Tadqiqot natijalari

Iqtisodiyotning turli sohalarining rivojlanishi dinamik va ko'p qirrali jarayondir. Dinamik o'sib borayotgan iqtisodiy o'sishi sharoitida tendentsiyalarni o'z vaqtida aniqlash va hisobga olish masalalari muhim ahamiyatga ega bo'lib, individual tadbirkorlik sub'ektlarining ishlash istiqbollari sezilarli ta'sir ko'rsatmoqda. Dinamikaning ushbu o'sish xususiyatlarini qurilish sanoatiga tatbiq etish orqali qurilish kompaniyalari uchun nafaqat mavjud tendentsiyalarni hisobga olish, balki o'z faoliyatining ayrim yo'nalishlarini

yaxshilash uchun innovatsion imkoniyatlardan foydalanish ham muhim ekanligi haqida bahslashish mumkin. Tadqiqotchilarning fikriga ko'ra [2], zamonaviy qurilish sanoatining dinamikasi nafaqat kelajakdagi rivojlanish uchun barqaror ko'rsatmalar yaratishda, balki qurilish, rekonstruksiya va modernizatsiya operatsiyalari sifatini har tomonlama yaxshilashga qaratilgan ilg'or innovatsiyalarni amalga oshirishda ham namoyon bo'ladi, bu esa o'z navbatida rivojlanish darajasida namoyon bo'ladi. Mualliflarning fikriga ko'ra [4], qurilish sohasini rivojlantirish yo'nalishlari asosan jamiyat manfaatlariga qaratilgan. Ushbu yondashuv qurilish kompaniyalari rivojlanishining asosiy yo'nalishini — aholi va biznesning o'sib borayotgan ehtiyojlarini qondirishni belgilaydi. Bundan tashqari, tadqiqot shuni ko'rsatdiki, muqarrar ravishda qurilish kompaniyalari xizmatlariga talab darajasining o'zgarishiga olib keladigan iqtisodiy notinchlik ijobiy tendentsiyalarning rivojlanishini tezlashtiradigan muhim omilga aylanadi. Shunga o'xshash g'oyalar tadqiqotchining ishida ifodalangan [5], qurilishdagi innovatsiyalar nafaqat iqtisodiy aloqalarni barqarorlashtirish yoki investitsiya faolligini oshirish zarurligiga, balki tanish muhitdagi boshqa o'zgarishlarga ham javob ekanligini ta'kidlaydi. Inqirozlar va iqtisodiy noaniqlik mahalliy qurilish kompaniyalarining ishlash sharoitlarining o'zgarishiga va shunga mos ravishda yangi tendentsiyalarning paydo bo'lishiga ta'sir qiluvchi omillarga aylanmoqda. Noqulay iqtisodiy vaziyat aholi daromadlari va uning ehtiyojlari tarkibidagi o'zgarishlarga olib keladi, bu ham qurilish tashkilotlari xizmatlariga talab darajasiga ta'sir qiladi. Bunday sharoitda qurilish kompaniyalari o'z faoliyati natijalarini yaxshilashga va sohaga investitsiyalarni jalb qilishga yordam beradigan rivojlanishni qo'llash orqali kompleks loyihalarni amalga oshirishga intilishadi.

Qurilish tashkilotlari uchun joriy tendentsiyalar, innovatsiyalar, bozordagi o'zgarishlar va ishtirokchilar tarkibini, shuningdek o'zgaruvchanlikning boshqa omillarini hisobga olish uzoq muddatli rejalashtirishning asosiga aylanadi. Buning sababi shundaki, ushbu jihatlarni hisobga olish faoliyatni bozor ehtiyojlariga moslashtirishga imkon beradi, bu esa o'z navbatida boshqaruvning asosiy xususiyatlarini qayta tashkil etishga yordam beradi.

Tadqiqotchilarning fikriga ko'ra [3], qurilish sanoatiga uzoq vaqt davomida "yashil" iqtisodiyot tendentsiyalari va tegishli "yashil" qurilish ta'sir qiladi. Mualliflarning ta'kidlashicha, "yashil" qurilish sohasida loyihalar va inshootlarni amalga oshirishning iqtisodiy va ijtimoiy ta'siriga alohida e'tibor qaratilgan. "Yashil" qurilish kontekstida hozirgi tendentsiyalar va innovatsiyalar quyidagilarni o'z ichiga oladi:

Qayta ishlanadigan qurilish materiallaridan foydalanish va qayta ishlanmaydiganlarni istisno qilish;

Qurilishda ekologik toza materiallardan foydalanish (masalan, ekologik g'isht);

Qayta tiklanadigan energiya manbalari elementlarining integratsiyasi (quyosh panellari, shamol stansiyalari);

Uchastkalarni (sanoat va turar-joy), shu jumladan vertikal bog'larni obodonlashtirish;

Binolarning energiya samaradorligini oshirish;

Qurilish ob'ektlarida tabiiy yorug'likdan foydalanish;

Qayta ishlangan materiallarni qayta ishlatish;

Sanoat tozalash tizimlarini joriy etish.

"Yashil" qurilishdan tashqari, K.K. Bolaev va uning hamkasblari qurilish bozorida faol rivojlanayotgan bir qator boshqa tendentsiyalarni ta'kidlaydilar [1]. Birinchidan, mijozlarning zamonaviy ehtiyojlarini hisobga olgan holda

noyob innovatsiyalarni amalga oshirish. Ikkinchidan, bu biznes jarayonlarini avtomatlashtirish uchun ilg'or texnologiyalarni qo'llash. Uchinchidan, kompleks takliflar va sotishni kengaytirish orqali ob'ektlarning qo'shimcha qiymatini yaratishga e'tibor. To'rtinchidan, bu investitsiya va qurilish loyihalari natijalarini maksimal darajada oshirishga qaratilgan rivojlanishni ommalashtirishdir. Qurilish sanoatidagi zamonaviy yangiliklarni quyidagicha tasniflash mumkin:

-Sun'iy intellekt va mashinani o'rganish texnologiyalaridan foydalanish;

- 3D bosib chiqarishni amalga oshirish;

- Modulli qurilishdan foydalanish;

- Qurilish maydonchalarida dronlar va robototexnika vositalaridan foydalanish;

- Boshqarish va boshqarish uchun mobil texnologiyalar;

- Biznes jarayonlarini raqamlashtirish;

- "Aqlli uy" va "aqlli shahar" tushunchasi;

- Virtual va kengaytirilgan haqiqat texnologiyalaridan foydalanish.

Ushbu yangiliklarning barchasi iqtisodiyotning zamonaviy yuqori texnologiyali rivojlanishi va uni raqamlashtirishning o'ziga xos xususiyatlarini aks ettiradi. Shuni ta'kidlash kerakki, qurilish sanoatining rivojlanishini belgilaydigan asosiy tendentsiya raqamli resurslar va zamonaviy apparat va dasturiy ta'minot komponentlaridan foydalangan holda turli xil texnologik innovatsion echimlarni joriy etishga qaratilgan.

4. Xulosa

Qurilish sohasidagi zamonaviy tendentsiyalar va innovatsiyalarni tahlil qilish natijasida xulosa qilish mumkinki, bugungi kunda "yashil" rivojlanish, zamonaviy iste'molchilar, shu jumladan aholi va biznes ehtiyojlariga mos keladigan noyob innovatsion yechimlarni joriy etish bilan bog'liq yo'nalishlar alohida ahamiyatga ega. Kompleks takliflarni shakllantirish va tarqatish kanallarini kengaytirish orqali qurilish ob'ektlarining qo'shimcha qiymatini yaratishga qaratilgan turli xil biznes jarayonlarini boshqarish va avtonomiyalashni avtomatlashtirish sohasidagi yuqori texnologiyalar ham dolzarbdir. Bugungi kunda qurilish sohasidagi innovatsiyalar sun'iy intellekt va mashinani o'rganish texnologiyalarini qo'llash, 3D bosib chiqarishni joriy etish, modulli qurilishdan faol foydalanish va qurilishda dronlar va robotlardan foydalanish (robototexnika) bilan bog'liq. Mobil texnologiyalar masofadan boshqarish uchun ishlatiladi, biznes jarayonlarini kompleks raqamlashtirish amalga oshiriladi, "aqlli uy" va "aqlli shahar" tushunchalarini joriy etish tezlashadi, shuningdek VR va AR texnologiyalari ilgari surilmoqda.

Foydalanilgan adabiyotlar / References

[1] Bolaev K. K., Tsedeev A. B., Klevakina V. N., Bashamjayev M. V. zamonaviy qurilish sanoati: tahlil va transformatsiya // amaliy tadqiqotlar jurnali. 2021. №6. 821-826-betlar.

[2] Gabalova D. V., Knyazkina E. V., Rashchepkina S. A. Rossiya energetika ob'ektlari qurilishini rivojlantirish tendentsiyalari // Evrosiyo fanining Byulleteni. 2022. №1. 1-11-betlar.

[3] Proskurina A. N., Fomenko I. N., Kocharyan yu. g. qurilishdagi innovatsion texnologiyalar: sanoatni



o'zgartirish // fan Byulleteni. 2024. №12 (81).

[4] Kiseleva O. N., Suxinina E. A. "yashil" qurilish talablari asosida Rossiya mintaqalarining innovatsion rivojlanishi: tendentsiyalar, muammolar va echimlar yo'nalishlari // universitetlar yangiliklari. Investitsiyalar. Qurilish. Ko'chmas mulk. 2021. №4 (39). 716-729-betlar.

[5] Oveshnikova L. V., Sibirskeya E. V., Tolmasov R. S. Rossiya qurilish sanoatining rivojlanish tendentsiyalari // RSEU. 2021. №4 (55). 24-30 betlar.

[6] Artemenko, A. A. qurilishni innovatsion rivojlantirishning dolzarb masalalari / A. A. Artemenko. - Matn: to'g'ridan-to'g'ri // yosh olim. — 2015. — № 11 (91). 742744-sahifa.

Mualliflar to'g'risida ma'lumot / Information about authors

G.R. Khalfin Tashkent state transport university,
Tashkent, Uzbekistan
<https://orcid.org/0000-0002-7217-8161>



Comprehensive assessment of the probability and severity of accidents at the mines of Donskoy gok using the Kinney method

U.K. Akishev¹, K.S. Lesov¹

¹Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: The article examines an approach to the comprehensive assessment of occupational injury risks in the underground mining operations of the Donskoy Mining and Processing Plant using the Kinney method. The analysis is based on data from 180 registered accidents that occurred over a 21-year period at the “Molodezhnaya,” “DNK,” and “ShSC” mines. Hazard identification was carried out using an internal classifier, highlighting the most significant events, including rock falls and collapses, the impact of moving machinery, and falls from heights. Calculations using the Kinney method showed that the risk level for the main hazard type (code 15) exceeds acceptable thresholds ($R = 300$, with a permissible limit of 70 points), classifying it as an unacceptable risk. Reasoned conclusions were made regarding the necessity of implementing preventive measures based on quantitative analysis. The proposed approach allows for the systematization of industrial safety management at facilities with a high level of injury risk.

Keywords: occupational injuries, professional risks, underground mining operations, Kinney method, mines, risk assessment, labor safety, Donskoy GOK, rock falls, hazard classifier, mining, Kazakhstan

Комплексная оценка вероятности и тяжести последствий несчастных случаев на шахтах донского гока с использованием метода Киннея

Акишев У.К.¹, Лесов К.С.¹

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация: В статье рассмотрен подход к комплексной оценке профессиональных рисков травматизма на подземных горных работах Донского горно-обогатительного комбината с использованием метода Киннея. В качестве исходной базы использованы данные 180 зарегистрированных несчастных случаев, произошедших на шахтах «Молодёжная», «ДНК» и ШСЦ за 21-летний период. Проведена идентификация опасностей по внутреннему классификатору, выделены наиболее значимые события, включая падения пород и обрушения, воздействие движущихся механизмов и падения с высоты. Расчёты по методу Киннея показали, что уровень риска по основному виду опасности (код 15) превышает допустимые значения ($R = 300$ при пороге в 70 баллов), что классифицируется как неприемлемый риск. Сделаны обоснованные выводы о необходимости внедрения предупредительных мер на основе количественного анализа. Представленный подход позволяет систематизировать управление промышленной безопасностью на объектах с высокой степенью травмоопасности.

Ключевые слова: производственный травматизм, профессиональные риски, подземные горные работы, метод Киннея, шахты, оценка риска, безопасность труда, Донской ГОК, падение пород, классификатор опасностей, горное дело, Казахстан

1. Введение

Промышленный травматизм на подземных горных работах продолжает оставаться одной из наиболее острых и недостаточно решённых проблем в горнодобывающей отрасли. По данным Международной организации труда (МОТ), ежегодно на производстве происходит более 2,7 миллиона смертей, а свыше 374 миллионов работников получают травмы различной степени тяжести [1]. Особенно высокий уровень риска фиксируется в сфере подземной добычи полезных ископаемых, где совокупность природных, техногенных и организационных факторов приводит к значительной вероятности несчастных случаев с тяжёлыми последствиями [2, 3]. Мировая научная литература свидетельствует о растущем интересе к методам количественной оценки и управления

профессиональными рисками на предприятиях с повышенной опасностью. В частности, широкое распространение получили методы матричной оценки (Fine-Kinney method, HAZOP, FMEA) [4–6]. Однако их применение в условиях подземной добычи в странах Центральной Азии, включая Казахстан, представлено недостаточно широко [3, 7–9]. Актуальность настоящего исследования обусловлена необходимостью практической адаптации метода Киннея к условиям шахт Донского горно-обогатительного комбината (АО «ТНК Казхром»), где за последние десятилетия фиксировался стабильно высокий уровень производственного травматизма [10–12].

Предметом исследования являются условия труда и статистические показатели травматизма на подземных шахтах Донского ГОКа за 21-летний период.



Целью исследования является проведение комплексной количественной оценки вероятности и тяжести последствий несчастных случаев на подземных горных работах Донского ГОКа с применением метода Киннея.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

провести идентификацию и классификацию опасных и вредных производственных факторов на основе внутреннего классификатора комбината;

проанализировать статистические данные о несчастных случаях на шахтах «Молодёжная», «ДНК» и ШСЦ;

выполнить расчёт показателя степени риска по основным видам опасностей в соответствии с методикой Киннея;

определить уровень допустимости риска и выделить события, требующие приоритетных профилактических мер;

обосновать целесообразность применения метода Киннея для управления производственными рисками в условиях подземных горных работ.

2. Материалы и методы

Объектом исследования являются подразделения Донского горно-обогатительного комбината (АО «ТНК Казхром»), осуществляющие подземные горные работы. В анализ включены данные по трём основным шахтам: «Молодёжная», «10-летия Независимости Казахстана» (ДНК) и ШСЦ (шахтостроительный цех), где за 21-летний период было зарегистрировано 180 несчастных случаев [10–12]. Основным источником эмпирической информации послужили журналы регистрации несчастных случаев и внутренние отчёты по промышленной безопасности за 21-летний период. В рассматриваемый период представлены подробные сведения о дате происшествия, профессии и возрасте пострадавшего, подразделении, стаже, а также классификации происшествия по принятому перечню опасных производственных факторов [11, 13, 14].

Методика идентификации и классификации опасностей процесс идентификации опасных и вредных производственных факторов осуществлялся на основе внутреннего классификатора предприятия, включающего 23 группы типовых опасностей (от падений и обвалов до воздействия вредных веществ, электроснабжения и взрывчатых материалов) [2]. Каждому происшествию в базе данных присваивался уникальный код согласно классификатору [7].

Применение метода Киннея. Для количественной оценки уровня риска использовалась модифицированная матрица Киннея. Метод основывается на расчёте степени риска (R) по i -ому классификатору, как произведения трёх параметров [4, 15, 16]:

$$R_i = P_i \cdot E_i \cdot G_i$$

где:

P_i – вероятность возникновения события,

E_i – частота подверженности работника данному риску,

G_i – тяжесть последствий происшествия.

Каждый из показателей определялся по балльной шкале на основании нормативных данных,

составленных с учётом рекомендаций Kinney & Wiruth (1976) и адаптированных к промышленным условиям:

Вероятность события (P): от 0,1 (фактически невозможно) до 10 (высокая вероятность).

Частота воздействия (E): от 0,5 (редко) до 10 (ежедневно).

Тяжесть последствий (G): от 1 (микротравма) до 100 (многократные смертельные случаи).

Алгоритм расчёта. Сбор и структурирование данных по всем несчастным случаям ($n = 180$) на шахтах.

Идентификация типа опасности по каждому случаю (напр., падение породы – код 15).

Агрегирование случаев по типам опасностей и определение их доли в общем числе.

Оценка вероятности (P) – на основе расчёта ожидаемой частоты события в год на одного работника.

Определение частоты воздействия (E) – исходя из средней периодичности происшествий.

Классификация серьёзности последствий (G) – по количеству случаев с летальным или тяжёлым исходом.

Расчёт степени риска (R) по каждому типу событий.

Сравнение полученных значений с допустимыми порогом (внутренние нормативы предприятия: допустимый уровень $R \leq 70$).

Критерии допустимости и категоризация рисков

Риски классифицировались следующим образом:

Значение R	Категория риска	Рекомендуемые действия
$R \leq 70$	Допустимый	Контроль, мониторинг
71–200	Повышенный (умеренно высокий)	Требуется плановых профилактических мер
> 200	Неприемлемый	Требуется немедленное вмешательство

3. Результаты и обсуждение

По результатам анализа 180 несчастных случаев, наиболее опасными были признаны падения и обвалы породы (код 15) – 78 случаев, воздействие движущихся предметов (код 09) – 53 случая, падения с высоты (код 14) – 33 случая.

Таким образом, более 90% всех происшествий приходится на три доминирующие категории, из которых наиболее опасной с точки зрения частоты и последствий являются обвалы и падения породы (код 15). Эти данные легли в основу дальнейшей количественной оценки риска.

Расчёт степени риска по методу Киннея (для события №15).

Исходные значения:

Общее количество случаев по событию 15 за 21 год:

$$KHC_{15}=78$$

Среднегодовое количество случаев:

$$СКHC_{15}=78/21=3,71$$

Среднегодовая численность работников подземных шахт:

$$n=1184$$

Ожидаемая частота события на одного работника:

$$OCH_{15}=3,71/1184\approx 0,00313$$

Расчёт степени риска по коду 15:

$$P = 3; E = 1; G = 100$$

$$R_{15} = 3 \times 1 \times 100 = 300$$

Полученное значение существенно превышает допустимый предел ($R \leq 70$) и классифицируется как неприемлемый риск. Это указывает на необходимость немедленного внедрения технических и организационных мер, таких как модернизация систем крепления, контроль за буровзрывными работами и оптимизация маршрутов движения персонала.

Метод Киннея широко применяется на предприятиях Европы и Азии для базовой количественной оценки рисков. Однако его практическое внедрение в горнодобывающей отрасли СНГ остаётся ограниченным. Полученные в данном исследовании результаты подтверждают высокую адаптивность и чувствительность метода к специфике подземных работ и демонстрируют его эффективность в идентификации критических зон производственной опасности.

Анализ и расчет показателей риска по реальным статистическим данным за длительный период позволяет:

формализовать оценку производственной опасности;

внедрить количественные критерии для принятия решений в области охраны труда;

повысить качество разработки предупредительных мероприятий и системы управления промышленной безопасностью.

4. Заключение

Проведённое исследование подтвердило высокую степень производственной опасности на подземных горных работах Донского горно-обогатительного комбината. На основе анализа статистики несчастных случаев за период 1995–2016 гг. и применения метода Киннея была выполнена количественная оценка профессиональных рисков. Идентифицированы основные типы опасных событий, среди которых наибольшую долю составляют падения, обрушения и обвалы пород (код 15), а также воздействие движущихся механизмов и падения с высоты.

Для события типа 15 рассчитанный уровень риска составил $R = 300$, что более чем в 4 раза превышает предельно допустимое значение. Это позволяет классифицировать данный риск как неприемлемый, требующий немедленного внедрения технических и организационных мер по снижению вероятности и тяжести последствий.

Применение метода Киннея в условиях подземных горных работ показало высокую эффективность в структурировании анализа, ранжировании опасностей и принятии обоснованных решений в области охраны труда. Результаты настоящей работы могут быть использованы для:

формирования корпоративных стандартов оценки риска;

проектирования систем предупреждения травматизма;

подготовки отраслевых методических рекомендаций в горнодобывающей сфере.

Таким образом, методологический подход, представленный в статье, имеет для предприятий горнопромышленного комплекса, а также может быть адаптирован высокую научную и практическую значимость для других отраслей с высоким уровнем профессионального риска.

Использованная литература / References

[1] Occupational Safety and Health Administration (OSHA). Guidelines for Hazard Identification and Risk Assessment. – U.S. Department of Labor, 2020. URL: <https://www.osha.gov/risk-assessment>.

[2] Искаков Ж.Т., Айгазин Б.А. Анализ травматизма и оценка риска в горнодобывающей промышленности Казахстана // Горное дело и промышленная безопасность. 2019. № 4. С. 22–27.

[3] Мухамедиярова А.А., Жанаспаева М.М., Кульманова С.Р. Профессиональные риски и профилактика производственного травматизма на предприятиях горной промышленности Республики Казахстан // Вестник Карагандинского университета. Серия «Химия. Геология. Экология». 2021. № 1(101). С. 140–148.

[4] Kinney G.F., Wiruth A.D. Practical Risk Analysis for Safety Management. – China Lake: Naval Weapons Center, 1976. – 78 p.

[5] Seo D.-C., Torabi M.R., Blair E.H., Ellis N.T. A cross-sectional study of the impact of safety climate on injury outcomes among manufacturing workers // Journal of Safety Research. 2015. Vol. 53. P. 105–111. DOI: 10.1016/j.jsr.2015.03.008

[6] Gholami M., Nasiri F., Aghaei M. Safety risk assessment using modified Fine–Kinney method combined with FMEA approach in underground mines // International Journal of Mining and Geo-Engineering. 2020. Vol. 54, No. 2. P. 123–134. DOI: 10.22059/IJMG.2020.280847.594776

[7] Сулейменов К.Е., Джаксылык Б.К. Метод оценки риска по Киннею на объектах недропользования // Геология и недропользование. 2020. № 2(69). С. 91–95. URL: <https://geology-kz.com>.

[8] Николаев, С. П. Оценка производственных рисков на шахтах с использованием метода Кинни / С. П. Николаев // Горный журнал. – 2019. – № 7. – С. 60–64. – DOI: 10.17580/gzh.2019.07.12.

[9] Тлеубаев, А. Б. Оценка рисков на предприятиях горнодобывающей отрасли Казахстана / А. Б. Тлеубаев // Вестник КазНТУ. – 2018. – № 6. – С. 90–95.

[10] Акишев, У. К. Анализ производственного травматизма на шахтах Донского ГОКа / У. К. Акишев // Вестник горной науки. – 2015. – № 3. – С. 78–82.

[11] Акишев, У. К. Применение метода Кинни для оценки рисков в горнодобывающей отрасли Казахстана / У. К. Акишев, М. Т. Ержанов // Труды Международной конференции по промышленной безопасности. – Алматы: КазНИИПБ, 2016. – С. 112–117.

[12] Акишев, У. К. Повышение безопасности труда на шахтах Донского ГОКа / У. К. Акишев // Материалы научно-практической конференции "Инновации в горном деле". – Караганда: КарГТУ, 2017. – С. 55–59.

[13] Министерство труда и социальной защиты населения Республики Казахстан. Национальный доклад о состоянии условий и охраны труда в Республике Казахстан за 2020 год. – Нур-Султан: МТСЗН РК, 2021. – 120 с. URL: <https://www.enbek.gov.kz>.

[14] Республика Казахстан. Технический регламент «Требования к обеспечению промышленной безопасности на опасных производственных объектах». Утв. Постановлением Правительства РК от 16.01.2012 № 55. – Астана: НЦТБ, 2012. – 42 с.

[15] Бобров А.В., Семёнов В.Н. Методика количественной оценки профессиональных рисков методом Киннея // Безопасность труда в промышленности. 2017. № 6. С. 15–19. URL: <https://btpnadzor.ru>.

[16] Хабибуллин Р.Ф. Комплексный подход к оценке и управлению производственными рисками на предприятиях угольной отрасли // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2022. № 6. С. 157–165. DOI: 10.25018/0236-1493-2022-6-0-157-165

Информация об авторах / Information about authors

Акишев Узакбай Кутыбаевич	Ташкентский государственный транспортный университет (ТГТУ). Темирйулчилар ул., д. 1, г. Ташкент, 100167, Узбекистан. Самостоятельный исследователь, ТГТУ. Тел.: +7 702 509 16 90. https://orcid.org/0000-0002-2568-2226
Лесов Кувандик Сагинович	Ташкентский государственный транспортный университет (ТГТУ). Темирйулчилар ул., д. 1, г. Ташкент, 100167, Узбекистан. Кандидат технических наук, профессор кафедры «Инженерия железных дорог», ТГТУ. Тел.: +99 (871) 299-03-80. E-mail: kuvandikl@mail.ru https://orcid.org/0000-0002-9434-0713



The introduction of the latest technologies and devices in the field of railway transport

G.R. Khalfin¹

¹Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: The article covers issues related to the description of modern aspects of improving the efficiency and safety of train traffic, improving the quality of transport services for passengers and shippers, as well as contributing to the economic development of the region through the implementation of comprehensive modernization at stations and railway sections. The introduction of intelligent monitoring and diagnostic systems for rolling stock is recommended. It has been established that the introduction of automated control systems implies a significant reduction in the cost of train traffic management. It has been established that the introduction of intelligent systems for monitoring and diagnosing the condition of the track using sensors and artificial intelligence (AI) is also an important area in the development of track facilities. As a result, the successful development of railway transport requires a holistic approach that includes increasing investment attractiveness, introducing modern technologies, and taking into account the social needs of users.

Keywords: railway transport, track management, technology, traffic safety, research, devices, infrastructure, sensor, artificial intelligence.

Внедрение новейших технологий и устройств в сферу железнодорожного транспорта

Хальфин Г.Р.¹

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация: Статья охватывает вопросы, касающиеся описания современных аспектов повышения эффективности и безопасности движения поездов, совершенствования качества транспортных услуг для пассажиров и грузоотправителей, а также содействия экономическому развитию региона через осуществление комплексной модернизации на станциях и в участках железнодорожных путей. Рекомендовано внедрение интеллектуальных систем мониторинга и диагностики подвижного состава. Установлено, что внедрение автоматизированных систем управления предполагает значительное снижение затрат на управление движением поездов. Установлено, что внедрение интеллектуальных систем мониторинга и диагностики состояния пути с использованием датчиков и искусственного интеллекта (ИИ) также является важным направлением в развитии путевого хозяйства. В результате успешное развитие железнодорожного транспорта требует целостного подхода, который включает в себя увеличение инвестиционной привлекательности, внедрение современных технологий и учет социальных потребностей пользователей.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, путевое хозяйство, технологии, обеспечение безопасности движения, исследование, устройства, инфраструктура, датчик, искусственный интеллект.

1. Введение

Железнодорожный транспорт претерпевает значительные изменения под влиянием глобализации и возрастания интереса к экологической устойчивости. В данном исследовании проводится анализ актуальных экономических тенденций в отрасли, включая изменения в спросе на пассажирские и грузовые перевозки, влияние глобальных экономических циклов, а также значение государственного регулирования. Оценивается конкурентоспособность железнодорожного транспорта по сравнению с автомобильным и воздушным, принимая во внимание такие параметры, как стоимость, скорость и углеродный след. Особое внимание уделяется вопросам декарбонизации и достижения углеродной нейтральности к 2030 году, включая реализацию экологически чистых технологий, таких как электрификация и использование водородных

топливных элементов [1,2]. Также рассматривается воздействие инновационных решений, таких как автоматизация, цифровизация и интеллектуальные системы управления, на эффективность и качество перевозок, с акцентом на экономическую эффективность и инвестиционные риски. В завершение, исследование формулирует прогноз для будущего развития железнодорожного транспорта, подчеркивая значимость инноваций, экологической ответственности и интеграции с другими видами транспорта для гарантии долгосрочного роста и устойчивого развития отрасли. В рамках исследования также рассматривается роль государственного регулирования в стимулировании инноваций [3,4].

2. Методология исследования

В данной работе применяются методы теоретического исследования, такие как анализ, синтез,

сравнение, обобщение, сопоставление, абстрагирование, а также дедуктивный и индуктивный методы.

3. Результаты исследования

Современная экономика железнодорожного транспорта переживает значительные трансформации, обусловленные глобальными тенденциями, технологическими изменениями в общественных потребностях. Основные изменения касаются как грузовых, так и пассажирских перевозок, а также управления всей инфраструктурой [5].

В последние годы наблюдается активная интеграция технологий в транспортные процессы. Внедрение автоматизации и цифровизации позволяет повысить эффективность работы железнодорожного транспорта. Эти технологии дают возможность прогнозировать неисправности на основе анализа данных о компонентах, что, в свою очередь, повышает безопасность и надежность транспортных услуг.

Железнодорожный сектор активно трансформируется, адаптируясь к динамично развивающейся логистике. Гибкая тарифная политика, динамическое ценообразование и ориентация на экологическую устойчивость (включая электрификацию и альтернативные источники энергии) способствуют повышению конкурентоспособности и рентабельности. Параллельно внедряются инновации в области безопасности, такие как системы автоматического контроля за движением, что обеспечивает эффективное управление и уменьшение рисков. Интеграция с другими видами транспорта через создание мультимодальных цепочек помогает решать проблемы перегрузок на автомобильных дорогах [6-7]. Однако глобальные политические и экономические факторы, например, колебания цен на нефть, продолжают представлять собой значимую угрозу. В результате, благодаря внедрению технологических новшеств и акценту на устойчивое развитие, железнодорожный транспорт укрепляет свои позиции в сегменте пассажирских и грузовых перевозок. Железнодорожный транспорт активно эволюционирует, внедряя инновации и экологически чистые технологии для повышения своей эффективности и конкурентоспособности в области пассажирских и грузовых перевозок, что обеспечит ему значимую роль в будущем.

Развитие железнодорожного транспорта сталкивается с множеством проблем и вызовов, что требует системного подхода и комплексного анализа. Основные факторы, влияющие на устойчивость и прогресс данной отрасли, охватывают экономические, технологические и социальные аспекты. Наличие устаревшей железнодорожной инфраструктуры во многих странах приводит к увеличению затрат на ремонт, снижению скорости и надежности перевозок, а также ухудшению качества обслуживания. Это создает необходимость в значительных инвестициях для модернизации, что является сложной задачей в условиях ограниченных бюджетов. Решение данного вопроса заключается в плановом перевооружении инфраструктуры с целью повышения скорости и безопасности перевозок.

Первым значительным вызовом является состояние инфраструктуры, в частности, использование

устаревших деревянных шпал, что угрожает безопасности движения и вызывает задержки поездов. Переход на железобетонные шпалы должен повысить надежность, снизить затраты на ремонт и улучшить экономические показатели сектора. Комплексная модернизация инфраструктуры также приведет к улучшению условий труда [8].

Вторым важным вызовом выступает необходимость интеграции новых технологий в существующие системы. Железнодорожные компании обязаны адаптироваться к стремительно меняющимся технологическим требованиям, включая автоматизацию процессов, внедрение цифровых платформ и использование больших данных. Это подразумевает не только финансовые затраты, но также изменения в организационной структуре и подготовке кадров, что может вызывать сопротивление со стороны работников. Под новыми технологиями подразумевается оснащение железнодорожных станций устройствами диспетчерского управления [9].

На промежуточных станциях, где маневровая работа минимальна, реализация диспетчерского управления представляется возможной. В существующей системе управления движением поездов на станции отвечает дежурный, который готовит маршруты, переводя стрелки и открывая сигналы. Предложение о переходе на диспетчерское управление подразумевает наличие одного диспетчера, который будет осуществлять управление стрелками и сигналами на всех этих станциях, при этом один дежурный по станции сохраняет контроль за маневровой работой. Начальники станций, составители и приемосдатчики сохраняют свои посты и объем работ. Реализация данного проекта позволит внедрить новые технологии, уменьшив численность штата дежурных, поскольку многие из них не имеют специального образования, что затрудняет грамотное использование оборудования на железнодорожном транспорте [10].

Внедрение автоматизированных систем управления предполагает значительное снижение затрат на управление движением поездов. Системы, основанные на современных информационных технологиях, будут способствовать сокращению времени простоя поездов, минимизации ошибок человеческого фактора и оптимизации маршрутов, что обосновывает переход к диспетчерскому управлению. Это также окажет положительное влияние на коэффициент использования подвижного состава и, следовательно, на увеличение доходов от перевозок. Сокращение времени в пути и уменьшение интервалов между отправлениями являются значимыми факторами повышения общей пропускной способности железнодорожных линий.

Еще одной важной инновацией является внедрение интеллектуальных систем мониторинга и диагностики подвижного состава. Современные технологии позволяют в реальном времени отслеживать состояние ключевых систем локомотивов и вагонов, предсказывая возможные неисправности и позволяя проводить профилактические работы до возникновения серьезных проблем. Ныне существующие станции уже оборудованы такими системами, как КТСМ и УКСПС, которые позволяют в первую очередь передавать информацию о неисправном подвижном составе. Применение технологий, таких как «умные» рельсы и датчики, позволяет управлять состоянием инфраструктуры, что критически важно для

минимизации аварийных ситуаций и повышения уровня безопасности. В качестве перспективного направления развития можно рассмотреть установку устройств мониторинга на станциях. В настоящее время на станциях размещены релейные шкафы, обеспечивающие безопасное функционирование инфраструктуры. Установка камер или датчиков на данном оборудовании позволит продлить срок их службы, что существенно снизит затраты на восстановление критичных элементов железнодорожного транспорта и улучшит экономические показатели.

Таким образом, внедрение интеллектуальных систем мониторинга и диагностики состояния пути с использованием датчиков и искусственного интеллекта (ИИ) также является важным направлением. К числу преимуществ таких систем относятся: снижение затрат на ремонт и обслуживание благодаря раннему обнаружению износа, увеличение срока службы объектов, повышение безопасности дорожного движения и комфорта вождения, оптимальное использование ресурсов инфраструктуры и увеличение привлекательности регионов для инвесторов за счет повышения безопасности и комфортности транспортировки.

4. Заключение

Успешное развитие железнодорожного транспорта требует целостного подхода, который включает в себя увеличение инвестиционной привлекательности, внедрение современных технологий и учет социальных потребностей пользователей. Только сотрудничество всех участников данной сферы — государства, частного сектора, а также самих пассажиров и грузоотправителей — может способствовать увеличению объемов перевозок, повышению уровня безопасности и, соответственно, улучшению экономических показателей отрасли.

Использованная литература / References

- [1] Указ Президента Республики Узбекистан, от 11.09.2023 г. № УП-158 О Стратегии «Узбекистан – 2030».
- [2] Указ Президента Республики Узбекистан, от 05.10.2020 г. № УП-6079 Об утверждении Стратегии «Цифровой Узбекистан-2030» и мерах по ее эффективной реализации.
- [3] Закон Республики Узбекистан, от 09.08.2021 г. № ЗРУ-706 «О транспорте».
- [4] Закон Республики Узбекистан, от 27.11.2024 г. № ЗРУ-1006 «О железнодорожном транспорте».
- [5] Сорокина Е.А. Инновационные технологии в управлении железнодорожным транспортом // Транспорт России. - 2020. - № 3. - С. 34-39.
- [6] Кузнецов А.П. Перспективы развития железнодорожного транспорта в условиях цифровизации // Экономика и управление транспортом. - 2021. - № 2. - С. 12-19.
- [7] Иванова Т.Г. Инновации в сфере грузоперевозок на железнодорожном транспорте // Вестник транспортного факультета. - 2019. - № 4. - С. 55-62.
- [8] Покровская А.И. Влияние цифровых технологий на развитие железнодорожного транспорта // Инновации в России. - 2022. - № 5. - С. 37-44.
- [9] Федорова К.Д. Перспективы устойчивого развития железнодорожного транспорта // Экономика и экология. - 2023. - № 2. - С. 66-72.
- [10] Гольская Ю.Н. Инновационные решения железнодорожного транспорта // Экономика и бизнес: теория и практика. 2024. №9-1 (115).

Информация об авторах / Information about authors

G.R. Khalfin Tashkent state transport university,
Tashkent, Uzbekistan
<https://orcid.org/0000-0002-7217-8161>



The maintenance of rails is a minor factor contributing to the extension of the service life of the railway track

A.S. Islomov¹

¹Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This article discusses the defects that arise in rails, which are one of the main components of railway infrastructure, and their current maintenance. All measures related to the maintenance of railways are primarily aimed at improving the interaction between the rolling stock and the track. Irregularities in the track cause vertical and horizontal dynamic forces, which in turn increase the impact transmitted from the vehicle to the track and lead to the accumulation of residual deformations. This necessitates regular correction of the track in both the longitudinal and transverse profiles. In this regard, studying the rails and their operating conditions is considered a highly relevant issue. Today, many innovations and opportunities are being introduced in the transport sector of our country. Therefore, conducting scientific research using modern methodologies and reliable scientific foundations is highly appropriate. This article presents the scientific basis for the maintenance methods of rail defects.

Keywords: defect, rail, deformation, elasticity, alignment, radius, curvature, deterioration, rail head, longitudinal, vertical.

1. Introduction

Railway infrastructure is one of the main sectors of transport in the road economy. The road economy includes all railway facilities and production enterprises. The road economy accounts for more than half of the value of the main railway assets, operating expenses, and one-fifth of the workforce. Key priorities in the road economy include improving the management system, increasing the efficiency of mechanization during loading and unloading, expanding the use of heavy-duty machinery, and ensuring proportional labor costs in routine maintenance and repair works. The railway is a complex engineering structure operating under challenging conditions. Heavy trains travel at high speeds along the railway. The wheels exert a force of 100-115 kN on the rails, which can increase by 1.5 to 2 times during movement. Irregularities in the rails and wheels, as well as deviations from maintenance standards, cause the horizontal and vertical forces acting on the rails to fluctuate rapidly over time. These forces result in various residual deformations on the railway.

Additionally, climatic changes such as snow, wind, water, and temperature also affect the railway.

Therefore, conditions must be met to ensure safe operation of the railway and resistance to various forces and natural changes. It is essential to keep the railway constantly in a proper state. These issues are addressed by organizing high-quality routine maintenance and repair of the railway.

2. Research methodology

A significant amount of resources and materials are required for the production of rails. Therefore, even a slight extension of the service life of rails yields considerable benefits on a national scale. The service life of rails depends on several factors: the total gross tonnage transported over the railway, the speed of train movement, the type of traction, and the quality of the rails themselves. As a key indicator of rail service life, the total gross tonnage carried over the rails is commonly used.

The operating conditions of the rails have a substantial impact on their longevity. If the gap at the joints exceeds the

standard value, the repeated impact of wheel flanges against the rail ends increases, leading to localized deformation. As a result, depressions form at the joints, contributing to defects such as 17.1, 18.1, and 53.1. Therefore, during track inspection, close attention must be paid to ensure that rail joint gaps remain within the prescribed limits.

Settlements at the rail joints, suspended rail ends, and missing or damaged rail pads significantly worsen operating conditions. To improve the performance of rails, it is essential to ensure stable support along their entire length by securing them firmly to the sleepers. This is achieved by consistent tamping of sleepers, compacting the ballast, and ensuring reliable fastening to prevent longitudinal displacement.

Depressions and suspended rails at joints must be promptly and properly eliminated. Worn-out rail pads are replaced, and all bolts at joints are tightly fastened.

Overlay welding to repair worn joint sections and fastenings can significantly extend the rail service life. If vertical wear on the rail does not exceed 1–3 mm on main or arrival/departure tracks, overlay repair is permitted.

The elevation of the outer rail must be regularly monitored and maintained. Deviations from the norm lead to uneven rail wear: on the inner rail, head deformation occurs (defect 43), while on the outer rail, lateral and vertical wear intensifies (defect 44). On curves with a small radius, lateral wear on the outer rail increases rapidly. To reduce this, lubrication of the inner side of the outer rail is widely practiced. Graphite grease is commonly used, which significantly slows down the wear rate of both rails and wheel flanges, thereby extending their service life. Rail lubricators are installed on curves where lateral wear exceeds 2–3 mm after passing 100 million gross tons of traffic. Lubrication is not required year-round and is typically performed in the summer months. This measure reduces lateral rail wear rates by a factor of 4–5.

During rail installation or individual replacement, it is critical to ensure that the rail base does not rest on the edge of the baseplate, which could cause rail breakage. To prevent cracking in the rail web or at the base of the rail head, rail fastenings must fit tightly. Any fastenings that do not meet this requirement should be replaced immediately. The conditions of loading, transporting, and unloading rails also

influence their service life. These operations must be carried out using lifting equipment. Dropping rails or hammering them into place is strictly prohibited. When stacking rails, supports should be placed every 1.5 meters, and used sleepers may be employed for this purpose.

Welding any wires or plates to the rail base or web is strictly prohibited. Rail joint welding must only be conducted at positive temperatures (+5°C and above). If the rail temperature is between +5°C and -10°C, the rail ends (150 mm on both sides) must be preheated to 150–200°C before welding. Welding is strictly forbidden when rail temperature is below -10°C.

Defects arising from violations of manufacturing technology, poor-quality metallurgy or heat treatment, and improper rail maintenance contribute significantly to the degradation of rails during operation.

Depending on the type of defects, rails can be classified as defective or severely defective. The descriptions of defective and severely defective rails are provided in the railway maintenance guidelines. Rails with wear exceeding the specified limits are also classified as defective. In this context, the concept of total wear is used.

The total wear of a rail is defined as the sum of the vertical wear and half of the lateral wear of the rail head (see Table 1).

Table 1

The permissible limits of rail wear, measured in millimeters (mm).

№	Rail Maintenance Tracks and Manifestations of Rail Wear	R75, R65	R50	R43
1	Total Wear (mm)			
1.1	Main lines with passenger train speeds of 120–140 km/h	9	7	-
1.2	Main lines with freight transport intensity ≥ 10 mln t·km/year and freight train speeds ≤ 120 km/h	12	10	8
1.3	Main lines with freight transport intensity < 10 mln t·km/year and receiving-dispatch lines with freight transport intensity ≥ 10 mln t·km/year	16	13	9
1.4	Other receiving-dispatch lines	20	16	12
1.5	Other station tracks	-	19	15
2	Rail head lateral wear (mm)			
2.1	Main lines with passenger train speeds of 120–140 km/h	7	6	-
2.2	All main and receiving-dispatch lines with freight transport intensity ≥ 10 mln t·km/year	15	13	10
2.3	Other receiving-dispatch lines	18	16	13
2.4	Other station tracks	-	18	15

Transverse fractures and broken rail heads prohibit the passage of trains on the affected rails.

Until preparations are made to replace cracked rails, it is permitted to allow trains to pass over them at a reduced speed of no more than 25 km/h. The schedule for train passage is

determined by the track brigade chief.

The passage of trains over rails with cracks located in tunnels and on bridges is strictly prohibited under any circumstances.

During the rail replacement process, environmental temperature must be taken into account, since at positive temperatures rails may be pushed into the free space, while at negative temperatures rails tend to move away in both directions. To evaluate the impact of freight and passenger trains on rails, the mixed-traffic railway line between Tashkent and Samarkand was examined. This allowed for the analysis of the quantity and severity of defects present on the line. The data is presented in Table 2 below.

Table 2

Summary Data of the Tashkent–Samarkand High-Speed Line

Stations		Section Length (km)	Avg. Transported Freight (mln t, gross)	Average Train Speed (km/h)		Number of Defects (units)
				Passenger	Freight	
		L	G	V _{pass}	V _f	N
1	Toshkent yo'l. - To'qimachi	4,43	74,3	120	66	3
2	To'qimachi – Toshkent janubiy	2,07	74,3	130	60	5
3	Rahimova – O'rtaovul	8,72	74,3	167	60	12
4	O'rtaovul – O'zbekiston	4,28	74,3	167	60	8
5	O'zbekiston – Yangiyo'l	6,4	87,8	167	60	7
6	Yangiyo'l - Navruz	8,2	123,57	167	60	5
7	Navruz - Paxta	6,82	123,57	167	60	7
8	Paxta - Olmazor	4,49	123,57	167	60	12
9	Olmazor - Chinoz	9,27	123,57	187	60	11
10	Chinoz – Yangi Chinoz	6,14	123,57	187	60	8
11	Yangi Chinoz - Sirdaryo	12,43	91,57	187	60	11
12	Baxt - Oqoltin	12,11	90,1	187	60	4
13	Guliston - Boyaut	6,3	90,1	187	60	3
15	Boyaut - Yangiyer	9,35	72,4	187	60	6
16	Yangiyer - Hovos	8,25	32,12	223	60	8
17	Hovos - Rzd.3	22,4	32,12	223	60	9
18	Рзд. 3 - Dashtabod	17,4	32,12	223	70	19
19	Dashtabod – Rzd.6	15,93	32,12	173	70	2
20	Rzd. 6 - Zarbdor	15,14	32,12	173	70	5

The above table provides an overview of both passenger and freight train operations. It shows the average operating speeds of trains and the volume of freight flow passing through each section. In addition, the number of defects identified on each segment is also indicated. Based on this data, we will construct a graph illustrating the relationship between freight volume and train speed.

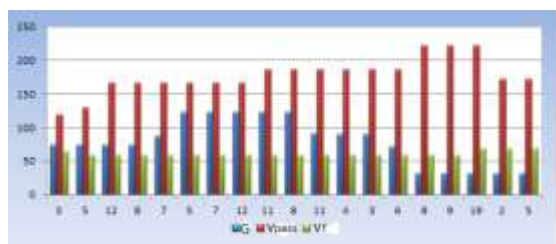


Fig. 1. Dependency graph of rail defects on passenger train speed (V_{pass}), freight train speed ($V_{freight}$), and total transported freight volume (G)

3. Conclusions and suggestions

1. It is essential to develop a dedicated fastening system design for high-speed rail routes.

2. The strategy for introducing high-speed passenger train operations highlights the necessity of broadening the traditional concept of infrastructure readiness. This expanded approach includes not only general condition assessments but also the integration of key performance indicators such as train speed levels, the number of accelerated train movements, and the physical state of the rails. These factors are critical in ensuring safety, optimizing performance, and extending the service life of railway components under increased dynamic loads typical of high-speed traffic.

3. In order to minimize defects in track superstructures arising from the introduction of a specified volume of accelerated passenger train operations, it is essential to consider modern design principles of rail joints that are characteristic of the intensification of the transportation process. This intensification aims to increase the mass of freight trains and enhance the railway's freight traffic throughput capacity.

References

- [1] Decree of the President of the Republic of Uzbekistan "On the Development Strategy of the new Uzbekistan for 2022-2026" dated January 28, 2022 No. PF-60.
- [2] Правила технической эксплуатации железной дороги РУз. Утв. Узгосжелдорнадзором от 13.08.01 г. Т.: ОАО «Темирйулчи», 2001.
- [3] Инструкция по сигнализации на железных дорогах РУз. Утв. Узгосжелдорнадзором 31.10.01 г. Т.: ОАО «Темирйулчи», 2001.
- [4] DJABBAROV S., ABDULLAEV K. Protection of transport structures in sandy deserts from moving sands //UNIVERSUM. – 2022. – С. 25-28.
- [5] Кахаров З.В., Исломов А.С. ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ // Вестник науки. 2023.
- [6] Джаббаров С. Т., Кодиров Н. Б. У. Исследование напряженно-деформированного состояния рельсов при увеличении осевой нагрузки //Universum: технические науки. – 2022. – №. 12-3 (105). – С. 34-39.
- [7] Джаббаров С. Т., Кодиров Н. Б. Анализ влияния динамической нагрузки колеса на рельсы условиях скоростного движения поездов в Узбекистане //Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2023. – Т. 20. – №. 3. – С. 531-543.

Information about authors

Islomov Akbar Sadulloyevich Base doctoral student, Tashkent State Transport University,
e-mail: islomovakbar9184@gmail.com
(0000-0003-2811-2963)

The impact of high-speed trains on the service life of rails

A.S. Islomov¹

¹Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This article examines the defects occurring in rails used on the high-speed sections of Uzbekistan Railways. Additionally, the impact of train movements on the rails is considered. The article mainly focuses on rails and the frequently occurring defects in them. Since rails hold a special place, great attention is paid to the development of technologies that assess all problems related to rails and the metallurgical industry, as well as the defects and damages that serve as the basis for evaluating rail conditions. The article also considers the high-speed section of the Tashkent - Samarkand railway line as the main object of study.

Keywords: rail head, joint, hidden defect, crack, defect, transverse crack, wave-like wear, plastic deformation.

Tezyurar poyezdlarning relslar xizmat muddatiga ta'siri

Islomov A.S.¹

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Аннотация: Ushbu maqolada O'zbekiston temir yo'llarining tezkor uchastkalarida ishlatiladigan relslarda yuzaga keladigan nuqsonlar ko'rib chiqiladi. Shuningdek, poyezdlar harakatining relslarga ta'siri o'rganilmoqda. Maqolada asosiy e'tibor relslar va ularda tez-tez uchraydigan nuqsonlarga qaratilgan. Relslar alohida o'rin tutganligi sababli, relslar holati va metallurgiya sanoati bilan bog'liq barcha muammolarni, shuningdek, relslar holatini baholash uchun asos bo'lgan nuqsonlar va shikastlanishlarni baholashga imkon beradigan texnologiyalarni ishlab chiqishga katta e'tibor qaratilmoqda. Bundan tashqari, maqolada Samarqand-Toshkent temir yo'l liniyasining tezyurar qismi tadqiqotning asosiy obyekti sifatida ko'rib chiqilgan.

Ключевые слова: rels kallagi, chok, yashirin nuqson, darz, nuqson, ko'ndalang darz, to'liqsimon yeyilish, plastik deformatsiya

1. Kirish

Bugungi kunda yurtimizda amalga oshirilayotgan islohotlar yurtimiz ravnaqi yo'lida xizmat qilish bilan birgalikda transport sohasida ham keng ko'lamli imkoniyatlar yaratayotganini ko'rishimiz mumkin. Buning namoyondasi sifatida yurtboshimiz may oyining oxirlarida temir yo'llarni rivojlantirish chora-tadbirlari bo'yicha taqdimot bilan tanishdi.

Davlatimiz rahbarining 2023-yil 10-oktyabrda qaroriga muvofiq, bu soha tubdan isloh qilinmoqda. "O'zbekiston temir yo'llari" aksiyadorlik jamiyati tarkibiy jihatdan o'zgartirilib, nosohaviy bino, yondosh yer va ortiqcha vazifalar qisqartirildi. Natijada ilgari zarar bilan ishlagan kompaniya o'tgan yili 47 milliard so'm sof foyda bilan chiqdi. "Temiryo'lkargo" kompaniyasi tashkil etilgach, yuk vagonlaridan foydalanish samaradorligi 2 karra oshdi. Lekin hali imkoniyatlar ko'p. Taqdimotda soha infratuzilmasini rivojlantirish va daromadni oshirish vazifalari ko'rsatib o'tildi.

Xususan, tranzit yuklarini tashish quvvatidan to'liq foydalanilmayapti. Buni kelgusi yillarda 40 foizga oshirish orqali daromadni 2 karra ko'paytirish mumkin. Masalan, ilk bor Xitoy - Turkiya yo'nalishi bo'yicha yuk poyezdlari qatnovi yo'lga qo'yildi. Yurtimizda yangi poyezdlar olib kelinib, qatnovlar yildan yilga ko'paymoqda. Shu bois temir yo'l infratuzilmasi o'tkazuvchanligini izchil oshirib borish zarurligi ta'kidlandi [1]. Quyidagilar temir yo'l transporti sohasini bosqichma-bosqich isloh qilishning ustuvor vazifalari hisoblanadi:

- temir yo'lda tashish xizmatlari bozorida raqobatni shakllantirish va jozibador investitsiya muhitini yaratish orqali tashish jarayonlariga xususiy investitsiyalarni jalb qilish;

- temir yo'l sohasini transformatsiya qilish va raqamlashtirish ishlarini jadallashtirish, xizmatlar ko'rsatish jarayonining uzluksizligi, sifatligi, xavfsizligi, barqarorligi va ishonchligini ta'minlash;

- temir yo'l korxonalarining moliyaviy holatini mustahkamlash, yo'lovchi va yuk tashishda tannarx va xarajatlarni kamaytirish, operatsion samaradorlikni ta'minlash borasida hisobdorlik va rag'batlantiruvchi muhitni yaratish;

- tadbirkorlik sub'yektlari uchun temir yo'l orqali yuk tashish xizmatini ko'rsatuvchi vagon operatorlarini erkin tanlash huquqini ta'minlash va boshqalar [1].

2. Tadqiqot metodologiyasi

Ta'kidlash lozimki, har bir mamlakat o'ziga xos relslarni tekshirish usullari va foydalanish sharoitlari, ishlab chiqarish texnologiyalariga asoslanganligi sababli turli mamlakatlarda qabul qilingan nuqsonlar va shikastlanishlarning tasniflanishi bo'yicha rahbar (bosh, asosiy) xujjatlar turlichadir.

Yuqori tezlikli liniyalar uchun tezyurar poyezd tezliklari, motor vagonli harakat tarkibining o'qlaridan tushadigan kichik yuklanishlar va relslarning nisbatan kichik vertikal va bo'ylama yedirilishlari ajralib turganligi sababli,



temir yo'l relslarning nuqsonlari va shikastlanishlari kontakt charchashidan kelib chiqadi.

Temir yo'l tizimida g'ildirak-rels o'zaro ta'sir kuchlari natijasida yuzaga keladigan charchash nuqsonlari va shikastlanishlarning uch asosiy turi ushbu masalaga oid xujjatlarda qayd etiladi:

Rels kallagidagi darzlar, yashirin nuqsonlar, kovak va bo'shliqlar va boshqalar.

Rels kallagidagi darzlar – ular kichik uzluksiz doimiy va davriy takrorlanuvchan nuqsonlar bo'lib, rels kallagining ishchi chegarasidan 0.5-1.0 mm masofada va harakatlanish yuzasida chiziqlar va rang ko'rinishida paydo bo'ladi. Sirtidagi darzlar dastlab relsning bo'ylama o'qiga 10-15 gradus burchak ostida dumalab yuza ostida hosil bo'ladi va so'ngra borgan sari ortib boruvchi burchak ostida tobora chuqurlashadi. Bunday qiya darzlar yoriqlar hosil qilish uchun bir-biri bilan birlashishi mumkin, ular o'z navbatida yashirin nuqsonlarga aylanadi. Agar tuzatuv choralari o'z vaqtida ko'rilmasa, bunday nuqsonlar oxir-oqibat relslarda ko'ndalang sinishga olib kelishi mumkin.

Yashirin nuqsonlar – ular odatda, relslarning harakatlanish yuzasida, ko'p hollarda yo'lning to'g'ri chiziqli qismida yoki katta radiusli egri chiziqli uchastkalarda namoyon bo'ladi va bu hodisa yuqori tezlik liniyalari uchun xosdir. Yashirin nuqsonlar bo'lgan relslarning harakatlanish yuzasida bunday nuqsonlar V shaklda namoyon bo'lishi mumkin, bunday nuqsonlar namoyon bo'lish holatlarining yarmida nuqsonli zona quyuq va atrofdagi sirtga qaraganda xira bo'lib ko'rinadi. Dastlab bunday nuqsonlar harakatlanish yuzasining ichki tomoniga yaqin joylashgan yuza yoriqlar ko'rinishida, so'ngra ular ichkariga va kichik burchak ostida harakat yo'nalishida tarqaladi. Shu bilan birga, materialning plastik deformatsiyasi tufayli yoriq atrofida po'latning kemtik uvalanishi hosil bo'ladi, bu yerda g'ildirakning rels bilan aloqasi uzilib, korroziya va yeroziyaga olib keladi. Shuning uchun relsning ushbu nuqson hosil bo'lgan joyining sirtida xira ko'rinish quyuqlashadi. Yashirin nuqsonlar va rels kallagidagi yoriqlar bir xil xarakterga ega bo'lib, ularning yuzaga kelishiga metallning sirtidagi plastik deformatsiyasi va temir yo'l deformatsiyalanadigan qatlamida charchash hosil bo'lishi sabab bo'ladi. Asosan, ular relsning yumalanish yuzasida paydo bo'ladigan nuqsonlarga bog'liq bo'lishi mumkin.

Kovak va bo'shliqlar – ular rels kallagining o'qi orasida (o'qdan 10 – 25 mm masofada) hosil bo'ladi va to'liqinsimon yedirilish (iznos)ning cho'zilgan soxasida davriy klasterizatsiya taqsimlanishiga sabab bo'ladi. Bunday davriy takrorlanuvchi nuqsonlar va yeyilish to'liqinining qirralari (cho'qqilari) orasidagi masofa 20100 mm ni tashkil etadi. Ko'pincha kenglik bilan 20 – 30 grad. burchak ostida yumalanish yuzasidan pastga qiya yo'nalgan va rels o'qiga nisbatan 45 gradusga yaqin kiruvchi burchakka ega bo'lgan, 5 – 15 mm uzunlikdagi guruhlariga mayda ko'zli kavaklar konsentratsiyasi joy oladi. Relslarda nuqsonlarning bunday turlari faqatgina poyezdlar 200 km/s va undan katta tezlikda xarakatlanganda, to'liqinsimon yedirilish (iznos) ni xosil qilib asosan katta radiusga ega bo'lgan egriliklarning tashqi relsida yoki navbatma - navbat to'g'ri yo'ldagi ikkala relslarda yuzaga keladi.

Olingan eksperimental (tajriba, sinov) ma'lumotlarga muvofiq shuni qayd etish mumkinki, kavak va bo'shliqlar, shuningdek, relsning to'liqinsimon yeyilishi (iznos) juda kichik, yangi nuqsonlarning hosil bo'lishi va mavjudlarining o'sish jarayoni esa to'liqinsimon yeyilish(iznos) ning

rivojlanish jarayoniga o'xshash bo'lgan holatda ham yuzaga kelishi mumkin.

Rels kallagidagi ko'ndalang yoriqlar (och yoki to'q rangli dog'lar ko'rinishida) va ular tufayli kelib chiqadigan sinishlar – metallning yetarli bo'lmagan kontakt – charchoq mustaxkamligi, po'latda nometall (metallmas) qo'shimchalarning to'planib qolishining mavjudligidir. Harakat tarkibi ta'siri ostida rivojlanib boradi. Nuqson yuzaga kelishi avvalida rivojlanishi metallning qatlamlanishiga (ko'chishiga) – uvalanishiga yoki ko'ndalang yoriqqa olib keluvchi bo'ylama qiya yoriq xosil bo'ladi. Payvandlov choki (stik) ustidagi ko'ndalang yoriqlar. Payvand ishlarining yuqori sifatda bajarilmasligi, qo'shimchalar, pufaklar va payvandlov joyida yoriqlar mavjudligi yoki payvandlangan joyga qoniqarsiz ishlov berish (kertik mavjudligi).

Rels bo'yinchasining bolt yoki boshqa teshiklaridagi yoriqlar – bolt teshiklari qirralaridagi zo'riqish konsentratsiyasi. Parmalanish tufayli yuzaga kelgan teshik qirralaridagi yirtiqlar (zo'riqqan joylar) va korroziya yoriqlarni xosil bo'lishini tezlashtiradi. Chok(stik)larning qoniqarsiz holati (boltlarni bo'shab qolishi, rels choklarini ajralishi, katta bo'shliq (zazor)larning mavjudligi) nuqsonlar xosil bo'lishi va rivojlanishining asosiy sababi bo'lishi mumkin.

Hozirgi vaqtda tezyurur va yuqori tezlikdagi poyezdlar harakatlanuvchi Toshkent-Samarqand tezyurur uchastkasida relslarning ishlashi bo'yicha tadqiqotlar olib borildi. Tadqiqotlar natijalari shuni ko'ratdiki, ushbu temir yo'l uchastkasida tez-tez quyidagi nuqsonlar kuzatilmoqda:

1.Chok (stik) kallagida va chokdan tashqarida och va to'q dog'lar ko'rinishidagi ko'ndalang yoriqlar va yetarli bo'lmagan mustahkamlik natijasida sinishlar (21.1 va 21.2 nuqson, rels nuqsonlarining qabul qilingan klassifikatsiyasiga muvofiq [3]).

2.Rels kallagidagi ko'ndalang yoriqlar va relslarni payvandlash texnologiyasi buzilishi tufayli kelib chiqqan sinishlar (26.3 nuqson).

3.Rels bo'yinchasining bolt tirqishlaridagi yoriqlar (53.1 nuqson).

Tezyurur harakat olib kiritilgandan keyin so'nggi 9 yil(2011-2019) ichida Toshkent-Samarqand tezyurur uchastkasida aniqlangan 21.1, 21.2, 26.3, 53.1 kodli nuqsonlar 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

Toshkent-Samarqand uchastkasida aniqlangan 21.1, 53.1, 21.2, 26.3 nuqsonlar

Yillar	Nuqsonlarning kodli belgilanishi bo'yicha soni			
	21,2	53,1	21,1	26,3
2017	28	14	7	3
2018	24	13	8	6
2019	29	34	7	14
2020	18	21	4	13
2021	25	8	2	2
2022	47	13	8	4
2023	30	15	1	2
2024	23	11	6	1
2025	28	6	5	5

Rels kallagidagi ko'ndalang yoriqlar (och va to'q rangli dog'lar ko'rinishida) va ular tufayli yuzaga

kelgan sinishlar – metallning yetarli darajada bo'lmagan kontakt-charchoq mustahkamligi, po'latda metallmas qo'shimchalarning to'planib qolishi mavjudligi. Harakat tarkibi ta'siri ostida rivojlanib boradi. Nuqson hosil bo'lishi avvalida rivojlanishi metallning qatlamlanishi – uvalanishiga yoki ko'ndalang yoriqqa olib keluvchi bo'ylama qiya yoriq yuzaga keladi. Payvandlangan chok sirtida (kallagida)gi ko'ndalang yoriqlar – payvandlash ishlarining yuqori sifatda bajarilmaganligi, payvandlangan joyda turli qo'shimchalar, pufaklar va yoriqlarning mavjudligi yoki payvandlash joyiga qoniqarsiz ravishda ishlov berilganligi (kertik mavjudligi). Rels bo'ynining bolt yoki boshqa tirqishlaridagi yoriqlar – Bolt tirqishlarining qirralari (chekkalari) da zo'riqishlar konsentratsiyasi (quyuqligi, to'yinganligi). Parmalash sababli kelib chiqqan tirqish qirralaridagi yirtiqqlar va korroziya yoriqlar yuzaga kelishini tezlashtiradi. Stik (chok) larning qoniqarsiz holati (boltlarning bo'shab qolishi, rels choklarining tebranishi (silkinishi), katta zazor (bo'shliq) larning mavjudligi) nuqsonlarning vujudga kelishi va rivojlanishi uchun asosiy sabab bo'lishi mumkin.

3. Xulosa va takliflar

1. 21.1 va 21.2 nuqsonlari yuzaga kelishi asosiy sabablari asosan rels po'latining bir jinsli emasligi, ya'ni tarkibida kimyoviy moddalarning bir xilda taqsimlanmaganligi, metalni quyish jarayonida zarracha ko'rinishida metal bo'lmagan aralashmalar bilan po'latning ifloslanishidan kelib chiqadi. Bu yerda uchragan ushbu nuqsonlar ishlab chiqarish bilan bog'liq.

2. Relslardagi nuqsonlarning eng ko'p miqdori yo'lining kichik radiusli egri chiziqli uchastkalarining urinma yo'l izlarida sodir bo'ladi. Yo'lda yotgan relslardagi sinish va nuqsonlarning paydo bo'lish sabablari juda xilma-xildir. Kuzatish va o'rganishlar relslarning ishlash sharoitlarini ikki guruhga ajratib, ularning ishdan ishdan chiqishiga olib keladigan ba'zi umumiy sabablarni aniqlashga imkon berdi, ya'ni:

ekspluatatsiya sabablari (masalan, yo'lining va harakat tarkibining qoniqarsiz holati);

zavoddagi ishlab chiqarish sabablari (zavodda nuqsonlar bilan ishlab chiqarilgan relslar).

3. Sanab o'tilgan nuqsonlarga ko'ra relslarning sinishini tahlil qilib charchoqning u yoki bu dog'ining rivojlanishiga olib keluvchi sababini aniqlash mumkin. Rels kallagidagi

ko'ndalang yoriqlar, shuningdek, payvandlangan ichki nuqsonlarning payvand choklari zonasida va elektr bog'lovchilar (tutashtirgichlar) payvandlangan bolt choklari zonasida ham rivojlanishi mumkin. Ikki izli uchastkalarda ular odatda poyezd xarakatiga qarshi tomonga yo'nalgan bo'ladi.

Foydalanilgan adabiyotlar / References

[1] Prezidentning 10.10.2023 yildagi «O'zbekiston Respublikasi temir yo'l transporti sohasini tubdan isloh qilish chora-tadbirlari to'g'risida»gi [PQ-329-son](#) qarori.

[2] Джаббаров С. Т., Мирахмедов М., Мардонов Б. К вопросу выбора параметров проектирования объектов инфраструктуры высокоскоростных железных дорог //Инновационный транспорт. – 2017. – №. 2. – С. 35-38.

[3] Джаббаров С. Т., Мирахмедов М. М. ОРГАНИЗАЦИЯ СКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ ПАССАЖИРСКИХ ПОЕЗДОВ НА ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ //Транспорт шелкового пути. – 2019. – №. 1-2. – С. 35-45.

[4] Djabbarov S. T., Mirakhmedov M. ORGANIZATION OF SPEED TRAFFIC OF PASSENGER TRAINS ON THE EXPLOITED RAILWAYS.

[5] Sadulloyevich I. A. Mass and composition of rails //INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCE SCIENCE AND TECHNOLOGY. – 2025. – T. 2. – №. 1. – С. 24-26.

Mualliflar to'g'risida ma'lumot / Information about authors

Islomov Akbar Sadulloyevich Base doctoral student, Tashkent State Transport University,
e-mail: islomovakbar9184@gmail.com
(0000-0003-2811-2963)

Study and mitigation measures for the effects of stresses and vibrodynamic forces on rails resulting from the movement of freight train wheels

A.Kh. Abdujabarov¹, M.K. Khamidov¹, M.Kh. Mekhmonov¹

¹Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: All over the world the demand for railway transport of goods and passengers is increasing, which is the reason for increasing the requirements for all railway facilities. Every sphere of railway facilities is developing, new techniques and technologies are being introduced, but despite such changes and developments, the railway has not yet escaped from technical difficulties and defects that lead to faulty conditions. The occurrence of track defects and defects in the junction zone on the sections with high-speed and heavy-weight train traffic, deterioration of track geometry, destruction of track rigidity, occurrence of faults under the influence of various factors are also important with the increase of vibrodynamic actions and vibrations. So, the above-mentioned aspects are put forward as the main problems to be reduced, the causes of these deficiencies, faults and effects and the measures to eliminate and reduce them are given in this article.

Keywords: Railway, track maintenance works, freight and passenger trains, joint zone, track defects and deficiencies, rails, sleepers, crushed stone, ballast layer, vibrodynamics.

Relslar biriktirilgan hududda yuk poyezdi g'ildirak juftlari harakati natijasida vujudga keladigan zo'riqish va vibrodinamik kuchlar ta'sirini o'rganish hamda bu ta'sirlarni kamaytirish choralari

Abdujabarov A.X.¹, Xamidov M.K.¹, Mehmonov M.H.¹

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekistan

Annotatsiya: Butun dunyoda yuk va yo'lovchi tashish bo'yicha temir yo'l transportiga bo'lgan talab yildan yilga oshib bormoqda bu esa barcha temir yo'l xo'jaliklariga bo'lgan talablarning oshishiga sabab bo'ladi. Temir yo'l xo'jaliklarining har bir sohasi rivojlanmoqda, yangi texnika va texnologiyalar kirib kelmoqda, ammo bunday o'zgarish va rivojlanishlarga qaramasdan, temir yo'l o'zini nosoz holatlarga olib keluvchi texnik murakkablik va kamchiliklardan xalos bo'lmagan. Og'ir turdagi va yuqori tezlikdagi poyezdlar harakatlanadigan uchastkalarining relslar biriktirilgan hududlarida nuqson va yo'ldagi kamchiliklarning kelib chiqishi, yo'l geometriyasining yomonlashishi, yo'lning turg'unligining buzilishi, turli xil omillar ta'sirida nosozliklarni kelib chiqishi, vibrodinamik ta'sirlar va tebranishlar ortishi bilan ham ahamiyatlidir. Demak yuqorida keltirilganlar – kamaytirilishi lozim bo'lgan eng asosiy muammolar sifatida ilgari surilmoqda, bu kamchilik, nosozlik va ta'sirlarning kelib chiqish sabablari va ularni kamaytirish hamda bartaraf qilish chora – tadbirlari ushbu maqolada keltirib o'tildi.

Kalit so'zlar: Temir yo'l, joriy ta'mirlash ishlari, yuk va yo'lovchi poyezdlari, relslar biriktirilgan hudud, yo'lning nosozlik va kamchiliklari, relslar, shpallar, chaqiq tosh, ballast qatlami, vibrodinamika.

1. Kirish

“O'zbekiston temir yo'llar” AJ da oxirgi yillarda ko'pgina o'zgarishlar bo'lib o'tmoqda bunga sabab aksiyadorlik jamiyatining tubdan transformatsiya qilinishidir. Buning natijasida yangi temir yo'llarni qurish, foydalanishdagi temir yo'llarni ta'mirlash va rekonstruksiya qilish, yangi yo'l ustki qurilmalarini qo'llash orqali yuk va yo'lovchi tashishga bo'lgan talablarni temir yo'llarni soz va barqaror ishlashini ta'minash orqali yuqori natijalarga erishish imkoniyatlarini yaratadi. Respublikamiz hududidagi temir yo'llarda poyezdlar harakati tezligini oshirish, yuk tashish-ortish hajmini oshirish va tashish tan-narxini kamaytirishga katta e'tibor qaratilmoqda. Bu natijalarga erishish yo'lida har bir temir yo'l xo'jaliklari bo'yicha katta hajmdagi ishlarni qoida, me'yor, nizom, yo'riqnoma va texnologik jarayonlarga qat'iy rioya qilgan holda yangi

konstruksiyalarni, materiallarni va texnologik jarayonlarni kiritish va keng qo'llash orqali erishib boramiz.

Temir yo'llardan aholining va xalq xo'jaligining tashishlarga bo'lgan barcha ehtiyojlarini to'liq qondirish, tashishni yuqori sifat bilan o'z vaqtida bajarish talab qilinadi. Tashishlarga bo'lgan buyurtmalarni biroz kechiktirish ham korxonalarining normal ishlashiga jiddiy zarar keltiradi, xo'jalikni shartnomaviy asoslarda muqim yurgazishni izdan chiqaradi. Og'ir turdagi va yuqori tezlikdagi poyezdlar harakatning rivojlanishi, temir yo'l tarmog'ini ham, uning alohida yo'nalishlarini ham yuk va yo'lovchi tashish va o'tkazish qobiliyatini oshirishda asosiy omil hisoblanadi. Aniq belgilangan yo'nalishlar bo'ylab harakatlanuvchi yuk va yo'lovchi tashishning talab etilgan qiymatlariga ega bo'lgan og'ir turdagi va yuqori tezlikdagi poyezdlarning temir yo'l izi infratuzilmasi bilan birgalikda ishlashini ta'minlashning “ananaviy” texnologik vazifasi va ushbu texnologik jarayonda harakat tarkibi va infratuzilma

elementlarining xavfsiz texnik holatini saqlab turish masalalari paydo bo'ladi [1-6]. Temir yo'lining yo'l ustki qurilmalari majmuasiga kiruvchi barcha elementlar (relslar, shpallar, biriktirgichlar, rels osti va shpal usti tagliklari, rels osti va shpal usti hamda osti rezinalari va ballast qatlami) va inshootlarni harakatlanuvchi tarkib bilan o'zaro ta'siri murakkabligini hisobga olgan holda, yo'l xo'jaligi sohasida quyidagi ustuvor vazifalarni kiritish maqsadga muvofiqdir:

- temir yo'l xo'jaligi sohasida qo'llaniladigan yangi zamonaviy elementlarini va innovatsion sinov natijalari bo'yicha ijobiy natija bergan vosita va qurilmalarni tatbiq etish;

- kam xizmat ko'rsatiladigan texnik vositalar, qurilma va konstruksiyalarni tatbiq etish;

- innovatsion IT dasturlaridan foydalanish va materiallarni tatbiq etish;

- yo'lni joriy saqlash ishlari bo'yicha yangi va iqtisodiy samaradorlikka ega texnologik jarayonlarni tatbiq etish;

- temir yo'l orqali harakatlanuvchi yuk va yo'lovchi poyezdlari temir yo'l infratuzilmasi bilan bigalikda ishlashi natijasida murakkab texnik tizimni vujudga keltiradi, shuningdek o'qqa tushadigan yuklama va harakatlanish tezligini oshirish bo'yicha ma'lum bir ajratib olingan uchastkalarda yoki imitatsion modellarda harakat tarkibi va temir yo'l izining o'zaro ta'sirlashuvini o'rganish bo'yicha eksperimental tadqiqotlar o'tkazish [4].

2. Tadqiqot obyekti va metodi

Temir yo'l tizimi qanchalik rivojlanmasin, yangi konstruksiya va materiallardan foydalanilmasin u baribir yo'lni nosoz holatga olib keluvchi texnik murakkabliklardan xalos bo'lmagan. Temir yo'lining geometriyasini yomonlashishi, harakat tarkibi va tabiiy omillar ta'sirida turli xil nosozliklarni kelib chiqishi, shuningdek shovqin va vibratsiya ham kamaytirilishi lozim bo'lgan muammolar sifatida ilgari surilmoqda, harakat tarkibi g'ildirak juftlaridan tushuvchi vertikal bikirlikni o'zgartirish va trassa bo'ylab bir xil qiymatlarga ega bo'lish hamda aniqlangan kamchiliklarni bartaraf etish uchun sohada olib boriladigan tadqiqotlarni rivojlantirish zarur. "O'zbekiston temir yo'llari" aksiyadorlik jamiyati va kon metallurgiya konbinati korxonalarining temir yo'l liniyalarda vagonlarga ortilgan (yuklangan) va tashilayotgan yuk hajmini hamda yuk vagonlarining sonini ortishi – g'ildirak juftlaridan relsga tushuvchi yuklamaning va zo'riqishning ortishiga, ayniqsa relslar biriktirilgan hududlarda bir yoki ikkala rels izlarining birvarakayiga cho'kishi, qiyshayishi, rels geometriyasi bo'yicha nuqsonlar ortishi, to'rt yoki olti teshikli rels biriktirgich (nakladka)larda yoriq va darzketishlar paydo bo'lish davrining tezlashishi, tagliklarning ko'ndalang sinishi, mahkamlagich elementlarini sinishi va charchashi, viplesklar, qiyshaygan shpalalar, shpalalarning sinishi, yorilishi va turli ko'rinishdagi nuqsonlar kelib chiqishi, ballast prizmasi geometriyasining buzilishi, shag'al donadorligining belgilangan me'yor 25-60mm dan maydalanib ketishi, yer polotnosida nosozliklar va qoldiq deformatsiyalar ortib borishi shuningdek shovqin va vibratsiyaning o'sishiga olib keladi [1].

Relslar biriktirilgan hududlarda harakat tarkibi va yo'l ustki qismi materiallarining o'zaro ta'siri oqibatida yuqorida keltirilgan kamchilik, nuqson va muammolarni imkon qadar maksimal darajada kamaytirish imkonini beruvchi chora – tadbirlar ishlab chiqish va ilmiy eksperimental tadqiqotlar o'tkazishni ko'paytirish bilan ham ahamiyatli va dolzarbdir. Bunday tadbirlardan biri temir yo'l izida elastik va zo'riqishlarga chidamli, vibratsiya darajasini pasaytiradigan,

tushayotgan bosimni so'ndiruvchi hamda kuchlarni o'zidan tarqatish yuzasi katta bo'lgan elementlardan keng foydalanilishi (masalan: shpallar, rels nakladkalari, qotirgichlar, shpala ostidagi tagliklar, rels osti va shpala usti rezinalari, to'shaluvchi materiallar va boshqalar) oqibatida bir qancha masalalar o'z yechimini topadi va kamchiliklarni kelib chiqish muddati uzayadi bu esa temir yo'l uchun eng samarali vositalarni tatbiq qilish zaruratini ko'rsatadi. Shu bilan bir qatorda yo'lning bikirligi, geometriyasining yomonlashuvi va vibratsiya bilan bog'liq muammolar va elastik elementlarning tavsiflari chuqurroq o'rganish va yangi materiallarni temir yo'lda qo'llash dolzarb hisoblanadi. Relslar biriktirilgan hududlarda poyezdlar harakati natijasida vujudga keluvchi kuch va omillar ta'siri oqibatida ushbu hududda yo'lni joriy saqlash bo'yicha muammo, kamchilik va nosozliklar yo'lning boshqa qismiga qaraganda ko'p va tez vujudga keladi va harakat havfsizligiga rahna soluvchi holatlarni keltirib chiqaradi (1-rasm). Shuning uchun ham butun dunyoda temir yo'llardagi bo'g'inli yo'llarni kamaytirib ularning o'rniga uloqsiz yo'llarni yotqizish ortib bormoqda. Shu bilan relslar biriktirilgan hududlarni sonini kamaytirishga erishilmoqda. Ammo bu bilan muammolar butunlay hal bo'lmayabdi chunki har bir yotqizilgan uloqsiz yo'l – pletlaridan so'ng 12,5 m uzunlikdagi 2 – 4 juftli tenglashtiruvchi relslar yotqiziladi. Bu har bir yoki ikkita uloqsiz yo'lda 3 – 5 juftdan relslar biriktirilgan hududlar mavjudligini bildiradi, agar butun respublika hududidagi yirik sanoat korxonalari va "O'TY" AJ uchastkalari bo'yicha relslar biriktirilgan hududlar soni hali ko'p ekanligini ko'rishimiz mumkin. Ushbu relslar biriktirilgan hududlarda yuqorida keltirilgan bir nechta yo'l nosozliklari, kamchiliklar va harakat havfsizligiga rahna soluvchi holatlar yuzaga keladi, biz bu muammolarni yechishimiz va kamaytirishimiz, yo'lni joriy saqlash bo'yicha texnologik jarayonlarni ishlab chiqishimiz, yo'l ustki qurilmasining yangi konstruksiyasi va elementlarini takomillashtirishimiz hamda tatbiq etishimiz lozim [7].



1-rasm. Relslar biriktirilgan hududdagi nosozliklar

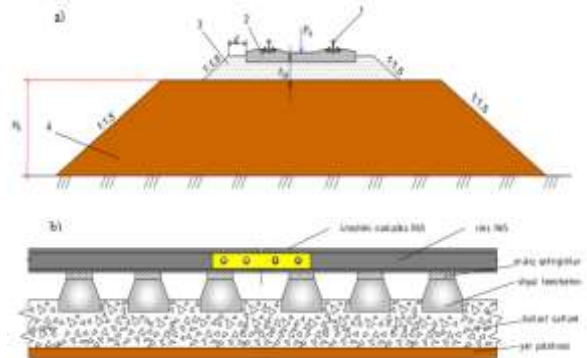
3. Eksperiment bajarish metodikasi

Temirbeton shpalalar yotqizilgan temir yo'l izining bikirligi, yog'och shpalli yo'llarga nisbatan yuqori darajada bo'ladi, bu esa oraliq mahkamlagich tagliklarning bikirligi o'zgarishi hisobiga yoki yo'l ustki elementlariga qo'shimcha prokladkalar o'rnatish, masalan elastik shpala osti

prokladkalar qo'llanilishi hisobiga kamaytirish mumkin. Yo'l ustki qurilmasi elementlarining bikirlikning oshishi harakat tarkibining temir yo'lga bo'lgan dinamik ta'sirining ortishi orqali ifodalanadi. Bu ayniqsa qoldiq deformatsiyalar jadal tarzda to'planadigan, notekisliklar mavjud va harakat havfsizligiga rahna soluvchi relslar birlashtirilgan hududlarda yuqori xarakterlidir. Yuqoridagi holatlarni tahlil qilish orqali, hozirgi vaqtda bo'yлама profilda, relslar birlashtirilgan hududdagi har bir bog'ında 3 donadan, umumiy bitta relslar birlashtirilgan hududda 6 dona temirbeton shpalalar ostiga elastik egiluvchan uzoq vaqt xizmat qiluvchi elementlarni (shpala osti rezinalarni) bevosita o'rnatish orqali, shpalalarning zichlangan to'shamasini (shpala osti va shpal yashiklaridagi zichlangan shag'al) buzmasdan yo'lining notekisliklarini to'g'rilash imkonini beruvchi materiallardan keng foydalanish masalalarini ko'rib chiqish, ilmiy izlanish va eksperimental tadqiqotlarini olib borish hozirgi kunda dolzarb hisoblanadi hamda bu ish orqali ijobiy natijaga erishish va temir yo'lda keng qo'llash maqsadga muvofiqdir.

Ko'p sonli og'ir yuklar tashiladigan, poyezdlar qatnovi jadal bo'lgan temir yo'l uchastkalarining relslar birlashtirilgan hududlarini nosozliklarsiz ishlashini va turg'unligini ta'minlash maqsadida olib borilgan nazariy ilmiy-tadqiqotlarga tayangan holda o'rta qo'yilgan muammoli masalalar yechimini topish maqsadida, "O'zbekiston temir yo'llari" AJ "Temiryo'linfratuzilma" AJ, Toshkent mintaqaviy temir yo'l uzeli filialiga qarashli "Salar temir yo'l masofasi" korxonasi hududiga qarashli temir yo'l uchastkasining Hamza – To'qimachi perigonidagi ajratib olindi. Relslar birlashtirilgan hudud ob'yekt sifatida qabul qilindi va eksperimental tadqiqotlar o'tkazish orqali relslar birlashtirilgan hududlarda vujudga keladigan vibrodinamik kuchlarni va yo'l ustki qism materiallarini zo'riqlashini kamaytirish, relslar birlashtirilgan hududning amplituda-chastotali tavsiflarini aniqlashga qaratilgan ilmiy eksperimental tadqiqot ishlari bajarilishi maqsad qilib belgilab olindi. Ob'yekt sifatida belgilab olgan "Salar temir yo'l masofasi" korxonasi hududiga qarashli temir yo'l uchastkasining Hamza – To'qimachi perigonida bajariladigan ishlar va eksperimental tadqiqotni to'g'ri, me'yoriy hujjatlarga asosan, belgilangan tartibda va poyezdlar harakati havfsizligiga rioya qilgan holda bajarilishi quyidagi metodika orqali bajarilishi ishlab chiqildi. Berilgan metodikaga ko'ra sinov ob'yekti sifatida belgilab olingan relslar birlashtirilgan hududida temir yo'l izlarining cho'kishi (просадка-Пр.л., Пр.п.) mavjud, qoldiq deformatsiyaga ega, shpala osti shag'allari donadorligi me'yori 25-60 mm dan maydalashgan, rels kallagida defektlar mavjud, maxkamlagichlar singan va bo'shagan, rezinalar ezilgan zona ajratib olindi va tadqiqot o'tkazish uchun qabul qilindi [4-7]. Eksperiment o'tkazish uchun ajratib olingan Hamza – To'qimachi perigonida asosan yuk poyezdlari harakati yo'lga qo'yilgan, uchastka elektrlashtirilgan yuk vagonlarini elektravozlar tortib o'tadi. Ob'yekt sifatida qabul qilingan relslar birlashtirilgan hududidagi temir yo'l ustki qism materiallari quyidagicha: temir yo'ldagi relslar tipi R65, shpallar – temirbeton, epyurasi 1840 km/dona, rels birlashtirgichlari R65 tipli 4 teshikli, stiklar bir biriga nisbatan siljishi (заѳер) mavjud emas, ballast qatlami – 40 sm qalinlikda yotqizilgan va yer polotnosi nosoz holatda emas (2-rasm) [1-2]. Tadqiqot o'tkaziladigan uchastkada harakat tarkibi (yuk poyezdi) o'tishi natijasida, dinamik kuchlar ta'siri – poyezdning tezligi, vagonlarga ortilgan yuk og'irligi va yuk vagonlarining sonini ko'pligi bilan ahamiyatlidir. Bu ko'rsatkichlar ortgani sari temir yo'ldagi dinamik kuchlar

ta'siri ham sekin asta ortib boradi natijada esa ob'yekt sifatida qabul qilingan relslar birlashtirilgan hududda hosil bo'ladigan cho'kishlar, qoldiq deformatsiyalar va vibrodinamik tebranishlar darajasi ko'payishi olib borilgan nazariy tadqiqotlar natijasida aniqlandi, lekin hududda vujudga keluvchi omil va kuchlar ta'sir darajasini aks ettiruvchi aniq va to'g'ri qiymatlarni faqat temir yo'lining o'zida, belgilab – ajratib olingan joylarda, bajarilgan sinov tadqiqot ishlari o'tkazilishi natijasida qo'lga kiritish mumkin.



2-rasm. Qo'shimcha shpala osti materiallari o'rnatilmagan ob'yekt sifatida qabul qilingan relslar birlashtirilgan hudud

a) hududning ko'ndalang qirg'iq ko'rinishi: 1 — rels, 2 — shpala, 3 — ballast prizmasi, 4 — yer polotnosi, h_{sh} — shpala ostidagi ballast qatlami qalinligi, d — ballast prizmasi yelkasi, P_d — yuqoridan tushadigan dinamik zoriqlash, kN; b) hududning bo'yлама qirg'iq ko'rinishi elementlar tavsifiloti bilan.

Hamza – To'qimachi perigonida ob'yekt sifatida qabul qilingan relslar birlashtirilgan hududida hosil bo'ladigan cho'kishlar (Просадка Пр.л., Пр.п.), qoldiq deformatsiyalar (ΔX) va vibrodinamik tebranishlarni haqiqiy holatda ko'rish uchun peregonni o'zida kuzatuv ishlari olib borildi (3-rasm), hududdan harakatlanib o'tayotgan yuk poyezdi ikki sektsiyalı 20'ZELR0214B elektravozi va unga birlashtirilgan turli xildagi yuklar ortilgan yuk vagonlari harakati natijasida vujudga keluvchi ta'sir kuchlari vizual seziladigan darajada aks eta boshladi. (3-расс).





**3-rasm. Ob'jekt sifatida qabul qilingan relslar
biriktirilgan hududdan harakatdagi tarkib o'tishi
vaqtida kuzatish jayoni.**

Tadqiqod o'tkazilayotgan ob'jekt sifatida qabul qilingan relslar biriktirilgan hududdan harakatlanib o'tgan 20'ZELR0214B elektravozli yuk poyezdlarining asosiy parametrlari:

20'ZELR0417B elektravozli ikki seksiyali olti o'qli (3-3 o'qli);

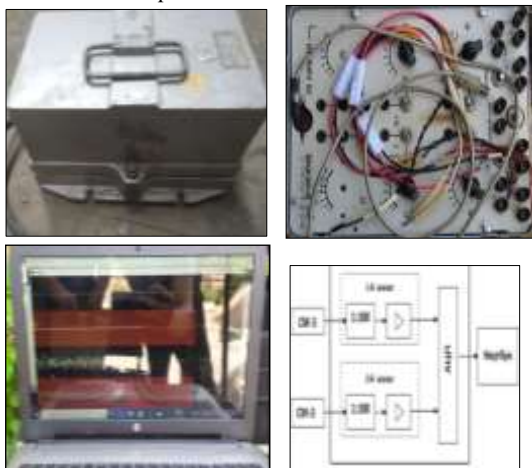
Yuk poyezdining uchastkada harakatlanib o'tish tezligi 50 km/soat;

Harakat tarkibidagi yuk vagonlari 4 (to'rt) o'qli;

Tarkibdagi 40 dona yuk vagonlariga turli xildagi xalq xo'jaligi maxsulotlari ortilgan.

Harakat tarkibi o'tishi natijasida – relslar biriktirilgan hududda yo'l ustki qurilmalarida, ballast qatlami va yer polotnosi ko'tarmasida hosil bo'ladigan tebranishlarning tarqalishini, vibrosiljishlarini, logarifmik dekrementini, vibrotezliklari va vibrotezlanishlarini uch o'qli koordinatalar tizimi (x, y, z) da aniqlash uchun quyidagi ossilloqraf SM-3 datchiklaridan foydalanildi (4-rasm):

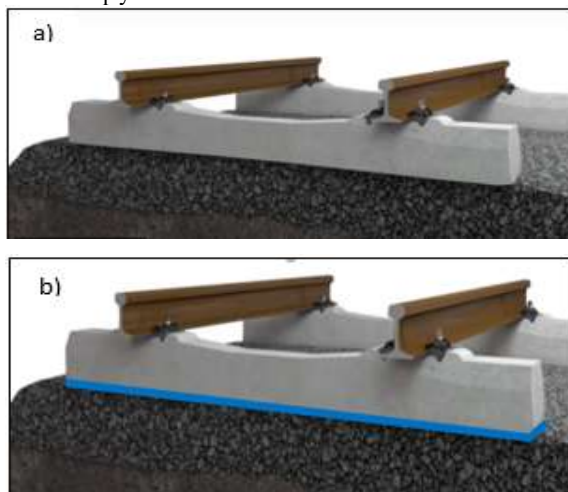
uch o'qli koordinatalar tizimi (x, y, z) da vibrosiljishlarni va vibrotezlikni aniqlash datchiklar soni – 3 dona.



**4-rasm. Relslar biriktirilgan hududda uch o'qli
koordinatalar tizimi (x, y, z)da tebranishlarning asosiy
parametrlarini aniqlash datchiklari va o'rnatish blok
sxemasi.**

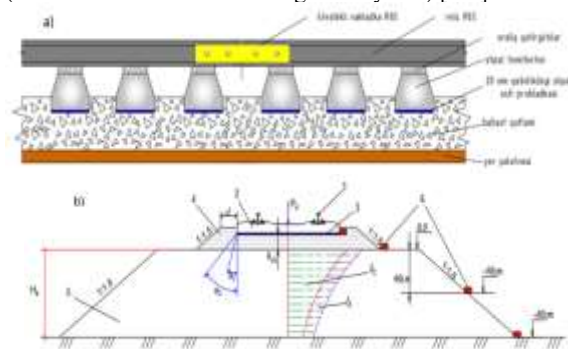
Sinov tadqiqodi uchun foydalaniladigan SM-3 ossilloqrafi har bir o'lchov kanaliga quyidagilar kiradi: kirish ajratuvchisi, kuchaytirgich, barcha kanallar uchun analog-raqamli konvertor (ARK-AIPI), dasturiy ta'minotga ega noutbuk. O'lchovlar paytida 4 ta kanal bo'yicha ma'lumotlar olinadi va noutbukda saqlab boriladi hamda qayta ishlash imkonini yaratiladi [7]. Ob'jekt sifatida ajratib olingan relslar biriktirilgan hududdan (hududga hechqanday tuzatish, ta'mirlash ishlari va qo'shimcha shpal osti prokladkalarini o'rnatmagan holda (5.a.-rasm) – birinchi

tekshiruv natijalari olinadi) birinchi yuk poyezdi o'tkaziladi. Uchastka orqali harakatlanib kelayotgan yuk poyezdi harakati sezilgandan so'ng, temir yo'ldan foydalanish va poyezdlar harakat xavfsizligi qoidalariga rioya qilgan holda sinov tadqiqodi olib borilayotgan relslar biriktirilgan hududda poyezdning harakati va tezligiga ta'sir ko'rsatuvchi omil va holatlarga yo'l qo'yilmaydi [3]. Hududdan yuk poyezdi o'tishni boshlashi bilan g'ildirak juftlari bilan yo'l ustki qurilmasi materiallarining birgalikdagi ishlashi natijasida shovqin, materiallarda vibrodinamik ta'sirlar, tebranishlar sezilarli darajada oshib borishi ko'rinishi boshlaydi. Bu ta'sirlar natijasini uch o'qli koordinatalar tizimidagi har bir datchikda, turli amplituda va chastotalarga ega tebranishlarni vujudga kelishini maxsus dasturiy ta'minotga ega kompyuter – noutbukda kuzata boshlaymiz va ularni qayd etib boramiz.



**5-rasm. Relslar biriktirilgan hududda a) shpal osti
prokladkasi o'rnatilmagan holati b) shpal osti
prokladkasi o'rnatilgan holati.**

Ma'lum vaqt o'tgandan so'ng uchastkada ikkinchi yuk poyezdi harakati sezildi, bu holatda ham temir yo'ldan foydalanish va poyezdlar harakat xavfsizligi qoidalariga rioya qilgan holda sinov tadqiqodi olib borilayotgan relslar biriktirilgan hududda poyezdning harakati va tezligiga ta'sir ko'rsatuvchi omil va holatlarga yo'l qo'yilmaydi. Faqat bu holatda relslar biriktirilgan hududdagi shpallar ostiga – shpal osti kengligi va uzunligi bo'yicha 300x2700mm o'lchamli 20mm qalinlikka ega bo'lgan elastik shpal osti prokladkasini o'rnatish orqali yuqorida keltirilgan nosozlik, kamchilik va vibrodinamik ta'sirlarni hamda tebranishlarni ma'lum darajada so'ndirish va kamaytirishga erishish maqsad qilindi (5.b. va 6.a. – rasmlarda keltirgani bo'yicha) [7-8].



**6-rasm. Sinov hududiga datchiklarni o'rnatilishi va
zo'riqish epyuralarining ko'rinishi.**

1 — rels, 2 — shpal, 3 — shpal osti prokladkasi, 4 — ballast prizmasi, 5 — yer polotnosi, 6 — SM-3 datchiklari, h_{sh} — shpal ostidagi ballast qatlami qalinligi, d — ballast prizmasi yelkasi, α_1 — shpal osti prokladkasi o'rnatilmaganda yuqoridat tushayotgan zo'riqish (bosim)ning ballast prizmasida tarqalish burchagi, α_2 — shpal osti prokladkasi o'rnatilganda yuqoridat tushayotgan zo'riqish (bosim)ning ballast prizmasida tarqalish burchagi, δ_1 — shpal osti prokladkasi o'rnatilmaganda yuqoridat tushayotgan zo'riqish natijasida hosil bo'ladigan zo'riqish epyurasi, δ_2 — shpal osti prokladkasi o'rnatilmaganda yuqoridat tushayotgan zo'riqish natijasida hosil bo'ladigan zo'riqish epyurasi, P_d — relslardan tushadigan dinamik kuch, kN.

Yuk poyezdi relslar birlashtirilgan hududdan harakatlanib o'tishni boshlashi bilan birinchi o'tkazilgan yuk poyezdi harakati natijasida aniqlangan vibrodinamik kuchlar ta'siri, yo'l ustki qism materiallarida tebranishlar, shpal osti prokladkalarini o'rnatilishi natijasida — yuqorida keltirilgan ta'sirlarning sezilarli darajada pasayishi aniqlanadi. Bu esa elastik shpal osti prokladkalarini qo'llash relslar birlashtirilgan hududda ijobiy o'zgarishlarni keltirib chiqaradi va biz o'z oldimizga qo'yan maqsadimizga erishishimiz imkoniyatini ya'nada oshiradi (6.b.-rasm).

Yurtimiz temir yo'llarida yuk poyezdlari qatnovi sonining ortishi va vagonlarga yuk ortish hajmining ko'payishi natijasida, temir yo'lining qolgan qismiga qaraganda — relslar birlashtirilgan hudud bilan poyezd g'ildirak juftlarining birgalikda ishlashi oqibatida vibrodinamik kuchlar ta'siri yuqori bo'ladi, bu esa harakat xavfsizligiga rahna soluvchi omil va holatlarni kelib chiqishi hamda yo'l ustki qurilmasi materiallarining ekspluatatsiya jarayonida xizmat qilish muddatini uzaytirish bo'yicha yuqorida ko'rib chiqilgan ma'lumotlar asosida quyidagi xulosalar tavsiya etiladi.

4. Xulosa

1. Yurtimiz temir yo'llaridagi bo'g'inli (zvenoli) va uloqsiz yo'llarning tenglashtiruvchi relslari relslar birlashtirilgan hududlarining turg'un va barqaror ishlashini, materiallarning uzoq muddat xizmat qilishini ta'minlash chora tadbirlari hozirgi kunda ham dolzarb bo'lib qolmoqda.

2. Temir yo'l uchastkalaridagi relslar birlashtirilgan hududlarni ko'proq tahlil qilish sinov tadqiqod ishlarini peregonlarning o'zida ko'rib chiqish, kamchilik va nosozliklarini kelib chiqish sabablarini chuqurroq o'rganish maqsadga muvofiqdir.

3. Relslar birlashtirilgan hududdagi shpal ostiga qo'llaniladigan elastik shpal osti prokladkalarini aniqlash va iqtisodiy kam xarajat turlarini ishlab chiqish va temir yo'lda keng qo'llash.

4. Prokladkalarni qo'llash orqali relslar birlashtirilgan hududni va yo'l ustki qurilmasi materiallarini nosoz holatga kelishiga yo'l qo'yimaslik chora tadbirlari va yo'lni joriy saqlash bo'yicha ishchi kuchi mehnatini kamaytirishga erishish lozim.

5. Relslar birlashtirilgan hududdagi shpallar ostiga zo'riqish va siqilishlarga chidamli, mustahkam, egiluvchan qo'shimcha prokladkalarni kiritish, foydalanish va joriy ta'mirlash ishlarini bajarish bo'yicha yangi texnologik jarayonlarni ishlab chiqishimiz maqsadga muvofiqdir.

6. Relslar birlashtirilgan hududdagi sinov tadqiqotlarni chuqurroq tahlil qilishimiz, poyezdlar harakati xavfsizligini ta'minlash uchun yo'lni turg'unligi va barqaror ishlashini ta'minlash bo'yicha shpala osti prokladkalaridan samarali

foydalanishimiz va qo'llashimiz lozimligi hamda bu borada ilmiy tadqiqod izlanishlarini davom ettirishimiz maqsadga muvofiq ekanligini ko'rsatdi.

Foydalanilgan adabiyotlar / References

- [1] M.K. Xamidov va SH.SH Maxamadjonov "O'zbekiston temir yo'llari" AJ liniyalarida stik zonalarida yo'lining turg'unligini ta'minlash va texnik xizmat ko'rsatish. "Arxitektura va qurilish muammolari" ilmiy-texnik jurnali. 2024 yil Samarqand, 134-138 betlar.
- [2] «Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути» №184-Н ГАЖК "Узбекистон темир йуллари" Ташкент 23.04.2015г. — 180с.
- [3] Положение о системе ведения путевого хозяйства АО «Узбекистон темир йуллари» №730-Н Ташкент 10.12.2024г. — 76с.
- [4] З.Л. Крейнис, Н.Е. Селезнева Техническое обслуживание и ремонт железнодорожного пути. Учебник 2019. — 453 с.
- [5] В.О. Певзнер «Текущее содержание пути — на современном этапе». Журнал «Путь и путевое хозяйство» № 9, 2004г.
- [6] Железнодорожный путь: учебник, изд. 2-е, испр. и доп. / под редакцией Е.С. Ашпиза. — М.: ФБГУ ДПО «Учебный-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте». 2021. — 575с.
- [7] Абдуджабаров А.Х., Мехмонов М.Х., Хамидов М.К. Испытание конструкции железных дорог с применением упругих подшпальных прокладок в стыковой зоне. Научно-технический журнал «Проблемы архитектуры и строительства». 2024, №4 Самарканд, стр. 249-253
- [8] Каплен В.Н. «Текущее содержание пути в зоне рельсовых стыков на особо грузонапряженных линиях с применением упругих подшпальных прокладок», РУТ МИИТ Москва 2022г. 126 с.

Mualliflar to'g'risida ma'lumot / Information about authors

Abdudjabarov Abduxamit Xalilovich	Toshkent davlat transport universiteti, "Temir yo'l muhandisligi" kafedrası professori, t.f.d., professor E-mail: a.abdudjabarov@mail.ru Tel.:+998909345796 https://orcid.org/0009-0000-7669-9602
Xamidov Maqsudjon Kamolovich	Toshkent davlat transport universiteti, "Temir yo'l muhandisligi" kafedrası assistent E-mail: xamidov.m.k.0990@mail.ru Tel.:+998991706923 https://orcid.org/0000-0002-2001-2258
Mehmonov Mashhurbek Husen o'g'li	Toshkent davlat transport universiteti, "Temir yo'l muhandisligi" kafedrası dotsenti, t.f.f.d. (PhD), dotsent E-mail: m.mehmonov90@mail.ru Tel.:+998943621900 https://orcid.org/0000-0002-1230-5552

Determination of the displacements of the conjugated ends of the span structures of bridge structures and recommendations for selecting modern designs of deformation joints

I.F. Hikmatova¹, F.Z. Zokirov¹

¹Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: The article examines the deformation joints of bridge structures that overlap gaps between span structures and other parts of the bridge (supports, supports) to ensure smooth and safe traffic flow, designed to compensate for deformations caused by temperature changes, dynamic loads, and other factors. Also, the types of stresses on deformation joints, determining the calculated temperature range, and determining the displacements of the ends of span structures from various types of stresses are described. Recommendations for choosing a deformation seam are given depending on the calculated values of displacements of the ends of the span structures. The article also examines determining the installation size of the deformation seam.

Keywords: deformation seam, longitudinal movements, span structure, transverse movements, horizontal movements, concrete shrinkage, temperature effects, concrete creep, elasticity model, transport braking.

1. Introduction

Deformation joints on bridges are special structural elements that close the gaps between the span structures and other parts of the bridge (supports, supports) to ensure smooth and safe movement of vehicles. They are designed to compensate for deformations caused by temperature changes, dynamic loads, and other factors

The main purpose of deformation joints is: *to allow span structures to move* without overvoltage and damage to joint elements during temperature changes, soil settlement, and other influences;

ensure smooth driving of vehicles, excluding knocks and vibrations, creating safe and comfortable driving;

prevent premature bridge destruction, as deformation joints help distribute loads and prevent stress accumulation.

Initially, steel sheets were used for deformation joint structures, covering the gap between span structures. With the increase in the length of the span structures of bridges, the use of these sheets was insufficient, therefore, comb joints and steel sliding sheets began to be used. All these types of deformation joints were not waterproof, so the water freely penetrated the gap and fell on the ends of the span structures, supporting parts, and supports. The first waterproof deformation joints were constructed using rubber tubes that seal the joint of the span structures and perceive longitudinal movements of the ends of the span structures due to the elastic deformation of the rubber. Thus, another task was added to the tasks facing the deformation joints - ensuring the tightness of the gap between the span structures.

This design principle led to the emergence of a large number of different deformation joint designs. Nevertheless, despite the continuous change in the design of deformation joints, they still remained among the most vulnerable elements of the road bridge pavement, subject to rapid wear, especially in bridges with intensive transport loads.

When determining the displacements of the ends of span structures for the purpose of selecting a deformation joint structure for use, errors are most often made, which are caused by both the designer's subjective approach and the lack of knowledge of the true operation of the structures. The result of these errors is the use of deformation joint structures of an incorrect type (size), which, in turn, leads to early destruction of joint structures, deterioration of movement

conditions on the bridge, and damage to load-bearing structures.

Methods. The construction of deformation joints is influenced by natural and climatic factors; vehicles directly in contact with the elements of deformation joints; operational factors (conditions and level of maintenance of bridge structures); and the movement of the ends of span structures in joints between themselves and with supports.

Based on this, we can list the methods for calculating deformation joint structures based on the factors of influence.

The method of calculation based on the natural climatic impact factor includes calculations of air temperature, the number of days in a year with negative temperature, the number of temperature transitions through "zero," environmental pollution, precipitation, and solar radiation exposure.

Calculation method based on the factor of operational impacts: abrasive impact of vehicle wheel tires, repeated load from the wheels, the possibility of foreign materials entering the structure and the duration of their impact, ice on the roadway in the zone of deformation joints, water impact, contamination of deformation joints.

Calculation method by the displacement factor of the ends of span structures: linear horizontal longitudinal and transverse relative displacements, linear vertical relative displacements, angular displacements in the longitudinal vertical plane, angular displacements in the transverse vertical plane, angular displacements in the horizontal plane.

Each influence according to the indicated characteristics is reflected in specific prerequisites for design and calculation, requirements for materials, and application conditions. The effect of displacements on the ends of span structures is taken into account when choosing the type or variety of deformation seam and when calculating the units and parts of its structure.

2. Results and Discussion

The foundations for calculating the displacements of the deformation joint are the values *of the maximum and minimum temperatures of the bridge structure span structures*. These temperature values determine the range of change in the value *of the deformation seam gap (calculated*



range of temperature change Δt), which is necessary for the correct and rational choice of the seam type (and its type size). When calculating for simplification purposes, the corresponding values of the maximum and minimum air temperatures ($T_{\max}$ and $T_{\min}$) in the construction area are taken as the maximum and minimum temperatures. The calculated temperature range is calculated as the sum of the maximum and minimum air temperature modules ($T_{\max}$ and $T_{\min}$):

$$\Delta t = |T_{\max}| + |T_{\min}|, \quad (1)$$

In addition, it is necessary to know the temperature of the bridge structure structures at the moment of installing the deformation seam (the temperature of installing the deformation seam T_{ins}).

The calculation method based on the "movement of the ends of span structures" factor (or "calculated movements") involves dividing the movements into the following types (Figure 1)

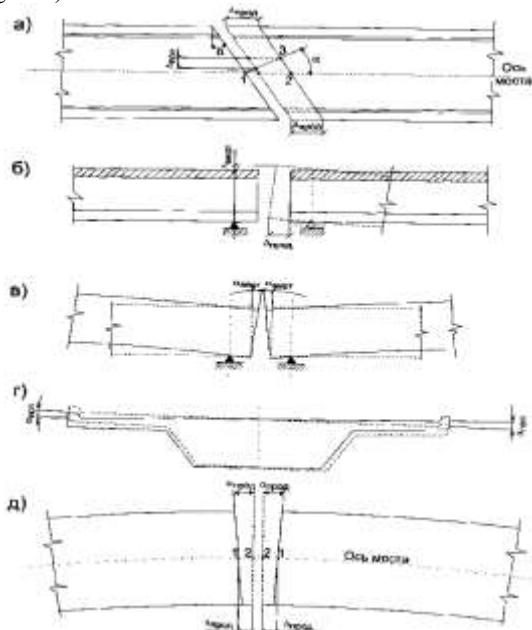


Fig. 1. Types of displacements of the ends of span structures

Linear horizontal longitudinal and transverse displacements of the mating ends of span structures, uniform along the length of the seam Δ_{long} and Δ_{trans} . Such movements occur due to the uniform change in ambient temperature, creep, and shrinkage of concrete.

1) Temperature effects.

The influence of temperature on the steel and reinforced concrete span structures of bridges can be taken into account using the known formula (2):

$$\Delta l = 1,2 \cdot \alpha \cdot \Delta t \cdot l \quad (2)$$

where: 1,2 - reliability coefficient for temperature effects;

α - temperature expansion coefficient, equal for concrete: on granite coarse aggregate $\alpha = 9,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, on limestone coarse aggregate $\alpha = 6,8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$; for steel: $\alpha = 1,1 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$

Δt is the calculated range of temperature change for a given area, formula (1);

l the calculated length of the "chain" from which the movements are assembled

The calculated length of the "chain" from which the displacements from temperature effects are collected is called the length of the part of the bridge taken between adjacent fixed supporting parts, provided that the given deformation joint is located in this section (fig. 2):

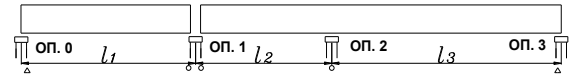


Fig. 2. Diagram for determining the calculated length of the chain for collecting displacements

In Figure 2, the deformation seam is located on support 1, and the fixed supporting parts are on supports 0 and 3. Then the calculated length of the "chain" l will be the length equal to $l = l_1 + l_2 + l_3$.

2) Creep of concrete.

When calculating the displacements of the ends of span structures, it can be assumed that the creep deformation of concrete occurs for 10 years (or more, if periodic additional loading of beams occurs).

The influence of creep on the displacement of the ends of span structures can be simplified by further reducing the lower limit of the calculated temperature range by 15 °C.

3) Concrete shrinkage.

When calculating concrete shrinkage deformations, the data in Table.2.

Table 2

	Measurements of normative shrinkage deformations ϵ_{sn} for concrete of compressive strength classes										
	B20	B22.5	B25	B27.5	B30	B35	B40	B45	B50	B55	B60
$\epsilon_{\text{sn}} 10^6$	400	400	400	400	400	400	400	365*	330*	315**	300**

When the cone settles 1-2 cm.

At a mixture hardness of 35-30 s.

Table. 2 contains the values of *limit relative deformations of concrete shrinkage*, which in our case show a relative increase in the length of the span structure due to concrete shrinkage. That is, for example, it can be assumed that the maximum change in the length of the span structure $l = 100 \text{ m}$ from concrete of the compressive strength class B30 will not exceed $\epsilon_{\text{sn}} = 100 \text{ m} \cdot 400 \cdot 10^{-6} = 0.04 \text{ m} = 4 \text{ cm}$.

If the deformation joints are installed some time after the bridge construction (as is most often the case), it is necessary to take into account the shrinkage deformation time, which can be conventionally taken as 5 years when the bridge is located in regions with a temperate climate, after which the shrinkage deformation can be considered conventionally terminated. In this case, the residual shrinkage deformation, and consequently, the displacement size, is taken taking into account the age of the concrete at the time of constructing the deformation joints according to Table. 3.

Table 3

Normative shrinkage deformations, %, depending on the age of the concrete, month.									
Climatic regions	1	3	6	12	18	24	36	48	60
Regions with temperate and cold climates	30	50	60	70	77	84	92	96	100
Southern regions	40	55	67	80	90	95	100	-	-

Table. 3 shows what percentage of shrinkage deformations from the limiting relative shrinkage deformations of concrete ϵ_{sn} has already occurred by this time. That is, for the above-considered span structure of the bridge with $l = 100 \text{ m}$, assuming it is located in the southern

region, and the deformation joints are made one year after the completion of concreting, it is necessary to expect another $100\% - 80\% = 20\%$ of all unfavorable shrinkage deformations, which will be $0.2 \cdot 4 \text{ cm} = 0.8 \text{ cm}$ at the limiting value of concrete shrinkage deformations equal to 4 cm.

The shrinkage of reinforced concrete span structures causes horizontal displacements, while the shrinkage of the reinforced concrete slab of steel-reinforced concrete span structures causes horizontal and vertical displacements.

The calculated values of displacements of the ends of span structures from shrinkage and creep are determined by multiplying the normative values by the reliability coefficient $\gamma=1.1$.

4) Acceleration and braking of transport.

Horizontal displacements of deformation joints can also be caused by vertical displacements of supports (settlements), forces from acceleration and braking of transport. We will not consider the subsidence of supports for simplification when performing laboratory work, although in practice it must be taken into account. Additionally, the settlement of supports is not fully considered in the case of continuous bridge structures, as support settlement is not permissible for them.

As for the forces from the braking and acceleration of vehicles, the displacements from their action can be approximately taken into account using Hooke's law (3):

$$\Delta_{\text{подо}}^{m_{\text{yck}}} = \frac{S_{m_{\text{yck}}} \cdot l}{E \cdot F} \quad (3)$$

where:

l - total length of the span structure;

E - modulus of elasticity of the span structure material;

F - cross-sectional area of the span structure;

$S_{m_{\text{yck}}}$ - force from braking and vehicle traction force.

The force is $S_{m_{\text{yck}}}$ applied to each of the adjacent spans, between which the deformation seam is provided (the calculation is carried out accordingly by substituting the values of l , E and F for each of these spans separately).

So, when the main displacements of the span structures are determined, it is necessary to sum them in three main directions: vertical displacements Δ_{vert} , horizontal longitudinal displacements Δ_{long} , and horizontal transverse displacements Δ_{tran} .

The types and designs of deformation joints are selected based on the total calculated displacements of the ends of the span structures in three directions, taking into account their signs "+" or "-" (the sign "+" is conventionally accepted if the displacement is aimed at stretching the span structure and closing the deformation joint, the sign "-" in the opposite case). Summed displacements with their recommended designations are given in the table. 4.

Summed displacements along directions and influences

Table 4

Directions	Loads and impacts				
	constants	temperature	shrinkage and creep of concrete	temporary mobile	
				vertical	horizontal
Longitudinal	$\Delta_{c, \text{long}}$	$\Delta_{t, \text{long}}$	$\Delta_{c, \text{long}}$	$\Delta_{tm, \text{long}}^v$	$\Delta_{tm, \text{long}}^h$
Vertical	$\Delta_{c, \text{vert}}$	$\Delta_{t, \text{vert}}$	$\Delta_{c, \text{vert}}$	$\Delta_{tm, \text{vert}}^v$	-
Transverse	$\Delta_{c, \text{trans}}$	$\Delta_{t, \text{trans}}$	$\Delta_{c, \text{trans}}$	-	-

It is necessary to remember that the perception of all the indicated displacements (Δ_{long} , Δ_{trans} , Δ_{vert}) must be ensured by the seam design. If the deformation joint design is not suitable for at least one Δ indicator, its application is not permitted.

Based on the obtained displacement values, a specific type of deformation seam is selected (types differ by the seam design, grade, manufacturer, etc.), as well as the type and size of this seam type (different within the same type and

grade by the magnitude of perceived displacements), after which the installation size of the selected deformation seam is determined.

3. Conclusion

Based on the above calculations, recommendations can be given for selecting the deformation seam type, depending on the seam's installation size.

The *installation size of the seam* is the width of the deformation seam gap, which the deformation seam has when it is installed in the bridge structure. The weld's installation size must be strictly defined and dependent on the temperature of the span structures at the time of installation, otherwise the calculated range of displacements of the span structures may not coincide with the permissible range of displacements of the deformation weld and may exceed it at the minimum or maximum temperature of the bridge structure. In practice, the installation size is determined using special tables (attached to this type of seam), in which the dependence of the installation size of the seam on the temperature of the span structures is given (for which, as a rule, the ambient air temperature is taken).

When a specific deformation seam for a given bridge structure is already selected, its installation size should be determined based on the fact that the middle of the calculated range of displacements of the span structure should, if possible, correspond to the middle of the permissible range of displacements of the deformation seam. In practice, we can take the deformation seam gap value, corresponding to the ambient air temperature, for which the deformation seam gap is approximately equal to half the calculated maximum gap, as the setting size.

Foydalanilgan adabiyotlar / References

- [1] Шестериков В. И. Ремонт конструкций деформационных швов с металлическим окаймлением. – М., 2001. – (Автомоб. дороги: Обзор. информ./Информавтодор; Вып. 7)
- [2] Современные конструкции деформационных швов автодорожных мостов часть 1. Деформационные швы WABO. Мет. указ. для студ. спец. 2910, 2911. Составлены: Раткиным В.В., Овчинниковым И.Г., Макаровым В.Н. Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2000
- [3] Современные конструкции деформационных швов автодорожных мостов часть 2. Деформационные швы MAURER. Мет. указ. для студ. спец. 2910, 2911. Составлены: Раткиным В.В., Овчинниковым И.Г., Макаровым В.Н. Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2000
- [4] Günter Ramberger. Structural bearings and expansion joints for bridges. Structural Engineering Documents 6. Zurich, Switzerland, IABSE, 2002. – p. 51-89
- [5] Шермухамедов У.З., Хикматова И.Ф. Анализ существующих конструкций деформационных швов в мостостроении. Problems of architecture and construction. 2024, №2
- [6] I.F. Khikmatova. Features work and scope of application of crushed stone-mastic expansion joints of bridges structures. Nazariy va amaliy fanlardagi ustuvor islohotlar va zamonaviy ta'limning innovatsion yo'nalishlari. Vol.1 №5 (2024). may



**Mualliflar to'g'risida ma'lumot /
Information about authors**

Hikmatova	inobat_hikmatova@mail.ru Tel:
Inobat	+998906462195, Doctoral Student of
Fazliddin qizi	Tashkent State Transport University
Zokirov	0202031@inbox.ru, Tel:
Fakhriddin	+998973466360, PhD, Associate
Zohidjon	professor of Tashkent State Transport
o'g'li	University



Equations of motion of a polymer pipeline interacting with the ground under seismic influences

U. Rakhmanov¹, Z. Mirzayeva¹, G. Ismailova¹, A. Abdusattorov¹

¹Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: In this article, studies of the stress-strain state of pipes made of polymer materials interacting with the soil under seismic influences were conducted. To solve such a problem, the equations of motion of underground pipelines with corresponding initial, boundary, and contact conditions were derived. The interacting "pipeline-soil" system is considered as a two-layer cylinder, the first layer of which is the soil, and the second is the pipeline. Assuming that a seismic wave propagates in the soil in the direction of the pipeline axis, the equations of motion of the interacting "pipeline-soil" system have been derived. Changes in the pressure of the soil on the pipeline, as well as the stress-strain state of the pipeline and the surrounding soil under conditions of rigid contact or contact, taking into account the movement of the pipeline relative to the soil, depending on the physical and mechanical properties of the soil, the coefficient of interaction of the structure with the soil, the depth of the pipeline and its geometric dimensions, as well as the direction of seismic forces, were investigated.

Keywords: polymer / pipeline-soil / double-layered cylinder / seismic wave / soil pressure / stress-strain state / rigid/grid conditions.

Уравнения движения полимерного трубопровода взаимодействующей с грунтом при сейсмических воздействиях

Рахманов У.¹, Мирзаева З.¹, Исмаилова Г.¹, Абдусатторов А.¹

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация: В данной статье проведены исследования напряженно-деформированного состояния труб из полимерных материалов взаимодействующих с грунтом при сейсмических воздействиях. Для решения такой задачи выведены уравнения движения подземных трубопроводов с соответствующими начальными, граничными и контактными условиями. Рассмотрена взаимодействующая система "трубопровод-грунт" как двухслойный цилиндр, первый слой которого представляет собой грунт, а второй - трубопровод. Трубопровод подвержен внутреннему давлению со стороны воды с температурой Т. Предполагая, что в грунте в направлении оси трубопровода распространяется сейсмическая волна, выведены уравнения движения взаимодействующей системы "трубопровод-грунт". Исследованы изменения давления грунта на трубопровод, а также напряженно - деформированное состояние трубопровода и окружающего его грунта в условиях жесткого контакта или контакта с учетом перемещения трубопровода относительно грунта, в зависимости от физико-механических свойств грунта, коэффициента взаимодействия сооружения с грунтом, глубины заложения и геометрических размеров трубопровода, а также от направления действия сейсмических сил.

Ключевые слова: полимер / трубопровод-грунт / двухслойный цилиндр / сейсмическая волна / давления грунта / напряженно - деформированное состояние / условиях жесткого / сеточной области.

1. Введение

В настоящее время трубы из полимерных материалов сменяют привычные стальные и чугунные трубопроводы. Происходит это не только в глобальных масштабах – замена общегородских коммуникаций, новое строительство, производство, но и в частном секторе. Отопление, канализация, вода – и газоснабжение – все эти процессы обслуживают полимерные трубы, которые могут быть изготовлены из пластика разного типа, что и определяет их пригодность к эксплуатации в той или иной сфере. В работах [1,2] приведены классификация и допустимые параметры для пластмассовых труб, выбор материала и типа труб, гидравлический расчет трубопроводов, расчет трубопроводов, расчетные характеристики материалов, нагрузки и воздействия, определение толщины стенки

трубопроводов, проверка прочности и устойчивости надземных трубопроводов, статический расчет труб, укладки в земле и метода прочностного расчета трубопроводов из полимерных материалов при подземной прокладке. В результате проведенного обзора литератур нормативных документов посвященных расчету труб из полимерных материалов установили, что во всех этих работах приводится только статический расчет труб, ни в какой из выше рассмотренных источников нет расчета полимерных труб на динамические или сейсмические воздействия.

2. Материалы и методы

В связи с этим решили провести исследования НДС труб из полимерных материалов взаимодействующих с грунтом при сейсмических воздействиях. Для решения



такой задачи нами выведены уравнения движения подземных трубопроводов с соответствующими начальными, граничными и контактными условиями (рис. 1).

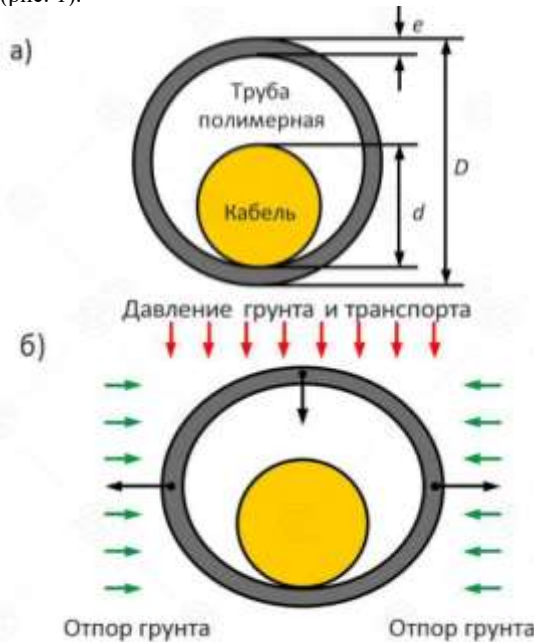


Рис. 1. Полимерная труба: без давления грунта (а), с давлением грунта (б)

Рассмотрим взаимодействующую систему “трубопровод-грунт” как двухслойный цилиндр, первый слой которого представляет собой грунт, а второй - трубопровод. Трубопровод подвержен внутреннему давлению со стороны воды с температурой T . Предположим, что в грунте в направлении оси трубопровода распространяется сейсмическая волна, закон движения которой задан в виде

$$U_0 = \Phi_1(r, x, t), W_0 = \Phi_2(r, x, t). \quad (1)$$

Необходимо исследовать изменения давления грунта на трубопровод, а также напряженно-деформированное состояние трубопровода и окружающего его грунта в условиях жесткого контакта или контакта с учетом перемещения трубопровода относительно грунта, в зависимости от физико-механических свойств грунта, коэффициента взаимодействия сооружения с грунтом, глубины заложения и геометрических размеров трубопровода, а также от направления действия сейсмических сил.

Исходя из того, что компонента $V_\phi=0$ и остальные компоненты не зависят от ϕ , предположим, что система “трубопровод-грунт” находится в осесимметричном напряженно-деформированном состоянии, и поставленную задачу сформулируем следующим образом.

Вывод уравнений движений и подбор начальных, граничных и контактных условий

Дифференциальные уравнения движения в напряжениях осесимметричного напряженно-деформированного состояния взаимодействующей

системы “трубопровод-грунт” в цилиндрической системе координат имеют вид:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_{rr}^1}{\partial r} + \frac{\partial \tau_{rx}^1}{\partial r} + \frac{\partial \sigma_{rr}^1}{r} - \frac{\partial \sigma_\theta^1}{r} + F_1(r, x, t) - G^1 \\ = \rho^1 \frac{\partial^2 W^1}{\partial t^2} + \rho^1 \alpha_r \frac{\partial W^1}{\partial t}, \\ \frac{\partial \sigma_{xx}^1}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{rx}^1}{\partial r} + \frac{\tau_{rx}^1}{r} + F_2(r, x, t) = \rho^1 \frac{\partial^2 U^1}{\partial t^2} + \rho^1 \alpha_x \frac{\partial U^1}{\partial t}, \\ \frac{\partial \sigma_{rr}^{11}}{\partial r} + \frac{\partial \tau_{rx}^{11}}{\partial x} + \frac{\sigma_{rr}^{11} - \sigma_\theta^{11}}{r} - G^{11} = \rho^{11} \frac{\partial^2 W^{11}}{\partial t^2}, \\ \frac{\partial \sigma_{xx}^{11}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{rx}^{11}}{\partial r} + \frac{\tau_{rx}^{11}}{r} = \rho^{11} \frac{\partial^2 U^{11}}{\partial t^2}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $F_1 = \rho^1 \frac{\partial^2 U_0}{\partial t^2}$, $F_2 = \rho^1 \frac{\partial^2 W_0}{\partial t^2}$,

Запишем уравнения (1) в перемещениях. После некоторых математических преобразований система уравнений (1) будут выглядеть следующим образом

$$\begin{aligned} \rho^1 \frac{\partial^2 W^1}{\partial t^2} + \rho^1 \alpha_r \frac{\partial W^1}{\partial t} &= L_1[\bar{U}]^1 + \Phi_1(r, x, t) - G^1, \\ \rho^1 \frac{\partial^2 U^1}{\partial t^2} + \rho^1 \alpha_x \frac{\partial U^1}{\partial t} &= L_2[\bar{U}]^1 + \Phi_2(r, x, t), \end{aligned}$$

$$\rho^{11} \frac{\partial^2 W^{11}}{\partial t^2} = L_1[\bar{U}]^{11} - G^{11}, \quad (3)$$

$$\rho^{11} \frac{\partial^2 U^{11}}{\partial t^2} = L_2[\bar{U}]^{11}, \quad (4)$$

где $L_1[\bar{U}]^1$, $L_2[\bar{U}]^1$ – имеют вид

$$L_1[\bar{U}]^i = (\lambda + 2\mu) \left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} - \frac{1}{r^2} \right) W^i + \mu^i \frac{\partial^2 W^i}{\partial x^2} + (\lambda + \mu) \frac{\partial^2 U^i}{\partial r^2},$$

$$L_2[\bar{U}]^i = (\lambda + 2\mu) \frac{\partial^2 U^i}{\partial r^2} + \mu^i \left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{\partial}{r \partial r} \right) W^i + (\lambda + \mu^i) \left(\frac{\partial^2}{\partial r \partial x} + \frac{\partial}{r \partial x} \right) W^i,$$

где λ_i , μ_i – упругие постоянные ЛП. ($i=1, 11$)

Начальные условия имеют вид:

при $t=0$

$$U^1=0, W^1=0, W^{11} = U^{11} = \frac{\partial W^{11}}{\partial t} = \frac{\partial U^{11}}{\partial t} = 0. \quad (5)$$

Граничные условия принимаем в виде при $x=0$

$$U^1=\Phi_1(r, 0, t), W^1=\Phi_2(r, 0, t),$$

$$U^{11}=U^1, W^{11}=W^1; \quad (6)$$

при $x=L$

$$U^1=W^1=0, \text{ при } t < \frac{x}{c_{li}} \quad (7)$$

Условия на границе при $x=L$ имеют некоторые особенности. Так как область грунта бесконечна, необходимо обеспечить удовлетворение условий отсутствия отраженных волн от внутренней границы сеточной области. Если область грунта рассматриваем как полупространство тогда для применения метода конечных разностей необходимо ограничить конечной областью грунта и трубопровода, а на границе конечной области задавать условие отсутствия отраженных волн от внутренней границы сеточной области которая имеет вид [4,5]

$$\begin{aligned} \frac{\partial U^i}{\partial t} &= -C_{li} \frac{\partial U^i}{\partial x}, \\ \frac{\partial W^i}{\partial t} &= -C_{2i} \frac{\partial U^i}{\partial x} \text{ при} \end{aligned}$$

$$t \geq \frac{x}{c_{li}}, (i=1, 11) \quad (8)$$

при $r=R_1$

$$\rho_B \frac{R_1}{2} \frac{\partial^2 W^{11}}{\partial t^2} = P(t) + (3\lambda^{11} + 2\mu^{11}) \alpha_i \theta + \sigma_{rr}^{11},$$

$$\rho_B \frac{R_1}{2} \frac{\partial^2 U_B}{\partial t^2} = \sigma_{rx}^{11}, \quad (9)$$

при $\gamma = H$

$$\sigma_{rr}^1 = P_i(t), \sigma_{rx}^1 = 0. \quad (10)$$

Условия жесткого контакта трубопровода с грунтом будут при $\gamma = R_2$

$$U^I = U^{II}, W^I = W^{II}, \frac{\partial U^I}{\partial x} = \frac{\partial U^{II}}{\partial x}, \tau_{rx}^I = \tau_{rx}^{II}, \quad (11)$$

$$W^I = W^{II}, \frac{\partial U^I}{\partial x} = \frac{\partial U^{II}}{\partial x}, \tau_{rx}^I = K_{rx}(U^I - U^{II}), \quad (12)$$

где K_{rx} - коэффициент взаимодействия трубопровода с грунтом;

W^I, W^{II} - соответственно, смещения грунта и трубопровода в радиальном направлении;

U^I, U^{II} - соответственно, смещения грунта и трубопровода в осевом направлении;

G^I, G^{II} - соответственно, удельный вес грунта и сооружения;

ρ^I, ρ^{II} - соответственно, плотность грунта и сооружения;

ρ_w - плотность воды;

$P(t)$ - закон изменения внутреннего давления воды;

$P_1(t)$ - закон изменения подвижной нагрузки на поверхности грунта;

α_i - коэффициент линейного температурного расширения для

материала сооружения;

θ - изменение температуры воды;

α_r, α_x - коэффициенты затухания энергии колебания среды.

3. Заключение

Таким образом, мы сформулировали общую задачу о поведении взаимодействующей системы “трубопровод-грунт” при прохождении сейсмических волн, выраженными формулами (3)-(12). Решив задачу (3)-(12) можем определить давление грунта на трубопровод, а также исследовать напряженно-деформированное состояние взаимодействующей системы “грунт-трубопровод”.

Такой подход к решению задачи избавляет от применения сложного математического аппарата для получения аналитических решений. Задачу в такой постановке можно решить приближенно с применением какого-либо численного метода.

Использованная литература / References

[1] СН 550-82 Инструкция по проектированию технологических трубопроводов из пластмассовых труб

[2] Пособие по проектированию технологических трубопроводов из пластмассовых труб/НПО «Пластику» - М.; Стройиздат, 1984. – 144с.

[3] Рашидов Т.Р. Динамическая теория сложных систем подземных сооружений. Ташкент. Фан, 1973. 179 с.

[4] Сеймов В.М., Островерх Б.М., Ермоленко А.И. Динамика и сейсмостойкость гидротехнических сооружений. Киев. Наукова думка. 1983.

[5] Рахманов У. Алгоритм численного расчета осесимметричного напряженно-деформированного состояния подземных трубопроводов присейсмических воздействиях.

//Проблемы механики. 1999. № 2-3. С.29-32.

[6] Nazarov, B. R., Mirzaeva, Z. M., & Yuldashev, A. O. (2022). Determining the radius of round structures by a photographic method in determining its geometric parameters. Asian Journal of Multidimensional Research, 11(5), 236-239.

[7] Назаров, Б. Р., & Мирзаева, З. М. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО КОМПЛЕКСА. O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI, 202.

[8] A.A. Abdusattarov. Tonnel va ko‘priklarning buzilish xavfini kamaytirish va deformatsiya holatida mustahkamligini oshirishni tadqiq qilish. // Inson kapitali va mehnatni muhofaza qilish. 2024. С.193-200.

Mualliflar to‘g‘risida ma‘lumot / Information about authors

Рахманов Усаркул Транспорт Университети, «Кўприklar ва тоннеллар» кафедраси т.ф.н., в.б. проф., <https://orcid.org/0000-0001-9702-0611>, <tel:+99890358079>, [E-mail: usarkul1953@gmail.com](mailto:usarkul1953@gmail.com)

Мирзаева Замира Махаммадзона Тошкент Давлат Транспорт Университети, «Кўприklar ва тоннеллар» кафедраси катта ўқитувчиси, <https://orcid.org/0000-0001-6961-595X>, <tel:+998903578301>, [E-mail: zmirzaeva83@mail.ru](mailto:zmirzaeva83@mail.ru)

Исмаилова Гулчеҳра Бакиджановна Тошкент Давлат Транспорт Университети, «Кўприklar ва тоннеллар» кафедраси катта ўқитувчиси, <https://orcid.org/0000-0002-4454-5147>, <tel:+998998299539>, [E-mail: 8299539@inbox.ru](mailto:8299539@inbox.ru)

Абдусатторов Асқархўжа Абдумавлон ўғли Тошкент Давлат Транспорт Университети, «Кўприklar ва тоннеллар» кафедраси докторанти, <https://orcid.org/0000-0002-4073-8769>, <tel:+998909056190>, [E-mail: asqarxoja6190@gmail.com](mailto:asqarxoja6190@gmail.com)

Prospects for the use of ash and rock waste as a secondary resource in the energy industry

Z.M. Sattorov¹, N.A. Madraymov¹

¹Tashkent University of architecture and construction, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This article analyzes the environmental and economic problems of fly ash and aggregates, which are waste coal fuel at thermal power plants (TPP), as well as the possibilities of their effective use in the production of building materials. The article analyzes the use of fly ash in concrete and cement, methods for improving its physical, chemical and mechanical properties, based on scientific research and foreign patents. In order to save resources in construction and protect the environment, special attention is paid to the technologies for processing TPP waste and their efficiency. At the same time, based on the applied methodology, geological surveys and experimental tests, methods for preparing concrete and blocks based on fly ash are recommended.

Keywords: Environmental protection, concrete, thermal power plants, mixtures, building materials, strength, technology, rock, fly ash, cement, waste.

Energetika sanoatidagi kul va toshqol chiqindilarini ikkilamchi resurs sifatida foydalanish istiqbollari

Sattorov Z.M.¹, Madraymov N.A.¹

¹Tashkent arxitektura-qurilish universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Ushbu maqolada issiqlik elektr stansiyalarida (IES) ko'mir yoqilgisining chiqindilari uchuvchi kul va toshqollarning ekologik va iqtisodiy muammolari, shuningdek ulardan qurilish materiallari ishlab chiqarishda samarali foydalanish imkoniyatlari tahlil qilingan. Maqolada ilmiy tadqiqotlar va xorijiy patentlar asosida uchuvchi kulning beton va sement tarkibidagi qo'llanilishi, uning fizik-kimyoviy hamda mexanik xossalari yaxshilash usullari tahlil qilingan. Qurilishda resurslarni tejash va atrof-muhitni muhofaza qilish maqsadida IES chiqindilarini qayta ishlash texnologiyalari va ularning samaradorligiga alohida e'tibor qaratilgan. Shu bilan birga, qo'llanilayotgan metodologiya, geologik izlanishlar va tajriba-sinovlar natijalari asosida uchuvchi kul asosidagi beton va bloklar tayyorlash usullari tavsiya qilingan.

Kalit so'zlar: Atrof-muhitni muhofaza qilish, beton, issiqlik elektr stansiyalari, qorishmalar, qurilish materiallari, mustahkamlik, texnologiya, toshqol, uchuvchi kul, sement, chiqindilar

1. Kirish

Issiqlik elektr stansiyalarida ko'mirdan foydalanish kul va toshqol chiqindilarini utilizatsiya qilishda jiddiy muammolarni keltirib chiqaradi. Statistik ma'lumotlarga ko'ra, so'nggi 30 yil ichida issiqlik elektr stansiyalarda qattiq yoqilg'idan foydalanish dunyoda ikki baravar ko'paygan. Energetika sohasida ko'mirdan foydalanish 95% uchuvchi kul va 5% toshqol ishlab chiqarish bilan bog'liq. Har yili Rossiyada 25 million tonnadan ortiq kul va toshqol chiqindilari, Xitoyda taxminan 350 million tonna, AQSh va Hindistonda 120 million tonnadan ortiq chiqindilar hosil bo'ladi. Ushbu chiqindilarni saqlash uchun erlarning katta maydonlaridan foydalanish talab etiladi. Ushbu tuzilmalar xavfli ob'ektlar bo'lib, tabiiy atrof-muhitga salbiy ta'sir qiladi (kul changining xavoga ko'tarilishi). Issiqlik elektr stansiyalarning kul va toshqol chiqindilari jiddiy ekologik va iqtisodiy muammoga aylanadi [1, 2].

Adabiyotlar tahlili. Hozirgi vaqtda qurilish materiallari sohasidagi dolzarb yo'nalishlardan biri – bu yuqori sifatli, iqtisodiy jihatdan samarali, mustahkam hamda energiya tejamkor mahalliy xom ashyolar va ikkilamchi resurslar

asosida yangi materiallarni ishlab chiqish hisoblanadi. Bunday yondashuv nafaqat qurilish xarajatlarini kamaytirish, balki tabiiy resurslardan oqilona foydalanish va atrof-muhitni muhofaza qilish kabi masalalarda ham muhim ahamiyat kasb etmoqda. Shu bilan birga, qurilishda resurs tejamkor va ekologik xavfsizlik talablari tobora ortib bormoqda. Issiqlik elektr stansiyalarining kul va toshqollarini ikkilamchi qayta ishlash masalalari K.Mexta Povindar, Norman Pitt, K. Mexta, Vens X. Dodson, Lourens R. Roberts va boshqa olimlar issiqlik elektr stansiyasi uchuvchi kuli asosida qurilish materiallar olish xossalari hamda tuzilmalari hosil bo'lishini nazariy va amaliy asosda boshqarishni ishlab chiqishda tadqiqot ishlarini olib borishgan. Shuningdek, sanoat chiqindilari asosida qurilish materiallari ishlab chiqarish bo'yicha patent izlanishlarni olib borish jarayonida chiqindi qo'shimchalarning qurilish materiallar xossalari ko'rsatadigan ta'siri o'rganildi.

1. Qurilish qorishmasi yoki beton uchun bog'lovchi, beton va zichlangan beton olish usuli (Вязущее для бетона или строительного раствора, способ получения плотного бетона и бетон). Patent **RU2098372C1** Rossiya Federatsiyasi Federal davlat budjeti oliy ta'lim muassasasi. Arizachi va patent egasi. Ariza Dze Kaliforniya davlat universitetining Dze Regents tomonidan taqdim etilgan №

92016624/03, ariza 24.12.1992; nashr etilgan 10.12.1997. Muallif: Povinder K. Mehta. Ushbu ixtiro issiqlik elektr stansiyalarining chiqindisi bo'lgan uchuvchi kuldan foydalanib, yangi turdagi qurilish materialini tayyorlash usuliga taalluqli. Ixtiro qurilishda qo'llaniladigan beton qorishmalari tarkibini takomillashtirish va uning fizik-kimyoviy hamda mexanik xossalari yaxshilashga qaratilgan. Ushbu usulda foydalaniladigan uchuvchi kul muayyan donadorliklarda tartiblanadi va faol tashkil etuvchilar bilan boyitiladi. Bu texnologiya betonning mustahkamligi, suv o'tkazmasligi va uzoq muddatli barqarorligini oshiradi. Shuningdek, mazkur usul ekologik jihatdan xavfsiz bo'lib, sanoat chiqindilarini qayta ishlash imkonini yaratadi [3].

2. Kremniyli kulni tayyorlash jarayoni (Process for the preparation of siliceous ashes). Patent US3959007A Structural Metals Inc Arizachi va patent egasi. Structural Metals Inc. №407.907, ariza 19.10.1973; nashr etilgan 25.05.1976. Muallif: Norman Pitt. Ushbu ixtiro organik materiallarni, xususan, qishloq xo'jaligi chiqindilarini yoqish orqali foydali energiya olish usuli va uskunasiga taalluqli. Guruch qobig'i kabi materiallardan kremniyli kompozitsiyalarni tayyorlashda va kremniyning yuqori reaktiv amorf shakli ishlab chiqariladigan sharoitlarda o'tkazilishi mumkin. Bu silikat gidravlik sementlarning tarkibiy qismi sifatida foydali hisoblanadi. Bu modda gidravlik sement tarkibida foydali tashkil etuvchi sifatida ishlatilishi mumkin [4].

3. Kremniyli kul va undan tayyorlangan gidravlik sementlar (Siliceous ashes and hydraulic cements prepared therefrom). Patent US4105459A San-Diegodagi Kaliforniya universiteti (University of California San Diego UCSDUCSD). Arizachi va patent egasi San-Diego Kaliforniya universiteti (University of California San Diego UCSDUCSD) tomonidan topshirilgan. № 4,105,459 ariza 08.08.1978; nashr etilgan 08.08.1995. Muallif: Povinder K. Mehta. Ushbu ixtiro kremniyga boy kompozitsiyalar tabiiy o'simlik materiallaridan (xususan, sholi po'chog'i va sholi somonidan) tayyorlanadi. Ushbu materiallar tarkibida qum tuproq nisbatan yuqori konsentratsiyada bo'ladi. Texnologiya o'simlik materialini nazorat qilinadigan sharoitda yoqishni o'z ichiga oladi, bunda materialning ildiz tuzilishi saqlanadi va qum tuproqning kristallik shakliga aylanishi oldi olinadi. Shu orqali mahsulot tarkibidagi qum tuproq (taxminan 49% dan 98% gacha) amorf holatda saqlanadi. Yangi olingan qum tuproq saqlovchi kompozitsiyalar yuqori mustahkamlik va kislotalarga chidamlilikka ega bo'lgan gidravlik sement kompozitsiyalarining muhim tashkil etuvchisi sifatida, qorishmalar va beton tayyorlashda qo'llaniladi [5].

4. Portlandsement, uchuvchan kul va to'ldirgichli betonlar (Portland cement-fly ash-aggregate concretes). Patent US4210457A WR Grace and Co Conn. Arizachi va patent egasi WR Grace and Co Conn. № 950,918 ariza 12.10.1978; nashr etilgan 01.07.1980. Mualliflar: Vance Dodson, Lawrence Roberts. Ushbu ixtiroda portlandsement, uchuvchi kul va tosh materiallarini o'z ichiga olgan beton turlari tasvirlangan bo'lib, ular yuqori siqilish mustahkamligiga erishish xususiyatiga ega. Bunday beton tarkibida portlandsement nisbatan kam miqdorda, uchuvchi kul esa yuqori ulushda qo'llaniladi. Ixtiro qilingan betonlar yuqori zichlikka ega massalar sifatida ishlab chiqilishi mumkin bo'lib, binolar, ko'priklar, to'g'onlar kabi konstruksiyaviy inshootlarda qo'llash uchun mos keladi. Shuningdek, nisbatan past zichlikka ega, yengil va issiqlikni saqlovchi xossalarga ega beton turlari ham tayyorlash

mumkin, bu ularni tom konstruksiyalari va turli asoslar uchun muhofazaviy qatlam sifatida ishlatishda foydali bo'ladi [6].

5. Tarkibida kremniyli kul bo'lgan yuqori mustahkam sement mahsulotlari (Highly durable cement products). Patent US 005.346548A Kaliforniya universiteti San-Diego UCSD. Arizachi va patent egasi Kaliforniya universiteti San-Diego UCSD. №5,346,548 ariza 04.01.1993; nashr etilgan 13.09.1994. Muallif: Povinder K. Mehta. Ushbu ixtiro gidravlik sement va kremniyli kulning yangi suvsiz aralashmalariga tegishli. Ushbu ixtiro usullari qotib qolgan beton mahsulotlarining suv o'tkazuvchanligini pasaytirish va beton qorishmalarining erta mustahkamligini tezlashtirish uchun qo'llanilgan. Ma'lumki, kulning ma'lum bir turi guruch qobig'i va guruch somoni kabi ma'lum kremniyli ekin qoldiqlarini nazorat ostida yoqishdan olinadi [7].

2. Tadqiqot metodologiyasi.

Qurilish materiallarini ishlab chiqarishdan avval, geologik izlanishlar olib borilishi shart bo'lib, bu jarayonda xom ashyo zaxiralari va ularning tarkibi aniqlanadi. Geologik tadqiqotlar issiqlik elektr stansiyalari (IES) chiqindilari – kul va toshqollarning miqdori, sifati, paydo bo'lish shart-sharoitlari, joylashuv hududi hamda kelgusi tadqiqotlarni amalga oshirish imkoniyatlarini baholashga yordam beradi. IESlarda qattiq yoqilg'ining yonishi natijasida mineral qoldiqlar – kul va toshqol hosil bo'ladi. O'rtacha quvvatga ega IES yiliga taxminan 1 million tonna toshqol va kul chiqarishi mumkin, yuqori kulli yoqilg'i yoqadigan stansiyalar esa 5 million tonnagacha chiqindi hosil qiladi. Bu chiqindilar asosan kremniy dioksidi (SiO_2), aluminiy oksidi (Al_2O_3), temir oksidi (Fe_2O_3), kalsiy oksidi (CaO), magniy oksidi (MgO) va boshqa moddalardan iborat bo'lib, yonilmagan yoqilg'i qoldiqlarini ham o'z ichiga oladi. Hozirgi paytda ishlab chiqarilayotgan kul va toshqolning atigi 3-4% qismidan foydalanilmoqda. Changsimon va bo'lakli ko'mirlarning yonishidan hosil bo'ladigan toshqollar shakli va zichligiga ko'ra farq qiladi. Masalan, changsimon ko'mirdan hosil bo'lgan toshqol odatda g'ovakli va shishasimon tuzilmaga ega bo'lib, zichligi 1,6 g/sm³ dan yuqori bo'lishi mumkin. Aralashtrilgan yoqilg'idan hosil bo'lgan g'ovak toshqollar esa zichligi 0,5-1,5 g/sm³ oralig'ida bo'ladi. IES toshqollaridan foydalanib, mustahkamligi 5-50 MPa bo'lgan betonlar tayyorlash mumkin. O'zbekiston Respublikasining 690-96 "Betonbop issiqlik elektrostansiya kul-toshqol aralashmasi" davlat standartiga muvofiq, bunday betonlarda to'liq yonmagan qo'shimchalar miqdori 3-7% dan oshmasligi kerak. Shuningdek, ular sovuqqa chidamliligi va kimyoviy ta'sirga bardoshliligi bo'yicha ham sinovdan o'tkaziladi. Tarkibidagi oltingugurt moddalari, erkin kalsiy oksidi va boshqa zararli tashkil etuvchilar cheklangan darajada bo'lishi lozim. Ilmiy tadqiqotlardan ma'lumki, kulni beton ishlab chiqarishda mayda to'ldiruvchi sifatida yoki maxsus to'ldiruvchi xom ashyosi sifatida qo'llash mumkin. U 0,16 mm gacha bo'lgan mayda zarralardan iborat bo'lib, 0,16 mm o'lchamdagi elakda qoladigan qismi 20-40% tashkil etadi. Quruq kul g'ovak tuzilishga ega bo'lib, uning zichligi yoqilg'i turi va yondiradigan sharoitga bog'liq holda 600-1300 kg/m³ atrofida bo'ladi. O'zbekiston Respublikasining 690-96 "Betonbop issiqlik elektrostansiya kul-toshqol aralashmasi" davlat standartiga ko'ra, kulni tabiiy yoki maydalangan qum hamda granullangan toshqol bilan aralashtirib betonda foydalanish orqali sement sarfini kamaytirish va betonning sifatini oshirish mumkin. Hozirgi



kunda kuldan turli xildagi zichliklar kul betonlar, og'ir va yengil konstruksiyaviy betonlar, shuningdek issiqlikdan himoyalovchi yengil konstruksiyalar tayyorlashda mayda to'ldiruvchi sifatida foydalanish amaliyoti yo'lga qo'yilgan. Kuldan samarali foydalanishdagi asosiy to'siqlardan biri, bu uning IES o'choqlaridan suv ta'sirida chiqarilishi hisoblanadi. Quruq holdagi kulning mexanik va fizik xossalari ancha yaxshi bo'ladi. Shu sababli, kulni quruq holda yig'ish va saqlash texnologiyalarini takomillashtirish zarur. Ko'mirning sifat darajasiga qarab, hosil bo'ladigan kul tarkibidagi yonmagan yoqilg'i miqdori ham o'zgarib turadi. Sifati past yoqilg'i yoqilganda bu ko'rsatkich 5% gacha, toshko'mir yoki antratsit yoqilganda esa 12% gacha bo'lishi standartda ruxsat etilgan. Ammo amaliyotda ba'zan bu miqdor 20-40% gacha yetishi mumkin. Issiqlik elektr stansiyasi kulini qo'shish asosida Povindar K. Mexta patentidagi uslubini qo'rib chiqamiz.

1. *Xom ashyoni tanlash va tayyorlash.* Tadqiqotda uchuvchi kul, pastki kul, suv, turli qo'shimchalar va agar kerak bo'lsa, xavfli moddalardan iborat xom ashyolar tanlangan. Bu tashkil etuvchilar qurilish materiallari sifatida ishlatish uchun moslashtirilgan. 2. *Aralashma tayyorlash.* Tanlangan tashkil etuvchilar belgilangan ulushlarda (proporsiyalarda) aralashtirilgan. Aralashmadagi har bir moddaning ulushi va xususiyatlari aniqlangan. 3. *Zichlash va shakl berish.* Tayyorlangan aralashma yuqori bosim ostida zichlangan va qurilish bloklari shaklida tayyorlangan. Bu bosqichda materialning mexanik mustahkamligi va shakli ta'minlangan. 4. *Quritish va mustahkamlash.* Shakl berilgan bloklar belgilangan harorat va vaqt davomida quritilgan. Bu jarayonda bloklarning mustahkamligi va barqarorligi oshirilgan. 5. *Sifat nazorati va sinovlar.* Tayyor mahsulotlar turli laboratoriya sharoitlaridagi sinovlaridan o'tkazilgan. Bu sinovlar orqali bloklarning fizik-kimyoviy xossalari, mustahkamligi va xavfli moddalarni inkapsulyatsiya (ma'lumot uchun: *Qurilish materiallari kontekstida inkapsulyatsiya ma'lum bir materialni himoya qobig'i yoki konteyneriga o'rashni anglatadi. Bu xavfli yoki beqaror moddalarni izolyatsiya qilish, tashqi muhitdan himoya qilish yoki muayyan funksiyani ta'minlash uchun amalga oshirilishi mumkin*) qilish xususiyati baholangan [7].

3. Tajriba-sinov tadqiqot usullari

1. *Tashkil etuvchilarni tanlash va tahlil qilish.* Uskunada ishlatilgan asosiy moddalar: uchuvchi kul (fly ash), qum, portlandsement, loy, va suv. Xom ashyoning kimyoviy tarkibi spektral tahlil va gravimetrik usullar bilan aniqlangan. 2. *Qorishmalarni tayyorlash (Formula preparation).* Bir nechta turli proporsiyalardagi aralashmalar tayyorlangan. Turli miqdorda uchuvchi kul (masalan, 10%, 20%, 30%, 40%) bilan sement va qum aralashmalari tayyorlandi. Aralashmalar qorishtirgich yordamida bir xil massa ko'rinishida shakllantirildi. 3. *Zichlash va blok shaklida tayyorlash.* Qorishmalar gidravlik press yordamida siqiladi. Qurilish bloklari belgilangan o'lchamlarda shakllantiriladi. 4. *Quritish va mustahkamlash.* Har bir namuna turli sharoitlarda quritiladi: tabiiy sharoitda (havoda) 60-80°C haroratdagi o'choqda. Quritilgan bloklar 7 kun, 14 kun va 28 kunda tekshirish uchun saqlanadi. 5. *Mexanik sinovlar.* Siqilishdagi mustahkamligi ASTM C109 standarti bo'yicha o'lchanadi. Cho'zilish va yengilishdagi mustahkamlik bloklarga qo'llaniladigan kuch ta'sirlari tahlil qilinadi. Ta'sirga bardoshlik va zarba chidamliligi maxsus moslamada sinovdan o'tkaziladi. 6. *Suv shimuvchanlik va*

himoya xususiyatlari. Bloklarning suv shimuvchanlik xossasi foiz (%) hisobida baholanadi. Xlorid o'tkazuvchanlik sinovi (AASHTO T-277 bo'yicha) ifloslanishni cheklash xususiyatini baholash uchun o'tkaziladi. 7. *Ekologik xavfsizlik tahlili.* Inkapsulyatsiya samarasini baholash uchun bloklar tarkibidagi og'ir metallar (Pb, Cd, Hg) chiqishi TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) orqali baholanadi.

4. Xulosa

Ushbu tadqiqotda issiqlik elektr stansiyalaridan hosil bo'lgan uchuvchi kul va boshqa chiqindilarni qurilish materiallari tarkibida samarali qo'llash imkoniyatlari o'rganildi. Jahonda, xususan, Xitoy, Rossiya, AQSh va Hindiston kabi mamlakatlarda yil sayin millionlab tonna kul va toshqol chiqindilari yig'ilayotgani, ularni saqlash, utilitatsiya qilish katta ekologik va iqtisodiy muammolarga sabab bo'layotgani ma'lum bo'ldi. Shu nuqtai nazardan, bu chiqindilarni ikkilamchi resurs sifatida qayta ishlab, yuqori sifatli, mustahkam va ekologik xavfsiz qurilish materiallari tayyorlash muhim ahamiyat kasb etmoqda. Patent tahlillari asosida, kul tarkibidagi qum tuproqning yuqori miqdori, uning amorf shaklida bo'lishi va yuza sirtining kattaligi beton va qorishmalarning mustahkamligi, suv o'tkazmasligi hamda kislotalarga chidamliligini oshirishda muhim omil ekani aniqlandi. Xususan, Povinder K. Mexta va boshqa olimlarning ishlanmalari shuni ko'rsatadiki, kulning fraksiyalik tarkibini optimallashtirish va portlandsement bilan muayyan nisbatlarda aralashtirish yuqori mexanik xususiyatlarga ega beton olish imkonini beradi. Tajriba-sinov ishlarida turli miqdorda uchuvchi kul qo'shilgan aralashmalar tayyorlanib, ular mexanik mustahkamlik, suv o'tkazuvchanlik, xlorid o'tkazish xususiyati va ekologik xavfsizlik jihatidan baholandi. Natijalarga ko'ra, kul ulushi 20-30% miqdorda bo'lganda, eng yaxshi texnik-ekologik natijalar qayd etildi. Siqilish mustahkamligi yuqori, suv shimuvchanlik darajasi past va AASHTO T-277 standarti bo'yicha xlorid o'tkazuvchanligi kam miqdorda ekani aniqlandi. Shu bilan birga, ekologik xavfsizlik tahlili ham o'tkazilib, bloklardagi og'ir metallar chiqishi TCLP sinovi orqali cheklangan darajada ekani tasdiqlandi. Bu esa sanoat chiqindilarini qurilishda qo'llash nafaqat iqtisodiy, balki ekologik jihatdan ham maqbul yechim ekanini ko'rsatadi. Ushbu tadqiqotdan kelib chiqadigan asosiy natija – issiqlik elektr stansiyalarining uchuvchi kullari asosida yuqori sifatli, arzon va ekologik xavfsiz qurilish materiallarini ishlab chiqarish imkoniyati mavjud. Bu yondashuv orqali tabiiy resurslarni tejash, chiqindilarni kamaytirish va atrof-muhitni muhofaza qilish kabi muhim vazifalar amalga oshirilishi mumkin.

Foydalanilgan adabiyotlar / References

- [1] Turobjonov S.M., Niyazova M.M., Tursunov T.T., Pulatov X.L. Sanoat chiqindilarini rekuperatsiya qilish texnologiyasi: Darslik / O'zbekiston faylasuflari milliy jamiyati nashriyoti 2011 y. – 184 b
- [2] Sattorov Z.M. Qurilish sohasidagi harakatlar strategiyasi. // O'zbekiston Bunyodkori ijtimoiy-iqtisodiy gazeta. №26 (273). 02.04.2019 y.
- [3] Вязущее для бетона или строительного раствора, способ получения плотного бетона и бетона: патент RU2098372C1. Dze Ridgent of Dze University of

California (US). Авт. K. Mehta Povindar.; заявитель и патентообладатель Dze Ridgentc of Dze University of California (US) - № 92016624A; заявл. 24.12.1992; опубл. 10.12.1997, - 17 с: ил. www.freepatent.ru

[4] Process for the preparation of siliceous ashes; patent US3959007A. Structural Metals Inc. Auth. Norman Pitt; Priority to patention Structural Metals Inc (US) - № US05/407,907; Application filed 1973-10-19; Application granted 1976-05-25, - pp 9. www.freepatent.ru

[5] Siliceous ashes and hydraulic cements prepared therefrom: patent US4105459A. University of California San Diego UCSD.. Auth. K. Mehta Povindar; Priority to patention University of California San Diego UCSD - № 4105459A; Application filed 1975-12-15; Application granted 1978-08-08, -pp 7. www.freepatent.ru

[6] Portland cement-fly ash-aggregate concretes: patent US4210457A. WR Grace and Co Conn. Auths. Vance H. Dodson Lawrence R. Roberts; Priority to patention WR Grace and Co Conn - № US05/950,918; Application filed 1978-10-12; Application granted 1980-07-01, - pp 8. www.freepatent.ru

[7] Highly durable cement products containing siliceous ashes: patent US 005.346548A. The Regents of the University of California, Oakland, Calif. Auths. Povindar K. Mehta, El Cerrito. Priority to patention The Regents of the University of California, Oakland, Calif-№ 5,346,548; Application filed 25-08-1990; Application granted 21-07-1994, - pp 15. www.freepatent.ru

Mualliflar to'g'risida ma'lumot / Information about authors

Z.M. Sattorov Tashkent arxitektura-qurilish universiteti. Toshkent, O'zbekiston
E-mail: mr.s.zafar@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9824-1491>

N.A. Madraymov Tashkent arxitektura-qurilish universiteti. Toshkent, O'zbekiston



Improving the properties of high-strength fibrobetones with local mineral filler and complex chemical additive

Z.M. Sattorov¹, I.M. Ganiev¹

¹Tashkent University of architecture and construction, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This scientific article presents information on improving the physical and mechanical properties of high-strength fiber concrete with complex chemical additives, which are increasingly used in the construction materials industry today. In conditions where the demand for high-strength concrete with complex chemical additives increases every year, the production of highly effective composite materials based on local and industrial waste can become one of the solutions to this pressing problem.

Keywords: Reinforcement, basalt fiber, concrete, production, construction, building materials, strength, compression, fiber concrete, physical and mechanical properties, temperature, cement, bending

Mahalliy mineral to'ldiruvchi va kompleks kimyoviy qo'shimchali yuqori mustahkamlikdagi fibrobetaonlarning xossalari takomillashtirish

Sattorov Z.M.¹, Ganiev I.M.¹

¹Tashkent arxitektura-qurilish universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Ushbu ilmiy maqolada bugungi kunda qurilish materiallari sanoatida tobora ko'proq foydalanilayotgan kimyoviy qo'shimchalar bilan yuqori mustahkamlikdagi fibrobetaonning fizik-mexanik xossalari yaxshilash bo'yicha ma'lumotlar keltirilgan. Kompleks kimyoviy qo'shimchalarga ega bo'lgan yuqori mustahkam betonga talab yil sayin ortib borayotgan sharoitda mahalliy va sanoat chiqindilari asosida yuqori samarali kompozitsion materiallar ishlab chiqarish ushbu dolzarb muammoning yechimlaridan biriga aylanishi mumkin.

Kalit so'zlar: Armaturalash, bazalt tolasi, beton, ishlab chiqarish, konstruksiya, qurilish materiallari, mustahkamlik, siqilish, fibrobetaon, fizik-mexanik xossalari, harorat, sement, egilish

1. Kirish

Hozirgi kunda qurilish inshootlarining asosi sifatida tolalardan foydalanishga bo'lgan qiziqish sezilarli darajada oshib bormoqda. Bunday qiziqish zamonaviy qurilishning yuqori talablarini qo'yadigan mutaxassislar beton konstruksiyalarining fizik ko'rsatkichlarini sezilarli darajada yaxshilashga intilishidan kelib chiqadi. Beton materiallarning yetarlicha chidamliligini oshirish uchun tolalarni armatura sifatida ishlatish va qurilishda foydalanishda keng imkoniyatlarga ega bo'lgan yangi turdagi betonlarni yaratish mumkin. An'anaviy mustahkam konstruksiyalarda bo'lgani kabi, tolalarni mustahkamlash beton matritsasida qo'llaniladigan yukni tolalarga ta'sir etuvchi kesish kuchlari orqali uzatadi va shu bilan tolalar kuchlanishlarning asosiy qismini egallaydi. Fibrobetaonda tolalar mikroarmatura vazifasini bajarib beradi, bu esa beton yorilishini kamaytirib bera oladi. Bazalt magmatik tog' jinsi bo'lib, qoramtir rangda bo'ladi. Tarkibi asosan plagioklazdan ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ – $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) iborat bo'lib, piroksenlar ($\text{X}_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$; bu yerda X – Mg, Fe^{2+} , Mn^{2+}), olivin ($(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$), magnetit (Fe_3O_4), titanit (CaTiSiO_5), apatit ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})_2$) va hokazo ham bo'ladi. Kimyoviy tarkibi uning chuqurlikdagi o'xshashi bo'lgan gabbroga yaqin. Vulqon shishasi donador kristallar oraliqlarini to'ldirib turadi. To'la kristallangan bazaltlar dolerit deyiladi. Bazaltning okean tubida paydo bo'lgan, temir va magniyga boy turi okeanit, tektonik yoriqlardan quruqlikka oqib chiqib qotib qolgan turi esa plato bazalt deyiladi. Okean tubi va quruqlikda juda katta maydonni egallagan. Hozirgi

vulqonlardan ham bazaltli lavalalar oqib chiqadi. Tarkibida qaysi mineral borligiga qarab analimli bazalt, leysitli bazalt, nefelinli bazalt, magnetitli bazalt, gayuinli bazalt, apatitli bazalt va hokazo deb ataladi. Bazalt kislotaga chidamli kimyoviy asboblari, quvurlar, elektroizolyatorlar tayyorlashda, toshdan quyma buyumlar ishlab chiqarishda hamda qurilishda qoplama bezak materiallari sifatida ishlatiladi. Yaxshi silliqilinishi tufayli juda qadimdan haykaltaroshlikda Misr, Assiriya, Rim, Vizantiya, Armaniston va boshqa joylarda qo'llanilib kelingan. Fibrobetaon – mustahkam sement beton turi bo'lib, asosan yaxlit qurilish uchun ishlatiladi, betonga tola qo'shish orqali olinadi.





1-rasm. Fibrobeton namunasi va bazalt tolasi tasviri.

Barcha tekisliklarda betonni bir xilda mustahkamlovchi, betonning sinfini, mustahkamligini, zarba qarshiligini oshiradigan va siqilish yoriqlari shakllanishini kamaytiradigan mikro armatura hisoblanadi (1-rasm).

Fibrobeton mayda tolasimon ashyolar qirgimlari (qipidlari) beton tarkibiga mikro armatura sifatida kiritiladi. Bunday tolalarga “fibr” deyiladi. Tolalar metall simlaridan (diametri 0,1-0,5 mm, uzunligi 10-50 mm va yuzasi g’adirbudirlangan) yoki metallmas ashyolardan olinadigan (bazalt, shisha, kapron, asbest va sh.k.) turlarga bo’linadi. Bunday betonlarning cho’zilishga va egilishga, shuningdek, yoriqbardoshlikka mustahkamligi yuqori hisoblanadi va asosan yupqa qobiqli konstruksiyalarni tayyorlashda keng qo’llaniladi. Betonni armaturalash uchun turli xildagi metalli va metallsiz tolasimon materiallar ishlatiladi.

Adabiyotlar tahlili. Qurilish materialshunosligining hozirgi kundagi dolzarb masalalarining biri yuqori sifatli, tannarxi arzon, mustahkam, energiya samarador mahalliy xom ashyolardan samarali foydalangan holda sifatli qurilish materiallari ishlab chiqarish hisoblanadi. Fibrobeton olish bo’yicha Ch. Devi, Ds. Vijayan, Ramesh Nagalingam, S.Arvidan, V.I.Golovanov, N.S.Novikov, V.V.Pavlov, S.P.Antonov, N.A.Stashevskaya, G.E.Okolnikova, D.M.Asikov ilmiy-tadqiqot ishlarini olib borishgan. Shuningdek, fibrobetonning cuv shimuvchanligi bo’yicha ilmiy izlanishlarni olib borish jarayonida shisha tolalari betonning cuv shimuvchanligiga ko’rsatadigan ta’siri bo’yicha olingan quyidagi xorijiy va mahalliy adabiyotlar tahlil qilindi.

1. Shirinzade I.N., Ahmedov N.M. “Fibrobeton samaradorligini oshirish yo’llari (Ways of improving the efficiency of fiber concrete)” bo’yicha tadqiqot olib borishgan. Ushbu tadqiqotda transport inshootlarini qurish, rekonstruksiya qilish va ta’mirlashda samaradorlikni ta’minlash yuqori deformatsion xususiyatlarga ega bo’lgan fibrobetonni qo’llash orqali erishish mumkinligi isbotlangan. Yuqori deformatsion xususiyatlarga ega bo’lgan fibrobeton tarkibini optimallashtirish uchun kompleks qo’shimchalardan foydalanish imkoniyatlari ko’rib chiqilgan. Kimyoviy va ultradispers moddalardan foydalanish fibrobeton tarkibidagi qo’shimchalar siqilish va egilishdagi mustahkamlikni sezilarli darajada oshiradi. Bu bilan bog’liq po’lat fibroni qo’llash betonni butun hajm bo’ylab bir tekisda armaturalash imkonini beradi, beton massivida kuchlanishlarning taqsimlanishiga ijobiy ta’sir ko’rsatadi va beton massivida kuchlanishlarning kamayishiga olib keladi [1].

2. Golovanov V.I., Novikov N.S., Pavlov V.V., Antonov S.P. “Yuqori harorat sharoitlarda tunnel inshootlari uchun fibrobetonning mustahkamlik tavsiflari (Прочностные характеристики фибробетона для тоннельных сооружений в условиях высоких температур)” bo’yicha tadqiqot ishlarini olib borishgan. Ushbu maqolada 20-800°C

harorat oralig’i ta’sirida polipropilen tolali qo’shimchalar betonning mustahkamlik xossalarini o’rganish natijalari keltirilgan, o’rganilayotgan fibrobeton qorishmalarining mustahkamlik xossalari taqqoslanadi. Tadqiqot davomida polipropilen tolasidan foydalanganda tolali betonning mustahkamlik xossalari kamayishi aniqlanadi, oddiy haroratda ham va yuqori haroratda ham tolali qo’shimchalarsiz betonga nisbatan o’rtacha 16% mustahkamligi ortgan [2].

3. Stashevskaya N.A., Okolnikova G.E., Asikov D.M. “Yuqori mustahkamlikdagi fibrobetonni qo’llash bo’yicha tadqiqotlarni ko’rib chiqish va tahlil qilish, ko’p qavatli binolar uchun tolali fibrobeton (Review and analysis of investigations of high-strength fibrobeton applications for altitude construction)” bo’yicha tadqiqot olib borishgan. Ushbu tadqiqotda fibrobetonning cho’zilish va siqilishdagi mustahkamlik, zarbga chidamlilik, sovuqqa chidamlilik va suv o’tkazmasligi, ishqalanishga va kavitatsiyaga qarshiligi o’rganilgan. Bu materialni qurilish konstruksiyalarida va ularni ta’mirlashda faol ishlatish imkoniyati, konstruksiyalarda faqat fibrobetonidan foydalangan holda ishlab chiqarilishi mumkinligi, shuningdek, fibro va sterjenli armatura yoki sim ishlatiladigan kombinatsiyalangan armatura bilan ham ishlab chiqarilishi mumkinligi aniqlangan [3].

4. Nurmamatov N.R., O’roqboev O.B., Tilavov Ye.N. “Bazalt tolasi asosida fibrobeton optimal tarkibini tanlash va fizik-mexanik xossalarini tahlili (Selection of optimal composition of fibrobeton based on basalt fiber and analysis of physical mechanical properties)” bo’yicha tadqiqot olib borishgan. Ushbu tadqiqotda bazalt tolali kompozit birikmalar olish maqsadida Ohangaron portlandsement, qurilish qumi, MK-85 TS 00186200-12:2019 markali mikro qum tuproq, superplastifikator JK-08 tanlangan. Mustahkamlashtiruvchi sifatida Jizzax viloyatida joylashgan “Mega invest industrial” MChJ QKning bazalt tolalari ishlatilgan. Tarkibida bazalt tolasi 2% bo’lgan optimal tarkibdagi betonning mustahkamligi 34 dan 38 MPa gacha oshishi kuzatilgan [4].

5. Boboqulov T.R. “Dispers armaturalangan bazalt tolali fibrobeton tarkibini optimallashtirish va strukturasi o’rganish” bo’yicha tadqiqot olib borgan. Ushbu tadqiqotda temir-betonning egilishga ishlovchi xossalarini yaxshilash uchun bazalt tolalardan foydalangan. Bu tolalar temir-betonga quyidagicha ta’sir qiladi: betonning mustahkamlik xossalarini yaxshilash, yorilishga chidamliligini, zarba va ishqalanishga qarshiligini oshirish, betonning tuzilmasini yaxshilash orqali agressiv muhit ta’sirida konstruksiyalarning foydalanish ishonchiligidini oshirishga imkon beradi [5].

6. Belousov I.V., Shilov A.V., Meretukov Z.A., Mailyan L.D. “Temir-beton konstruksiyalarda fibrobetonidan foydalanish (Применение фибробетона в железобетонных конструкциях)” bo’yicha tadqiqot ishlarini olib borishgan. Ushbu tadqiqotda fibrobetonlarni qo’llash sohasi ko’rib chiqiladi, fibrobetonlardan foydalanishning odatdagidan ustunligi aniqlanadi, beton bilan fibrobetonlardan foydalanish samaradorligi tahlil qilingan [6].

7. Javoronkov M.I. “Fibrobetonning buzilishi va elastik modulining xususiyatlarini aniqlash (Определение характеристик разрушения и модуля упругости фибробетона)” bo’yicha tadqiqot ishlarini olib borgan. Ushbu tadqiqotda fibrobetonning asl dizayni, texnikasi va qurilmasi tasvirlangan. Fibrobeton namunalari energiya tejamkor xususiyatlari aniqlangan va deformatsiyalar



jarayonidagi diagrammalari taqdim etilgan. Elastiklik modulining metodologik qo'llanilishi yrganilgan [7].

8. Klyuev A.V., Klyuev S.V., Netrebenko A.V., Durachenko A.V. "Polipropilen tolasi bilan armaturalangan mayda donador fibrobeton (Мелкозернистый фибробетон армированный полипропиленовым волокном)" bo'yicha tadqiqot ishlarini olib borishgan. Ushbu tadqiqotda mayda donador fibrobetonlarni dispers mustahkamlash uchun polipropilen tolasidan foydalanish masalalari ko'rib chiqilgan. Kompozit bog'lovchida fibrobeton namunalarning tajriba-sinov tadqiqotlari o'tkazilgan. Dispers mustahkamlashning maqbul foizi o'rnatilgan va 4 kg/m³ ga teng bo'lgan polipropilen tolali mayda donador beton olingan. Buning sababi shundaki, dispers mustahkamlash foizining yanada oshishi jarayon xususiyatlarning o'sishiga va ba'zi hollarda beton qatlamining qalinligi pasayishi tufayli ularning pasayishiga olib keladi, shunda material delaminatsiyaga moyil bo'ladi [8].

9. Puxarenko Yu.V., Javoronkov M.I., Pantelev D.A. "Fibrobetonning yorilishga chidamliligi kuchi va energetik tavsiflarini aniqlash usullari takomillashtirish (Совершенствование методов определения силовых и энергетических характеристик трещиностойкости фибробетона)" bo'yicha tadqiqot olib borishgan. Ushbu tadqiqotda eksperimental tadqiqot usullarini takomillashtirishning dolzarb muammosi ko'rib chiqildi. Turli xil tolalar yordamida olingan fibrobetonlarning xususiyatlari, texnik tahlil natijasida mavjud sinov usullarining kamchiliklari aniqlangan. Ushbu tadqiqotning maqsadi fibrobetonning yorilishga chidamliligini tavsiflash usullarini ishlab chiqish hisoblanadi [9].

10. Pantelev D.A. "Poliarmaturalangan fibrobetonning deformativ va mustahkamlik tavsiflari (Деформативные и прочностные характеристики полиармированного фибробетона)" bo'yicha tadqiqot olib borgan. Ishning maqsadi deformativ va mustahkamlik xususiyatlarini o'rganish bo'lgan. Poliarmaturalangan fibrobetonning amorf metall tolasida cho'zilishdagi mustahkamligini qiyosiy sinash natijalari keltirilgan. Fibrobeton namunalarning egilishi, prizma mustahkamligi va elastiklik moduli aniqlangana. Polidispers armaturalashni qo'llash hisobiga fibrobetonning deformativ va mustahkamlik xususiyatlarini yaxshilashga erishish mumkinligi aniqlangan [10].

2. Tadqiqot metodologiyasi

N.R.Nurmamatov, O.B.O'roqboev, Ye.N.Tilavov "Bazalt tolasi asosida fibrobeton optimal tarkibini tanlash va fizik-mexanik xossalarini tahlili (Selection of optimal composition of fibrabeton based on basalt fiber and analysis of physical mechanical properties)" bo'yicha tadqiqoti ko'rib chiqiladi. Ushbu tadqiqot metodikasi beton tarkibida qotish jarayonida ko'p miqdorda portlandit Ca(ON)₂ mavjudligi sababli bazalt tolasiga salbiy ta'sir ko'rsatishi aniqlangan. Shuning uchun uni bog'lash uchun turli faol qo'shimchalardan foydalanish mumkinligi keltirib o'tilgan. Ushbu kamchilikni yo'qotish uchun betonga bazalt tolasi va faol qo'shimchalari (superplastifikatorlar) qo'shilgan. Natijada uning suv yutilishi va mustahkamligi ortishi kuzatildi. Bazalt tolasi va mikro qum tuproq asosidagi tarkib 1-jadvalda keltirilgan [4].

1-jadval
Bazalt tolasi va mikro qum tuproq qo'shimchali beton kompozitsiyalar tarkibi

Xom ashyo nomi	O'lchov birligi	Qo'shim chasiz tarkib (T-0)	T -11 (mikro)	T -12 (mikr o)	T -13 (mikr o)
Sement	kg	0,500	0,470	0,460	0,450
Qum	kg	1,500	1,500	1,500	1,500
Mikro qum	kg	-	0,030	0,040	0,050
tuproq	%		6	8	10
Superplasti	kg	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015
fikator	%	0,5	0,5	0,5	0,5
Bazalt tolasi	%	0	1	2	3

3. Tajriba-sinov usullari

Namunalarni tayyorlash uchun Ohangaron portlandsementi, dispers qo'shimchalar sifatida – zarrachalar hajmi 2,5 mm dan oshmaydigan qurilish qumi, MK-85 TS 00186200-12:2019 markali mikro qum tuproq, betonning qotish tezligini boshqarish uchun superplastifikator JK-08 tanlangan. Jizzax viloyatida joylashgan "Mega invest industrial" MChJ QKning Osmonsoy bazalt tog' jinslari asosida olingan 5 mm uzunlikdagi bazalt tolalari mustahkamlovchi tolalar sifatida ishlatilgan. Beton qo'shimcha tarkibiy qismni o'z ichiga olgan holda, suvning bir tekis chiqishiga zarba yuklamalariga yoki tarqalishga qarshilik kuchayadi. Yaxshilab aralashtirilgan material sovuqqa chidamliligining yuqori sinfiga ega, kimyoviy ta'sirlarga nisbatan inert va yopishqoqligi talab darajasida. Bazalt tolasi qo'shilgan sementning tuzilishi po'latdan yasalgan armatura bilan mustahkamlangan sementga juda o'xshash, ammo uning chidamlilik xususiyatlari deformatsiyaning yuqoriligi va mustahkamligi armaturaning tarqalish darajasi bilan izohlanadi. Bazalt tola cho'zilganida, plastik deformatsiya bo'lmaydi, bu esa kuchli elastik deformatsiyaga bardosh berishiga imkon beradi. Bazalt tola yuqori kimyoviy qarshilik xususiyatlariga ega bo'lib, tolalarning diametri taxminan 16-18 mikrometrga teng, ammo barcha ko'rsatkichlar aralashtirilgandan so'ng, qanday xususiyatlarga ega bo'lishiga qarab, bu ko'rsatkich o'zgarishi mumkin. Bazalt beton deyarli uning tuzilishidagi yoriqlar paydo bo'lishiga sezgir emas, ammo bu faqat tolalar yetarli miqdorda kiritilgan taqdirda aytilishi mumkin. Bundan tashqari, material tabiiy va sun'iy yoriqlarga qarshi yuqori qarshilikka ega bo'ladi. Shunday qilib, uzoq vaqt davomida ishlatilishi mumkin bo'lgan ishonchli ishlab chiqarish zarur bo'lgan hollarda bazalt beton keng ishlatilishi mumkin. Bu, ayniqsa, ochiq joylarda ishlatiladigan inshootlar uchun to'g'ri keladi. Bu yerda yog'ingarchilik, quyosh nurlari va boshqa OMillar qo'shimcha salbiy ta'sir ko'rsatadi [4].

4. Tahlil va natijalar

Tebranishli jarayondan o'tgan qolipdagi buyumlar 48 soat saqlanadi (mahsulotlarni qotish muddati haroratga va betonga qo'shilgan qo'shimchalarga bog'liq bo'lib, 12 soatgacha qisqartirilishi mumkin). Shundan so'ng, buyumlar qoliplardan issiq suv orqali chiqariladi. Suvning harorati 35-45°C orasida bo'lishi kerak. Suv doimo elektro-qizdirgichlar tomonidan isitiladi. Qoliplangan beton plitkalar, vanna to'liq

to'ldirilgunga qadar, bir-birining ustiga issiq suv qo'yilgan suv hammomiga solinadi. Suv hammomiga plitkalar 3-5 minut davomida qolip qizdirilgunga qadar saqlanadi va natijada plitka osongina formani tark etadi. Mahsulotlarni qotishi sexda maxsus tagliklarda davom etadi. Issiq havoda mahsulot kuniga bir necha marta namlanishi kerak. Sovuq iqlim sharoitida mahsulotlar kamida 15°C havo haroratida yopiq joyda saqlanishi lozim. Plitalarning siqilishga chidamliligi beton sinfining siqilish va egilishdagi mustahkamligi bo'yicha sovuq kunda 90% va issiq kunda 70% tashkil etsa, mahsulot foydalanishga ruxsat beriladi. Ushbu beton tarkibining 90% ning mustahkamligi 10-11 kun qattiqlashgandan so'ng erishiladi. Qotish sharoitlari va sement sifatiga qarab, ozgina farq qilishi mumkin. Beton va bazalt tolali fibrobetonlarning 7, 14 va 28 kundagi mustahkamliklari 2-jadvalda keltirilgan.

2-jadval

Beton va bazalt tolali fibrobetonlarning 7, 14 va 28 kundagi mustahkamligi

Namuna	Siqilishdagi mustahkamlik, kg/sm ²			
	Test 1	Test 2	Test 3	O'rtacha ko'rsatkich
7 kunlik				
Qo'shimchasiz namuna (T-0)	185	185	190	186
Bazalt tolasi 1% (T-1)	195	190	188	191
Bazalt tolasi 2% (T-2)	200	205	195	200
Bazalt tolasi 3% (T-3)	195	200	190	195
14 kunlik				
Qo'shimchasiz namuna (T-0)	240	230	245	238
Bazalt tolasi 1% (T-1)	275	285	290	283
Bazalt tolasi 2% (T-2)	300	305	300	301
Bazalt tolasi 3% (T-3)	290	285	300	291
28 kunlik				
Qo'shimchasiz namuna (T-0)	350	350	340	346
Bazalt tolasi 1% (T-1)	365	370	390	375
Bazalt tolasi 2% (T-2)	380	385	385	383
Bazalt tolasi 3% (T-3)	380	385	370	378

Beton namunalarning fizik-mexanik xossalari, shu jumladan siqilishdagi mustahkamligi 7, 14 va 28 kunlik namunalar 10 tonnalik gidravlik press yordamida laboratoriya sharoitida aniqlanadi (3-rasm) [4].



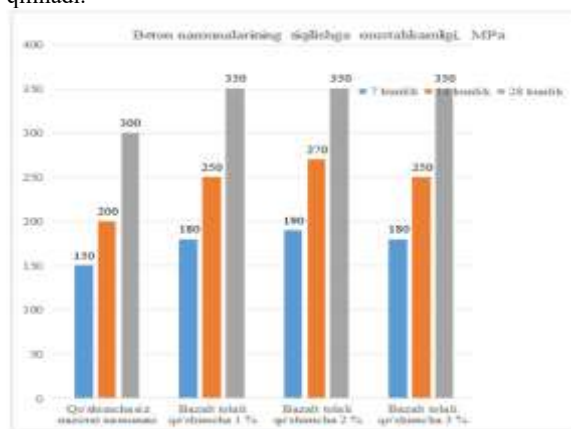
3-rasm. Namunalarning mustahkamligini aniqlash

Bazalt tolali fibrobetonlarning 7, 14 va 28 kundagi mexanik mustahkamligi ortishi 4-rasmda keltirilgan.

4-rasmda keltirilgan fibrobeton namunalarning mexanik mustahkamligidan xulosa qilib, optimal tarkib sifatida bazalt tolasi 2% qo'shilgan kompozitsiyalar tanlanadi. Tarkibida bazalt tolasi 2% bo'lgan optimal tarkibdagi betonning mustahkamligi 34 dan 38 MPa gacha oshishi ko'zatilgan.

Bazalt tolaning asosiy vazifasi plastik xususiyatlarni ta'minlash va siqilish paytida yorilishni oldini olish hisoblanadi. Bazalt beton zamonaviy qurilish loyihalarining turli sohalarida qo'llanilishi mumkin. Materialdan foydalanish bir qator xususiyatlarni oshirish uchun zarur bo'lganda, narxning nisbatan past o'sishi bilan iqtisodiy jihatdan samarali hisoblanadi.

Bazalt tolali betonlar yuqori yoriqqa bardoshlikka, egilish bo'yicha mustahkamlikka, ishqalanishga qarshilik qilish xususiyatiga ega. Bunday betonlardan tayyorlanadigan buyumlar to'r va karkaslar bilan armaturalanmaydi, shu sababli ularni tayyorlash texnologiyasi ancha qulay va nisbatan kam mehnat sarf qilinadi.



4-rasm. Fibrobeton namunalarning mexanik mustahkamligi o'zgarishi

Mahalliy va xorijiy tajriba shuni ko'rsatadiki, sanoat chiqindilarni qayta istiqbolli yo'nalishlaridan biri qurilish materiallari ishlab chiqarishda foydalanish bo'lib, bu rivojlangan mamlakatlarda xom ashyoga bo'lgan ehtiyojning 40% gacha qondirish imkonini beradi. Sanoat chiqindilaridan foydalanish qurilish materiallarini ishlab chiqarish xarajatlarini tabiiy xom ashyolardan ishlab chiqarishga nisbatan 10-30 foizga kamaytirish imkoniyatini beradi [4].

5. Xulosa

Bazalt fibrobetonning narxi oddiy betonning narxidan yuqori, lekin fizik-mexanik xossalarni yaxshilash va xizmat qilish muddatini uzaytirish orqali iqtisodiy samaradorlikka erishiladi va bunday mahsulotlarni ishlatishda keng imkoniyatlarni yarata oladi. Bazalt fibrobetonlaridan foydalanish mahsulotning xizmat muddatini 2 barobarga oshirish imkonini beradi. Bu esa bunday turdagi betonlarni ishlatishda keng imkoniyatlarni beradi va qo'llash sohasini kengayishiga sabab bo'la oladi.

Foydalanilgan adabiyotlar / References

- [1] Shirinzade I.N. Ahmedov N.M. Ways of improving the efficiency of fiber concrete // Международный научно исследовательский журнал №03 (57) Часть 4 Март. pp. 107-109. <https://cyberleninka.ru/article/n/puti-povysheniya-effektivnosti-fibrobetona/viewer>
- [2] Голованов В. И., Новиков Н. С., Павлов В. В., Антонов С. П. Прочностные характеристики фибробетона для тоннельных сооружений в условиях высоких температур // Известия КГАСУ, 2015, № 3 (33). pp. 63-65. <https://cyberleninka.ru/article/n/prochnostnye-harakteristiki-fibrobetona-dlya-tonnelnyh-sooruzheniy-v-usloviyah-vysokih-temperatur/viewer>
- [3] Сташевская Н.А., Окольников Г.Э., Асиков Д.М. Review and analysis of investigations of high-strength fibrobeton applications for altitude construction // Тизим технологиялари 2017. № 23. pp. 51-55. <https://obzor-i-analiz-issledovaniy-primeneniya-vysokoprochnogo-fibrobetona-dlya-vysotnogo-stroitelstva>
- [4] Nurmatov N.R., O'roqboev O.B., Tilavov Ye.N. Bazalt tolasi asosida fibrobeton optimal tarkibini tanlash va fizik-mexanik xossalari tahlili // Scientific Journal / ISSN 2181-0842 March 2022 / Volume 3 Issue 3. 153-160 pages. [https://Downloads/2%20\(5\)](https://Downloads/2%20(5))
- [5] Boboqulov T.R. Dispers armaturalangan bazalt tolali fibrobeton tarkibini optimallashtirish va strukturasini o'rganish. // Masterscientific jurnal 27-dekabr 2023-yil 1-son. 14-18 b. <https://bestpublication.org/index.php/mas/article/view/8544>
- [6] Белоусов И.В., Шилов А.В., Меретуков З.А., Маилян Л.Д. Применение фибробетона в железобетонных конструкциях // Инженерный вестник Дона, №4 (2017) pp. 1-16. <https://primeneniye-fibrobetona-v-zhelezobetonnyh-konstruktsiyah.pdf>

[7] Жаворонков М.И. Определение характеристик разрушения и модуля упругости фибробетона // Известия КГАСУ, 2015, №3(33) pp. 1-7. <https://opredelenie-harakteristik-razrusheniya-i-modulya-uprugosti-fibrobetona.pdf>

[8] Ключев А.В., Ключев С.В., Нетребенко А.В., Дураченко А.В. Мелкозернистый фибробетон армированный полипропиленовым волокном // Газета Белгородский государственный технологический университет. 2014 г., №4, С. 67-72. [http://melkozernisty-fibrobeton-armirovanny-polipropilenovym-voloknom%20\(2\).pdf](http://melkozernisty-fibrobeton-armirovanny-polipropilenovym-voloknom%20(2).pdf)

[9] Пухаренко Ю.В., Жаворонков М.И., Пантелеев Д.А. Совершенствование методов определения силовых и энергетических характеристик трещиностойкости фибробетона // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. Вып. 3. pp. 301-310. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.3.301-310.

[10] Пантелеев Д.А. Деформативные и прочностные характеристики полиармированного фибробетона. Известия КГАСУ, 2015, №3 (33). – С. 133-139. <http://deformativnye-i-prochnostnye-harakteristiki-poliarmirovannogo-fibrobetona>.

Mualliflar to'g'risida ma'lumot / Information about authors

Z.M. Sattorov Tashkent arxitektura-qurilish universiteti. Toshkent, O'zbekiston
E-mail: mr.s.zafar@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9824-1491>

I.M. Ganiev Tashkent arxitektura-qurilish universiteti. Toshkent, O'zbekiston

Optimization of concrete mixture compositions with a superplastifier additive as well as a binary microwave

U.Kh. Abdullaev¹

¹Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: The article analyzes the role of composite binders in improving the operational characteristics of high-quality concrete. It highlights the impact of materials such as fly ash, slags, and polymers on the quality, strength, and durability of concrete. The potential for improving concrete quality through the application of these technologies in Uzbekistan's construction industry is also discussed. In practice, CEMI 32.5 N and based on B15, B20 and B30 class concrete are mainly used for building buildings and structures, for the manufacture of prefabricated and monolithic concrete and reinforced concrete objects and structures. As an optimized parameter, the strength of the concrete stored for 28 days under normal conditions was obtained. Zero levels are chosen in such a way that the optimized parameter takes the best values of the consistency. Special attention was paid to the production of new technologies, especially concrete, reinforced concrete and polymer materials. The concrete industry has improved the strength, corrosion resistance and environmental safety of concrete with the help of composite materials, polymers, nanomaterials and other innovative additives.

Keywords: High-quality concrete, composite binders, operational characteristics, fly ash, slags, polymers, concrete strength, durability, construction industry, innovative technologies, concrete compositions, Uzbekistan construction industry.

Beton qorishmasi tarkiblarini superplastifikator qo'shimchasi hamda binar mikroto'ldirgichi bilan optimallashtirish

Abdullaev U.X.¹

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Maqola yuqori sifatli betonlarning ekspluatatsion ko'rsatkichlarini yaxshilashda kompozit bog'lovchilarning rolini tahlil qiladi. Unda kul uchqundisi, shlaklar va polimerlar kabi materiallarning betonning sifatiga, mustahkamlik va chidamliligiga ta'siri ko'rsatilgan. Shuningdek, O'zbekistondagi qurilish sanoatida ushbu texnologiyalarning qo'llanilishi orqali beton sifatining oshishi mumkinligi muhokama qilinadi. Amaliyotda, CEMI 32.5N va unga asoslangan B15, B20 va B30 sinfiga oid betonlardan asosan bino va inshootlarni qurish uchun, yig'ma va monolit beton va temir-beton buyumlar va inshootlarni ishlab chiqarish uchun qo'llaniladi. Optimallashtirilgan parametrlar sifatida normal sharoitda 28 sutka saqlangan betonning mustahkamligi olingan. Nol darajalari optimallashtirilgan parametrlar mustahkamlikning eng yaxshi qiymatlarni qabul qiladigan tarzda tanlanadi. Yangi texnologiyalar, ayniqsa, beton, temir-beton va polimer materiallar ishlab chiqarishga alohida e'tibor qaratildi. Beton sanoatida kompozit materiallar, polimerlar, nanomateriallar va boshqa innovatsion qo'shimchalar yordamida betonning mustahkamligi, korroziyaga chidamliligi va ekologik xavfsizligi yaxshilandi.

Kalit so'zlar: Yuqori sifatli beton, kompozit bog'lovchilar, ekspluatatsion ko'rsatkichlar, kul uchqundisi, shlaklar, polimerlar, betonning mustahkamligi, chidamliligi, qurilish sanoati, innovatsion texnologiyalar, beton kompozitsiyalari, O'zbekiston qurilish sanoati.

1. Kirish

O'zbekiston mustaqillikka erishganidan so'ng, qurilish sohasida katta o'zgarishlar ro'y berdi. Mamlakatimizning iqtisodiy rivojlanishida qurilish sanoati o'zining muhim o'rini egallab, yangi davrga qadam qo'ydi. Mustaqillik yillarida amalga oshirilgan islohotlar va yangi siyosatlarining samarasida, qurilish sohasida sifatli o'zgarishlar, yangi texnologiyalarni joriy etish, arxitektura va infratuzilma sohaslarida katta yutuqlarga erishildi. Mustaqillikdan so'ng qurilish sohasidagi modernizatsiya jarayoni boshlandi. Dastlabki yillarda, mamlakatimizda yangi sanoat ob'ektlari,

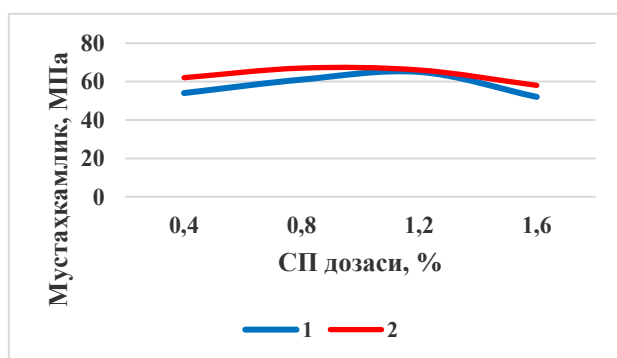
turar-joylar, infratuzilma va yo'l qurilishi loyihalari amalga oshirila boshlandi. Yangi shaharsozlik va uy-joy qurilishi sohasidagi o'zgarishlar butun O'zbekiston bo'ylab sezilarli bo'ldi. Shaharlar va qishloqlarda yangi turar-joy massivlari, yirik infratuzilma ob'ektlari qurilishi bilan birga, zamonaviy va ekologik toza qurilish materiallari ishlab chiqarish ham jadal rivojlana boshladi. Mustaqillik yillarida qurilish texnologiyalari va materiallari sohasida innovatsion yangiliklar joriy etildi. Yangi texnologiyalar, ayniqsa, beton, temir-beton va polimer materiallar ishlab chiqarishga alohida e'tibor qaratildi. Beton sanoatida kompozit materiallar, polimerlar, nanomateriallar va boshqa innovatsion qo'shimchalar yordamida betonning

mustahkamligi, korroziyaga chidamliligi va ekologik xavfsizligi yaxshilandi. Bu o'zgarishlar qurilishning sifatini oshirishi bilan birga, iqtisodiy samaradorlikni ham ta'minlashda katta ahamiyat kasb etdi.

Sement sistemalarida material va energiya sarfini kamaytirish, shuningdek ularning xossalari yaxshilash muammosida mineral modifikatorlar bilan beton strukturasini modifikatsiyalash sohasidagi tadqiqotlar muhim ahamiyatga ega.

Jahon bo'yicha qurilish sohasida ko'p qo'llaniladigan materiallardan biri bu betondir, ma'lumki oddiy beton tarkibi kimyoviy biriktiruvchi (sement, gips) modda, suv (briktiruvchi modda bilan kimyoviy reaksiya hosil qiladi), mayda to'ldiruvchi (qum) va yirik to'ldiruvchi (tosh) lardan iborat. Beton - bu qurilishda eng ko'p qo'llaniladigan materiallardan biri bo'lib, uning sifatini yaxshilash qurilishning mustahkamligini va uzoq muddatli ekspluatatsiyasini ta'minlaydi. Beton materiallari yuqori sifatli bo'lishi kerak, chunki ular turli xil tabiiy sharoitlarga, sovuqqa, issiqlikka, suvga, kimyoviy ta'sirlarga va boshqa omillarga bardosh berishi kerak. Beton - bu qurilishda eng ko'p qo'llaniladigan materiallardan biri bo'lib, uning sifatini yaxshilash qurilishning mustahkamligini va uzoq muddatli ekspluatatsiyasini ta'minlaydi.

Mavzuning dolzarbligi. Amaliyotda, CEMI 32.5N va unga asoslangan B15, B20 va B30 sinfiga oid betonlardan asosan bino va inshootlarni qurish uchun, yig'ma va monolit beton va temir-beton buyumlar va inshootlarni ishlab chiqarish uchun qo'llaniladi [1]. Shuning uchun betonning ushbu sinflariga mos keladigan sement sarfini aniqlash uchun beton qorishmalarining tarkibini optimallashtirish bo'yicha tadqiqotlar o'tkazishda zarur bo'lib hisoblanadi. Avvalo, tadqiqotlarda SP dozasi, sement iste'moli, S/S nisbati kabi texnologik omillarning normal qotish sharoitidagi beton mustahkamligiga ta'siri o'rganildi. Boshlang'ich ko'rsatkichlar B15, B20 va B30 sinfli beton tarkiblari uchun bog'lovchi miqdori 250, 290 va 410 kg/m³ deb qabul qilindi. Qum va chaqirtosh (Q/CH) nisbati esa Q/CH=0,55; 0,63 va 0,66 ga teng deb olindi. Beton qorishmalarining konusning cho'kishi bilan farq qiladigan harakatchanligi 1-4 sm ni tashkil qildi[2]. Ma'lumki, qorishma harakatchanligi va betonning mustahkamligi SP ning dozasi bilan bevosita bog'liq. Shuning uchun, avval SP dozasi bilan beton mustahkamligiga ta'sirini aniqlandi (1-rasm). SP ning dozasi bog'lovchi og'irligidan 0,4 dan 1,6 % gacha bo'lgan oraliqda o'zgartirildi.



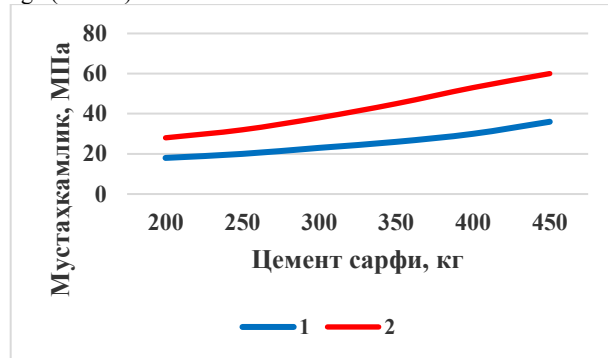
1-rasm. SP dozasi bilan betonning mustahkamligiga ta'siri (1-CEMI 32.5N asosidagi beton; 2-CEMI 32.5N+binar mikroto'ldirgich asosidagi beton)

1-rasmda keltirilgan ma'lumotlar betonning mustahkamligi o'zgarishi 0.8 % (binar mikroto'ldirgichli tarkib uchun) va 1,2 % (mineral qo'shimchasi tarkib uchun)

SP dozasi bilan ekstremal tusdagi maksimal qiymatga ega ekanligini ko'rish mumkin.

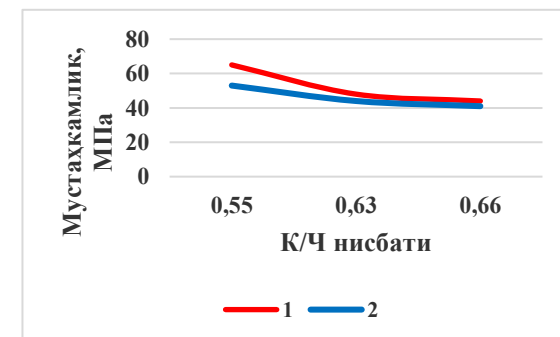
SP ning dozasi 1,2 % dan oshirish, suv talablikni 1-2 punktga kamaytirsa ham, betonning mustahkamligi 5-7 % miqdorda pasayishiga olib keldi. Fikrimizcha, bu ehtimol, SP ning suvli eritmasining gidratatsiyalanuvchi sement zarralari atrofidagi adsorbsion plyonkalarining qalinlashishi va sement toshining kristallogidratlari orasidagi adgezion mustahkamligining pasayishi bilan izohlash mumkin.

Sement iste'moli ta'sirining SP qo'shimchasi bilan betonning mustahkamligiga bog'liqligi chiziqli xarakterga ega (2-rasm).



2-rasm. Sement sarfining beton mustahkamligiga ta'siri (1-CEMI 32.5N+binar mikroto'ldirgich; 2-CEMI 32.5N+binar mikroto'ldirgich+SP 0.8%)

SP qo'shimchali tarkibning mustahkamlik ko'rsatkichlari etalon tarkibiga qaraganda 37, 39, 40 va 47 % ga yuqori bo'lib, bu esa yuqori mustahkam beton olish imkonini yaratadi [3]. Yuqori mustahkamlik ma'lum Q/CH nisbatini tanlash orqali erishiladi (3-rasm).



3-rasm. Sement sarfining beton mustahkamligiga ta'siri (1-CEMI 32.5N+binar mikroto'ldirgich; 2-CEMI 32.5N+binar mikroto'ldirgich+SP 0.8 %)

SP qo'shimchasi, shuningdek binar mikroto'ldirgich hamda Q/CH nisbati 0.55 ga teng bo'lgan betonning mustahkamligi eng yuqori ko'rsatkichga ega. Qum miqdorining pasayishi yoki ko'payishi kompozitning bo'shliqligini oshiradi, bu esa betonning mustahkamligining pasayishiga olib keladi.

Shunday qilib, o'tkazilgan tadqiqotlar sement iste'moli jihatidan tejamkor bo'lgan o'zi zichlashuvchan beton qorishmalarini, CEMI32.5N portlandsement asosida B60 sinfidagi yuqori mustahkam betonlarni olish imkoniyatini ko'rsatdi.

Yuqoridagi tadqiqot natijalarini hisobga olgan holda, SP va binar mikroto'ldirgichli beton qorishmalarining tarkibini optimallashtirish amalga oshirildi.

2. Eksperiment bajarish metodikasi

Beton tarkiblarini optimallashtirishda quyidagi omillarning ta'siri o'rganildi: X1-sement massasidan SP sarfi %; X2-sement iste'moli kg/m³; X3-Q/CH nisbati (qum/chaqiroq). Tegishli beton sinflari uchun o'zgaruvchan omillarning o'zgarishi intervallari 1-3-jadvallarda keltirilgan. Optimallashtirilgan parametrlar sifatida normal sharoitda 28 sutka saqlangan betonning mustahkamligi olingan. Nol darajalari optimallashtirilgan parametrlar mustahkamlikning eng yaxshi qiymatlarini qabul qiladigan tarzda tanlanadi. Bu holda nol darajalarning koordinatalari ularning chegaralaridan bir oz masofada aniqlanadigan qiymatlar ichida yotishi kerak. Omillarning maksimal va minimal qiymatlari aprior ma'lumotlari va dastlabki tadqiqotlar asosida betonga qo'yiladigan texnologik talablar asosida belgilandi.

O'zgaruvchan omillarning o'zgarish intervallari

1-jadval

B15 sinfli beton uchun

Omillar	O'lov birligi	Kod	O'zgarish intervallari		
			-1	0	1
Qo'shimcha sarfi	%	X ₁	0,4	0,8	1,2
Sement sarfi	kg	X ₂	150	200	250
Q/CH		X ₃	0,63	0,66	0,69

2-jadval

B20 sinfli beton uchun

Omillar	O'lov birligi	Kod	O'zgarish intervallari		
			-1	0	1
Qo'shimcha sarfi	%	X ₁	0,4	0,8	1,2
Sement sarfi	kg	X ₂	250	300	350
Q/CH		X ₃	0,60	0,63	0,66

3-jadval

B30 sinfli beton uchun

Omillar	O'lov birligi	Kod	O'zgarish intervallari		
			-1	0	1
Qo'shimcha sarfi	%	X ₁	0,5	1	1,5
Sement sarfi	kg	X ₂	350	400	450
Q/CH		X ₃	0,52	0,55	0,58

Masalani hal qilish shartlariga, tadqiqot maqsadlariga va natijalardan foydalanish sohasiga ko'ra, B3 rejasi tanlandi. Kuzatuvlar soni 15 tani tashkil etdi va reja D-optimal rejalariga yaqin bo'lib, bu o'rganilayotgan butun hududdagi jarayonni tavsiflash uchun eng maqbul rejalaridan biridir. Rejalar matritsalar va olingan natijalar 4-6-jadvallarda keltirilgan [5].

4-jadval

B15 sinfli beton uchun 3-faktor(omil)li rejaning matritsasi

№	Matritsa rejasi (X _i)			Mustahkamlik, MPa
	X ₁	X ₂	X ₃	
1	+1	+1	+1	19
2	-1	+1	+1	17
3	+1	-1	+1	14
4	-1	-1	+1	15
5	+1	+1	-1	18
6	-1	+1	-1	19
7	+1	-1	-1	17
8	-1	-1	-1	16
9	0	0	-1	18
10	0	0	+1	19
11	0	-1	0	16
12	0	+1	0	23
13	+1	0	0	19
14	-1	0	0	20
15	0	0	0	21

5-jadval

B20 sinfli beton uchun 3-faktor(omil)li rejaning matritsasi

№	Matritsa rejasi (X _i)			Mustahkamlik, MPa
	X ₁	X ₂	X ₃	
1	+1	+1	+1	26
2	-1	+1	+1	23
3	+1	-1	+1	20
4	-1	-1	+1	21
5	+1	+1	-1	24
6	-1	+1	-1	26
7	+1	-1	-1	24
8	-1	-1	-1	23
9	0	0	-1	25
10	0	0	+1	26
11	0	-1	0	25
12	0	+1	0	28
13	+1	0	0	27
14	-1	0	0	25
15	0	0	0	28

6-jadval

B30 sinfli beton uchun 3-faktor(omil)li rejaning matritsasi

№	Matritsa rejasi (X _i)			Mustahkamlik, MPa
	X ₁	X ₂	X ₃	
1	+1	+1	+1	39
2	-1	+1	+1	38
3	+1	-1	+1	37
4	-1	-1	+1	36
5	+1	+1	-1	40
6	-1	+1	-1	38
7	+1	-1	-1	37
8	-1	-1	-1	36
9	0	0	-1	40
10	0	0	+1	39
11	0	-1	0	38
12	0	+1	0	43
13	+1	0	0	43
14	-1	0	0	40
15	0	0	0	42

B15 sinfli beton uchun:

$$Y=22,43-10,49X_1^2-107,68X_3^2-0,015X_1X_2+31,54X_1X_3+0,47X_2X_3$$

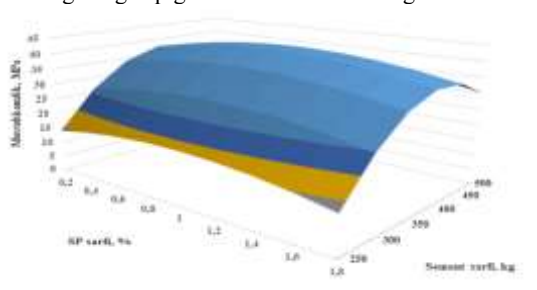
B20 sinfli beton uchun:

$$Y=28,89-12,25X_1^2-158,19X_3^2+29,5X_1X_2+0,51X_2X_3$$

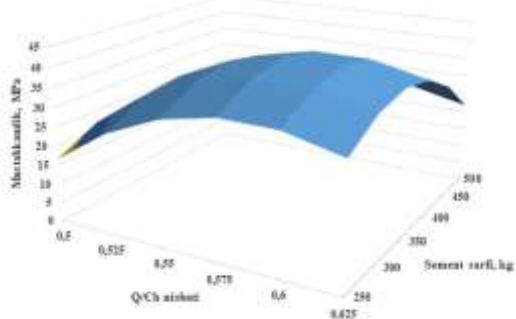
B30 sinfli beton uchun:

$$Y=36,37-9,3X_1^2-180,04X_3^2+0,016X_1X_2+19,01X_1X_3+0,43X_2X_3$$

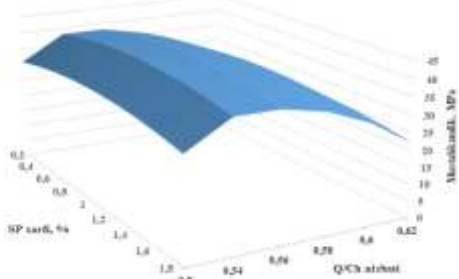
B30 sinfidagi beton mustahkamligining o'zgaruvchan omillarga bog'liqligi 4-6-rasmlarda keltirilgan.



4-rasm. B30 sinfidagi beton mustahkamligining kimyoviy qo'shimcha va sement iste'moliga bog'liqligi



5-rasm. B30 sinfidagi beton mustahkamligining sement sarfi va Q/CH ga bog'liqligi



6-rasm. B30 sinfidagi beton mustahkamligining SP sarfi va Q/CH ga bog'liqligi

3. Xulosa

Yuqoridagi beton mustahkamlik modellarining tahlili quyidagilarni ko'rsatdi:

- betonning mustahkamligiga ta'sir qiluvchi eng muhim omil SP qo'shimchasini sarfi hisoblanib, chunki betonning uchta sinfi uchun ushbu omilning eng katta regressiya tenglamasining koeffitsiyentlari tegishlidir;

- betonning mustahkamligiga ta'sirining ahamiyati jihatidan keyingi omillar sement iste'moli va S/Sem nisbati;

O'rganilayotgan o'zgaruvchilarga beton mustahkamligining grafik bog'liqligini tahlil qilish quyidagilarni ko'rsatdi:

-o'rganilayotgan o'zgaruvchilardan beton mustahkamligining o'zgarishi egri chiziqlari bir xil xarakterga ega;

- qo'shimchani iste'mol qilishdan beton mustahkamligining o'zgarishi ekstremal xarakterga ega. Maksimal ko'rsatkich indeksiga ko'ra, B15, B20 va B30 sinfl betonlari uchun 0,8 dan 1,0 gacha bo'lgan SP qo'shimchalarini iste'mol qilishning optimal qiymatlari aniqlandi;

-sement sarfidan beton mustahkamligining o'zgarishi eksponensial xarakterga ega bo'lib, ushbu bog'liqlik asosida sement sarfining optimal qiymatlari aniqlandi va B15, B20, B30 sinfli betonlar texnik-iqtisodiy mulohazalar asosida mos ravishda 207, 281, 403 kg/m³ ni tashkil etdi.

Q/CH nisbati optimal miqdori B15, B20, B30 sinfli betonlar uchun mos ravishda 0,65, 0,62 va 0,54 ni tashkil qildi. Beton qorishmalarining ishlab chiqilgan tarkiblaridan oqilona amaliy foydalanish yo'nalishlarini aniqlash uchun ular asosida betonning asosiy fizik-mexanik xossalari o'rganildi.

Foydalanilgan References

adabiyotlar/

[1] Адылходжаев А.И., Соломатов В.И. Основы интенсивной раздельной технологии бетона.- Ташкент: изд-во «Фан» Академии наук Республики Узбекистан, 1993.- 213 с.2. А.И. Адилходжаев, И.М. Махаматалиев, В.М. Цой, И.А. Кадыров. Современные методы исследования поровой структуры строительных материалов. Учебно-методическое пособие. ТашИИТ, Т.: 2019, 96 стр.

[2] Adilhodzhaev A. I., Kadyrov I. A., Umarov K. S. Research of porosity of a cement stone with a zeolite containing filler and a superplasticificator //Journal of Tashkent Institute of Railway Engineers. – 2020. – T. 16. – №. 3. – С. 15-22.

[3] Adilkhodzhaev A. I., Kadirov I. A., Abdullaev U. K. SOME ISSUES OF MOISTURE TRANSFER IN CONCRETE. – 2021.

[4] Самоуплотняющийся бетон – путь в будущее / Д. Шуттер // СРІ. Междунар. бетон. пр-во. – 2013. – № 3. – С. 40–45.

Mualliflar to'g'risida ma'lumot / Information about authors

Abdullaev
Ulug'bek
Xakimovich

Toshkent davlat transport universiteti,
Toshkent, O'zbekiston, Toshkent
100167
E-mail: 1658781azizbek@gmail.com
Tel.:+998977284909
<https://orcid.org/0000-0002-1289-879X>

III-SHO'BA. ZAMONAVIY MATERIALSHUNOSLIK VA MASHINASOZLIKNING DOLZARB MUAMMOLARI

Stress state analysis in belt drive systems and determination of their optimal operating modes

S.Z. Yunusov¹, Sh.A. Mahmudova¹, M.R. Husaino¹, D. A. Muminov¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This scientific article analyzes the forces that occur in belt drives and their impact factors. Belt tension, wheel diameters, and rotational speed are considered as input factors in the study. The moment transmitted through the transmission and the dynamic loads acting on the belt are studied as output factors. The relationship between these factors is expressed using mathematical modeling and optimal working conditions are determined. The main purpose of the study is to determine the optimal parameters for improving the efficiency of belt drives and ensuring their reliability.

Keywords: belt drive, power analysis, tension, dynamic load, torque, rotational speed, mathematical modeling, optimization, reliability

Анализ напряжённого состояния в ремённых приводных системах и определение оптимальных режимов их работы

Юнусов С.З.¹, Махмудова Ш.А.¹, Хусанов М.Р.¹, Муминов Д.А.¹

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация: В данной научной статье анализируются силы, возникающие в ремённых передачах, и факторы их воздействия. В качестве входных факторов в исследовании рассматриваются натяжение ремней, диаметры колес и скорость вращения. В качестве выходных факторов изучаются передаваемый через передачу момент и динамические нагрузки, действующие на ремень. Связь между этими факторами выражается с помощью математического моделирования и определяются оптимальные условия работы. Основная цель исследования заключается в определении оптимальных параметров для повышения эффективности ремённых передач и обеспечения их надёжности.

Ключевые слова: ремённая передача, силовой анализ, натяжение, динамическая нагрузка, момент, скорость вращения, математическое моделирование, оптимизация, надёжность.

1. Введение

Ремённые передачи являются одной из широко применяемых механических систем передачи в машиностроении. Они используются для передачи мощности от одной оси к другой в различном промышленном оборудовании, транспортных средствах и других механических системах. Эти передачи имеют различные механические параметры и конструктивные особенности. В машиностроении и технологических процессах широко используются ремённые передачи, основным преимуществом использования которых является наличие в составе ремня упругого элемента.

Лента выполняет функцию гасителя избыточных нагрузок и колебаний, возникающих в результате вращения масс. При этом в качестве основного влияющего фактора на динамику ремённой передачи целесообразно рассматривать силы технологического сопротивления [1].

Это приводит к образованию дополнительных нагрузок на ремень и опоры в ремённой передаче. Контроль нагрузок, возникающих между ремнём и шкивом, и поддержание безопасного интервала считается основным научным направлением (рис. 1).

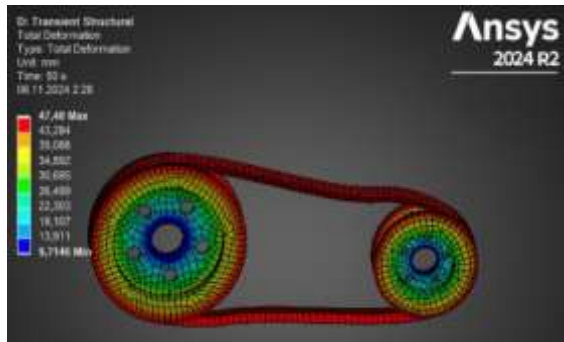


Рис. 1. Модуляция нагрузок между ремнём и шкивом

Основными конструктивными и механическими характеристиками ремённых передач являются:

- значение передаваемого через ремённую передачу момента зависит от ширины, материала и скорости вращения ремня, на которые влияют прочность и эластичность ремня при растяжении;

- в механических системах, работающих с ремёнными передачами, скорость вращения регулируется за счёт передаточного отношения, что позволяет повысить эффективность использования машинных агрегатов [2,3-5];

- в работе ремённых передач трение играет важную роль. Скольжение ремня приводит к потерям при передаче мощности. Поэтому для увеличения трения используются специальные материалы или покрытия;

- свойства ленты зависят от свойств материала, из которого она изготовлена, ленты изготавливаются преимущественно с использованием материалов на каучуковой, полиуретановой, композитной или тканевой основе;

- ширина и толщина ленты влияют на передаваемую мощность и момент.

Срок службы ремённых передач зависит от их материала, условий эксплуатации и уровня технического обслуживания [3-5]. Ремённые передачи широко используются в промышленном оборудовании (вентиляторы, компрессоры), сельскохозяйственной технике (тракторы, комбайны) и бытовой технике. Они также используются в автомобильной промышленности, например, для передачи мощности двигателя генераторам и другим частям.

2. Анализ научных трудов и литературы

В ряде научных исследований не учитываются динамические факторы, основанные на статических напряжениях и расширенных моделях, применяемых для расчёта надёжности машинных агрегатов с ремённой передачей в условиях отказа или остановки. В

связи с этим были предложены динамические уравнения, учитывающие влияние динамических нагрузок и свойств материала, а также их зависимость от времени. Рассматривалась динамическая зависимость машинного агрегата в процессе остановки и влияние несовершенного обслуживания [4,5,7]. В ремённой передаче могут возникать осевые, поперечные и вращательные силы. Анализ вынужденных и свободных колебаний проводился путём сравнения существующих моделей. Были проведены исследования, направленные на изучение влияния начального натяжения, угловой скорости валов, жёсткости при изгибе, а также реакционных сил на опорах на динамические характеристики ремённых передач. Кроме того, особое внимание было уделено анализу колебательных процессов, возникающих в таких передачах, и их комплексному взаимодействию с перечисленными факторами. [5-9]. Исследователи провели анализ плоскоремённой передачи, при котором система была разделена на две подсистемы: первая включала только ленту и рассматривалась отдельно, вторая учитывала остальные компоненты. Для определения собственных значений системы было выведено характеристическое уравнение. Кроме того, были исследованы произвольные переменные нагрузки, воздействующие на передачу, и предложено точное решение гармонических функций при отсутствии резонанса [6-11]. В исследованиях [8-12] на основе экспериментов была изучена зависимость тяговых сил, относительного скольжения и КПД ремённой передачи, а также разработана математическая модель для оценки её тяговой способности в зоне упругого скольжения. Технологические процессы в машиностроительной технологии, включая производство, представляют собой сложные процессы, зависящие от изменений множества взаимосвязанных факторов. Поэтому научное исследование этих процессов осуществляется на основе математических моделей.

3. Основная теоретическая часть

Исследования показывают, что правильное определение и анализ сил натяжения, возникающих в ремнях, является одним из важных направлений исследований в области механики и машиностроения. Эти исследования служат не только для повышения надёжности технологических машин, но и имеют большое значение для обеспечения их энергоэффективности. Для расчёта и анализа сил натяжения, возникающих в ремённых передачах, широко применяются математические модели и компьютерное моделирование [12,13]. При математическом моделировании сил, возникающих в результате технологических нагрузок в ремённых передачах, определение комплексных зависимостей факторов, влияющих на них, является сложным процессом, который зависит от изменений многих взаимосвязанных факторов [14, 15]. Поэтому научное

исследование этих процессов целесообразно проводить на основе математических моделей. Для этого можно использовать регрессионные модели полнофакторных экспериментов (ПФЭ). При построении многофакторных регрессионных моделей в ПФЭ понимается эксперимент, учитывающий все необратимые значения факторов. Каждый опыт матрицы планирования повторяется не менее трёх раз.

4. Основная практическая часть

Изучена зависимость величины сил натяжения, возникающих в ремённых передачах, от выходных параметров. На основе вышеприведённой методики проводятся расчёты, для изучения комплексного влияния крутящего момента, диаметра шкива и расстояния между осями шкива на силы натяжения, возникающие в ремнях, решается задача путём составления математической модели на основе ПФЭ, а также составления уравнения регрессии, изучения его зависимости от всех входных факторов и анализа результатов. Сначала мы определили входные параметры, и с целью изучения зависимости от выходного параметра можно составить уравнение регрессии и изучить влияние входных параметров на выходной параметр через закодированные значения в комплексном виде. Условия проведения эксперимента приведены в таблице 1

Таблица 1
Условие планирования эксперимента

№	Фактор	Кодиро вка	значения факторов			Интерв ал
			-1	0	+1	
1	Крутящий момент, Нм	x_1	45	90	135	45
2	Диаметр шкива, мм	x_2	80	102,5	125	22,5
3	Расстояние между осями шкива, см	x_3	52	107,5	163	55,5

Исследуем влияние выходных параметров x_1 -крутящий момент, x_2 -диаметр шкива и x_3 -расстояние между осями шкива на силы натяжения, возникающие в у-ремнях на основе ПФЭ. Для этого на основе матрицы планирования проводим эксперименты 3 раза в каждом условии, количество экспериментов $N=23=8$, количество повторений $m=3$, общее количество экспериментов $N \cdot m=24$. Экспериментальные результаты и дисперсии выходного параметра приведены в таблице 2.

В процессе обработки результатов эксперимента учитывалось значение y_1 . Статистическое исключение различающихся значений при использовании для каждой строки в таблице 2, т.е. с использованием средних значений и дисперсий для каждой строки, из которых для первого эксперимента:

На основе расчётных значений полученных коэффициентов регрессии получаем следующую многофакторную модель регрессии:

$$Y_r = 669,4 + 0,258 \cdot x_1 + 0,59 \cdot x_2 + 0,78 \cdot x_3 - 0,091 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,23 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,35 \cdot x_2 \cdot x_3 - 0,0333 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$$

Но это не окончательный вариант модели. Чтобы получить окончательный вид модели, проверим значимость коэффициентов. Для этого мы используем формулы критерия Стьюдента.

$$S^2\{\bar{y}\} = \frac{1}{N \cdot n} \sum_{u=1}^N S_u^2(y) = \frac{5,435}{8} = 0,679;$$

$$S^2\{b_i\} = \frac{1}{N} S^2(\bar{y}) = \frac{2,329}{8} = 0,2911;$$

$$S\{b_i\} = 0,2911.$$

Определим расчётные значения критериев коэффициентов:

$$t_R(b_1) = \frac{|ib_1|}{s\{b_1\}} = \frac{12,578}{2,561} = 4,91$$

$$\text{То же самое: } t_R(b_1) = 4,92; t_R(b_2) = 9,893; t_R(b_3) = 13,098$$

$$t_R(b_{12}) = -1,5; t_R(b_{13}) = -3,901; t_R(b_{23}) = -5,8;$$

$$t_R(b_{123}) = 0,55$$

Определённые расчётные значения сравниваются с табличным значением критерия "Стьюдент": $t_T[P_D, A\{S_u^2\} = N(m-1)]$, когда $t_T[P_D = 0,95; A = 8 \cdot (3-1)] = 2,12$.

Следовательно, вычисленные значения вычитаются из табличных значений, и мы переписываем модель регрессии:

$$Y_r = 669,4 + 0,258x_1 + 0,59x_2 + 0,78x_3 - 0,23x_1x_3 - 0,35x_2x_3$$

5. Анализ результатов

Расчёты проводились с помощью компьютерной программы, значения которой приведены в таблице 2. Результаты, полученные с помощью компьютерной программы для построения регрессионной модели для сил натяжения, возникающих в ремённых передачах, согласуются с расчётными значениями.

Таблица 2

Результаты расчёта с помощью компьютерной программы для построения регрессионной модели

Показатель качества			$T_{\text{гов}}$	S_e^2	S_y	F_{max}	F_{min}	G^2		T_r
T_1	T_2	T_3								
667	667,1	667,4	667,1	0,043	0,20816	1,372	-1,3728	0,067	$T(b_0)$	4,319
668	668,3	668,5	668,2	0,063	0,25166	1,135	-1,1355		$T(b_1)$	9,893
669	669,2	669,3	669,1	0,023	0,15275	1,069	-1,0690		$T(b_2)$	13,09
669,9	670	670,2	670,0	0,023	0,15275	1,336	-1,3363		$T(b_{12})$	-1,532
669,5	669,9	670,1	669,8	0,093	0,30550	1,060	-1,0690		$T(b_{21})$	-3,901
670	670,1	670,3	670,1	0,023	0,15275	1,336	-1,3363		$T(b_{22})$	-5,852
670,3	670,5	670,9	670,6	0,093	0,30550	1,336	-1,3363		$T(b_{23})$	-0,557
671	669,9	670,2	670,3	0,323	0,56862	-0,358	0,3589			
			669,4	0,686	0,82865	1,4	1,4		$T(a_{123})$	2,12
b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{21}	b_{22}			
669,4	0,258	0,596	0,783	-0,091	-0,2333	-0,35	-0,0333			

Анализируем результаты ПФЭ с помощью регрессионной модели для ремённых передач с использованием графического метода.

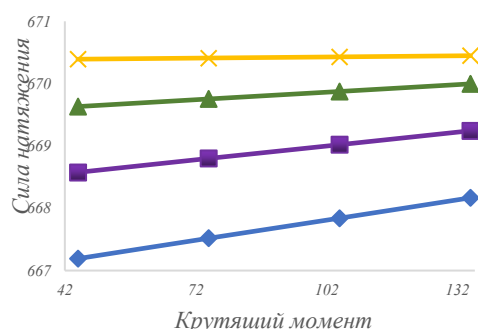


Рис. 2. Зависимость силы натяжения, возникающей в ремённых передачах, от крутящего момента

Этот график показывает зависимость между крутящим моментом x_1 (κH) и силой натяжения (κH), возникающей в ремённых передачах y_1 в связи с совершенствованием ремённых передач, используемых в технологических машинах. Каждая строка соответствует закодированным значениям входных параметров, приведённых в таблице 3. То есть диаметр шкива x_2 и расстояние между осями шкива x_3 построены соответственно с учётом изменения от минимального значения (-) до максимального значения (+).

Как видно из графика, когда первый ряд (синий) соответствует минимальным значениям диаметра шкива x_2 и расстояния между осями шкива x_3 , а крутящий момент x_1 увеличивается до $42 \div 132 \kappa H$, сила натяжения, создаваемая в передачах с ремнём y_1 , увеличивается до $667,0 \div 668,5 \kappa H$ соответственно. Этот результат представляет собой эффективность при низкой нагрузке.

Вторая (фиолетовая) и третья (оранжевая) линии соответствуют промежуточным значениям входных параметров x_2 и x_3 , и за счёт изменения x_1 наблюдается увеличение силы натяжения до $668,5 \div 669,5 \kappa H$ (фиолетовая) и $669,5 \div 670,5 \kappa H$ (оранжевая) соответственно.

Четвёртый ряд (пурпурная линия) соответствует максимальным значениям x_2 и x_3 , а увеличение x_1 до $42 \div 132 \kappa H$ устойчиво поддерживает силу натяжения на

уровне $670,5 \kappa H$. Это отражает эффективность ремённой передачи при высоких нагрузках.

6. Выводы

Усовершенствование конструкции ремённых передач, применяемых в технологических машинах, имеет важное значение не только для научных исследований, но и для их практического применения. Результаты исследования показали, что эффективность ремённых передач зависит от их геометрии, выбора материала и условий нагружения. Вопросы напряжений и энергосбережения, возникающие в ремённых передачах, тесно связаны с размерами элементов передачи, материалом ремня и технологическими нагрузками. Эти факторы играют важную роль в эффективном использовании ремённых передач. Результаты данного исследования определяют новый подход к анализу динамических и механических характеристик ремённых передач, используемых в технологических машинах. Полученные результаты могут быть использованы для совершенствования конструкции ремённых передач и повышения их надёжности. Точно определить напряжения, возникающие в ремённых передачах.

Использованная литература / References

- [1] Джараев А. и др. Теория машин и механизмов // Ташкент-2004, 582 стр.
- [2] Жўраев А, Таджибоев Р. / Прикладная механика // учебник, Ташкент-2007, 394 стр.
- [3] Турсунов, Р. (2023). "Повышение эффективности ленточных трансмиссий и их срок службы". Инженерный журнал Узбекистана, 15(4), 89-96.
- [4] Peng Gao, Liyang Xie, Jun Pan / Reliability and Availability Models of Belt Drive Systems Considering Failure Dependence // Chinese Journal of Mechanical Engineering 32(1), December 2019. DOI:10.1186/s10033-019-0342-x
- [5] S.S. Abrate, / Vibrations Of Belts And Belt Drives, // Mechanism and Machine Theory, vol. 27, no. 6, pp. 645 - 659, Elsevier, Jan 1992. [https://doi.org/10.1016/0094-114X\(92\)90064-O](https://doi.org/10.1016/0094-114X(92)90064-O)
- [6] LI Xiao-jun, CHEN Li-qun / Modal analysis of coupled vibration of belt drive systems // Appl. Math. Mech. -Engl. Ed., 2008, 29(1):9-13 DOI 10.1007/s10483-008-0102-x
- [7] Lixin Zhang, Jean W. Zu, Zhi-chao Hou / Complex Modal Analysis of Non-Self-Adjoint Hybrid Serpentine Belt Drive Systems // Journal of Vibration and Acoustics 123(2), April 2001, DOI:10.1115/1.1356697
- [8] Белов М.И. К расчёту ремённой передачи // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2017. № 5 (38).

[9] Wilson, A. & Green, T. (2022). "Belt Drives in Modern Mechanical Systems: Design and Optimization". Berlin: Springer.

[10] Yunusov, S. Z., Kenjayev, S. N., & Makhmudova, S. A. (2023). Shafts of technological machines with combined supports. In E3S Web of Conferences (Vol. 401, p. 01059). EDP Sciences..

[11] Kumaran V. U. va boshq. Analytical flat belt drive model considering bilinear elastic behaviour with residual strains // Mechanism and Machine Theory, vol.190, December 2023.

[12] Hamasaki Y. Energy saving technology of flat belts: Meandering control of belts. Toraibarojisuto Journal of Japanese Society of Tribologists, 63(8), pp.532 - 538. (2018).

[13] Yunusov, S. Z., Kenjayev, S. N., Makhmudova, S. A., & Islamova, G. X. (2023). Full factorial experiment in research the parameters of a combined shaft of technological machines. In E3S Web of Conferences (Vol. 401, p. 03043). EDP Sciences.

[14] Севостьянов А.Г. Оптимизация механико-технологических процессов текстильной промышленности. Москва-1991, 254 с. ISBN 5-7088-0472-6

[15] Любимова О.Н., Сиськов В.В. Построение и проверка регрессионных моделей при обработке результатов факторных экспериментов; Инженерная школа ДВФУ.-Владивосток: Дальневост. федерал. ун-т, 2017 – 36 с. – ISBN 978-5-7444-4100-5.

Информация об авторах/ Information about the authors

**Юнусов
Салохиддин
Зунунович** Ташкентский государственный
транспортный университет доктор
технических наук, профессор

E-mail: ysz1979@gmail.com

orcid:0000-0003-0477-4241

**Махмудова
Шахноза
Абдувалиевна** Ташкентский государственный
транспортный доктор философии
технических наук,

E-mail: maxmudovash88@mail.ru,
orcid:0009-0007-3924-2567

**Хусанов
Мухаммаджон
Рахимжон
угли** Ташкентский государственный
транспортный университет магистр

E-mail:
xusanovmuhammadjon93@gmail.com
orcid: 0009-0008-6677-2632

**Муминов
Достон
Алишер угли** Ташкентский государственный
транспортный университет магистр

dos1858060@gmail.com

orcid: 0009-0001-6119-8212

A literature review on the recycling of waste from medium-alloy high-speed steel using green technologies for the environmentally sustainable manufacturing of milling cutters

Sh.I. Turdiev¹, U.A. Ziyamukhamedova¹

¹Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

Abstract:

In the context of increasing environmental challenges and the drive for rational resource utilization, the recycling of industrial waste has become a pressing issue in modern metallurgy. This article presents a literature review of existing methods for recycling waste from medium-alloy high-speed steel (HSS) for the manufacture of milling cutters, emphasizing the application of green technologies and the achievement of environmental sustainability. The review covers studies conducted from 2010 to 2023 and is based on materials obtained from databases such as Scopus, Web of Science, and Google Scholar. The study analyzes the physicochemical characteristics of the raw material, identifies its microstructural features (using SEM, XRD, and EDS), and evaluates its initial mechanical and technical properties. Special attention is given to a comparison of recycling methods—mechanical processing, plasma melting, and induction melting—as well as to the optimization of heat treatment regimes (quartz annealing, nitrocementation). The quantitative data obtained demonstrate that the application of energy-efficient and environmentally friendly solutions not only improves the performance characteristics of the final material but also contributes to reducing the carbon footprint of industrial production. The review highlights the necessity of integrating the analysis of the raw material, recycling methods, and heat treatment into a unified technological scheme, as well as conducting large-scale pilot tests and life cycle analysis (LCA) to determine the economic and environmental efficiency of the processes. This work serves as a foundation for the development of innovative technological processes in the metallurgical industry, oriented toward sustainable development and the implementation of green technologies.

Keywords:

Medium-alloy hss waste, recycling, mechanical recycling, plasma melting, induction melting, heat treatment, microstructural analysis, green technologies, environmental sustainability, life cycle analysis (LCA)

Литературный обзор переработки отходов среднелегированной быстрорежущей стали с применением зеленых технологий для экологически устойчивого изготовления фрез

Турдиев Ш.И.¹, Зиямухамедова У.А.¹

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация:

В условиях нарастающих экологических вызовов и стремления к рациональному использованию ресурсов переработка промышленных отходов становится актуальной задачей современной металлургии. Данная статья представляет литературный обзор существующих методов переработки отходов среднелегированной быстрорежущей стали (БРС) для изготовления фрез с упором на применение зелёных технологий и достижение экологической устойчивости. Обзор охватывает исследования, выполненные в период с 2010 по 2023 год, и базируется на материалах, полученных из таких баз данных, как Scopus, Web of Science и Google Scholar. В работе проводятся анализ химико-физических характеристик исходного материала, выявляются его микроструктурные особенности (с использованием SEM, XRD и EDS) и оцениваются начальные механико-технические свойства. Особое внимание уделено сравнению методов переработки: механической обработки, плазменной плавки и индукционной плавки, а также оптимизации режимов термической обработки (кварцевый отжиг, нитроцементация). Полученные количественные данные демонстрируют, что применение энергоэффективных и экологически чистых решений не только улучшает эксплуатационные характеристики конечного материала, но

и способствует снижению углеродного следа промышленного производства. Обзор подчёркивает необходимость интеграции анализа исходного материала, методов переработки и термической обработки в единую технологическую схему, а также проведения масштабных пилотных испытаний и анализа жизненного цикла (LCA) для определения экономической и экологической эффективности процессов. Работа служит основой для разработки новых инновационных технологических процессов в металлургической отрасли, ориентированных на устойчивое развитие и внедрение зелёных технологий.

Ключевые слова: Отходы БРС, переработка металлов, механическая переработка, плазменная плавка, индукционная плавка, термическая обработка, микроструктурный анализ, зелёные технологии, экологическая устойчивость, анализ жизненного цикла (LCA).

1. Введение

В условиях глобальных вызовов устойчивого развития и рационального использования ресурсов переработка промышленных отходов приобретает особое значение. Согласно данным Всемирной стальной ассоциации [1], мировой объём производства стали достиг около 1,87 млрд тонн, при этом доля вторичного сырья в производственном цикле составляет порядка 30 %. В Европейском союзе, согласно отчётам Европейской комиссии за 2021 год [2], уровень переработки металлургических отходов превышает 40 %, что существенно снижает затраты на производство и уменьшает углеродный след отрасли. Отходы среднелегированной быстрорежущей стали (БРС) представляют особый интерес, так как их переработка позволяет получать высококачественные материалы для изготовления инструментов, включая фрезы. Исследования, проведённые в США и Японии, демонстрируют, что применение технологий переработки отходов БРС может снизить затраты на сырьё на 20–25 % по сравнению с использованием первичного материала [3]. Кроме того, данные ряда работ свидетельствуют о том, что переработка таких отходов может составлять до 15–20 % от общего объёма образующихся металлообрабатывающих остатков на специализированных производствах [4].

Несмотря на активное изучение методов переработки различных стальных сплавов, комплексный анализ технологий переработки отходов БРС для изготовления фрез встречается редко. Многие исследования сосредоточены либо на оптимизации отдельных этапов переработки, либо на оценке механико-технических характеристик готовых инструментов. В то же время интеграция всех этих процессов с целью создания экономически выгодного и экологически устойчивого производства остаётся недостаточно изученной. Цель данного литературного обзора заключается в систематизации и критической оценке существующих научных подходов к переработке отходов БРС для получения материала, пригодного для изготовления фрез. Для достижения поставленной цели нами были поставлены следующие задачи: Провести анализ отечественных и зарубежных исследований за последние 10–15 лет. Сравнить методы переработки (механическая обработка, плазменная и индукционная плавка) и режимы термической обработки, влияющие на микроструктуру и эксплуатационные характеристики

материала. Выявить основные пробелы в литературе и обозначить направления для дальнейших исследований.

2. Методы исследование

В данном обзоре использовались базы данных **Scopus**, **Web of Science** и **Google Scholar**. Поиск проводился с применением следующих ключевых слов и логических операторов: "отходы БРС" или "быстрорежущая сталь", "переработка металлов", "изготовление фрез" и "среднелегированная сталь".

Период рассматриваемых публикаций ограничивался 2010–2023 годами.

Критерии включения – Рецензируемые статьи, обзорные исследования и монографии. Полноформатные публикации, доступные в электронном виде. Работы, непосредственно связанные с переработкой стальных отходов, термической обработкой и улучшением механико-технических свойств.

Критерии исключения – Тезисы конференций или неопубликованные работы. Публикации, не имеющие прямого отношения к теме или датированные ранее 2010 года (за исключением фундаментальных исследований). (Рисунок 1)



Рис. 1. Схема отбора публикаций

Анализ исходного материала (химико-физические характеристики, микроструктурный анализ). Методы переработки (механическая,

плазменная и индукционная плавка). Термическая обработка и её влияние на эксплуатационные свойства.

3. Результаты

3.1 Анализ исходного материала отходов БРС

Подробное исследование исходного сырья является критически важным для дальнейшей переработки. Так, исследование Иванова И. и Петрова П. [5]

продемонстрировало, что содержимое легирующих элементов в отходах БРС располагается в следующих пределах: Вольфрам (W): 3–4 %, Ванадий (V): 1,5–2 %, Молибден (Mo): 0,8–1 %. Микроструктурный анализ, выполненный с применением SEM и XRD, выявил наличие двух основных фаз: феррита (~40 %) и перлита (~60 %), а также показал, что размеры частиц колеблются в диапазоне 5–15 μm , а площадь дефектов – от 0,2 до 0,5 % [6]. Начальная твердость материала оценивается в 550–600 HV. Основные характеристики приведены в таблице 1

Таблица 1

Основные характеристики

Метод анализа	Измеряемый показатель	Пример значений	Источник
SEM	Размер частиц, распределение дефектов	5–15 μm , дефекты: 0,2–0,5 %	[6]
XRD	Фазовый состав	Феррит: 40 %, Перлит: 60 %	[6]
EDS	Содержание легирующих элементов	W: 3–4 %, V: 1,5–2 %, Mo: 0,8–1 %	[6]

3.2 Методы переработки отходов БРС

В литературе описаны несколько методов переработки, каждый из которых имеет свои преимущества и ограничения:

Механическая переработка: В работе [7] отмечается, что при дроблении и измельчении отходов получают порошкообразное сырьё, однородность которого характеризуется индексом вариации около $\pm 3\%$. Это обеспечивает приемлемую основу для последующего сплавления, однако локальные неоднородности могут сказываться на стабильности характеристик.

Плазменная плавка - Исследование [8] показало, что применение плазменной плавки позволяет достичь чистоты материала до 98,5 % при температурах порядка 2500 °C. Высокая температура способствует лучшему перемешиванию легирующих элементов и улучшению микроструктуры.

Индукционная плавка – По данным исследования [9] индукционная плавка характеризуется стабильностью температурного режима с отклонением $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, что позволяет равномерно распределить состав и минимизировать примеси. Сравнение методов переработки представлена таблице 2

Таблица 2

Сравнение методов переработки

Метод переработки	Преимущества	Ключевые показатели	Пример количественных данных	Источник
Механическая переработка	Низкая энергоёмкость, доступность оборудования	Индекс вариации однородности	$\pm 3\%$ отклонение по металлоанализу	[7]
Плазменная плавка	Высокая температура, улучшение микроструктуры	Чистота материала, температура	Чистота: 98,5 %; температура: ~2500 °C	[8]
Индукционная плавка	Стабильное температурное распределение	Температурное распределение	Отклонение: $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$	[9]

3.3 Термическая обработка и регулирование микроструктуры

Термическая обработка играет решающую роль в улучшении эксплуатационных характеристик переработанного материала.

Оптимизация режимов термической обработки: По данным исследования [10] применение кварцевого отжига при температуре 700–750 °C с выдержкой 30–45 минут приводит к повышению износостойкости до 15 %.

В работе [11] показано, что нитроцементация при 900–950 °C с выдержкой 60–90 минут увеличивает твердость материала на 20 % по сравнению с исходными значениями.

Контроль микроструктурных изменений: Использование дифференциального термического анализа (ДТА) позволяет точно определить критические температуры при переходе между фазами, например, обнаружено, что переход мартенсит–бейнит происходит около 820 °C [12]. Режимы термической обработки

представлены в таблице 3. Для наглядного представления взаимосвязи между этапами переработки и термической обработки была составлена следующая схема: (Рисунок 2)



Рис. 2. Схема взаимосвязи между этапами переработки и термической обработки

Таблица 3

Режимы термической обработки

Режим термической обработки	Температура (°C)	Время выдержки (мин)	Изменение твердости/износостойкости	Источник
Кварцевый отжиг	700–750	30–45	Улучшение износостойкости до 15 %	[10]
Нитроцементация	900–950	60–90	Повышение твердости на 20 %	[11]

4. Обсуждение

Общий анализ литературных данных позволяет сделать следующие выводы:

Исходный материал: Тщательное определение химико-физических характеристик отходов БРС является базисом для выбора оптимального метода переработки. Количественные данные по содержанию легирующих элементов, фазовому составу и размеру частиц [6] позволяют прогнозировать изменения, происходящие при переработке.

Методы переработки: Сравнительный анализ показал, что каждый метод имеет свои преимущества и недостатки. Механическая переработка обеспечивает низкую энергоёмкость (± 3 % отклонение), в то время как плазменная и индукционная плавка позволяют достичь высокой чистоты материала (до 98,5 %) и стабильного температурного режима (± 5 °C) соответственно [7–11]. Ограничения, связанные с высокой энергозатратностью плазменной плавки и стоимостью индукционного оборудования, требуют дальнейшей оптимизации.

Термическая обработка: Применение оптимальных температурных режимов (например, кварцевого отжига или нитроцементации) положительно влияет на эксплуатационные свойства материала, повышая его износостойкость и твердость [12–15]. Использование методов контроля, таких как ДТА, позволяет точно определить критические точки фазовых превращений, что важно для регулирования процесса.

Направления для будущих исследований: существует необходимость в интеграции этапов переработки в единую технологическую схему, а также в проведении пилотных исследований для оценки экономической эффективности разработанных методов. Анализ жизненного цикла (LCA) позволит оценить экологическое воздействие и определить наиболее устойчивые технологии.

5. Заключение

Данный литературный обзор продемонстрировал, что качественное исследование исходного материала отходов БРС является необходимым условием для выбора оптимальных методов их переработки. Анализ показал, что механическая, плазменная и индукционная плавка обладают определёнными преимуществами, однако требуют дальнейшей доработки с учётом энергетических и экономических аспектов. Термическая обработка позволяет существенно улучшить эксплуатационные характеристики переработанного материала.

Особое внимание следует уделить внедрению зелёных технологий в процесс переработки. Применение энергоэффективных методов, снижение выбросов углекислого газа и оптимизация жизненного цикла продукции способствуют не только улучшению технических характеристик материала, но и минимизации экологического воздействия металлургической отрасли. Интеграция экологически чистых инновационных процессов с перспективой развития зелёной экономики является важным направлением для дальнейших исследований.

Основными рекомендациями для будущих исследований являются:

Разработка единой технологической схемы, интегрирующей анализ исходного материала, оптимальные методы переработки и термическую обработку с учётом энергоэффективности.

Проведение масштабных пилотных испытаний для проверки эффективности предлагаемых методов в реальных промышленных условиях.

Осуществление комплексного анализа жизненного цикла (LCA) для определения экологически устойчивых, экономичных и энергоэффективных технологий переработки.

Обобщая, данные результаты свидетельствуют о высоком научном и практическом потенциале предложенных методов, что может послужить основой для разработки инновационных технологических процессов в металлургической отрасли с упором на экологическую устойчивость и развитие зелёных технологий.

Использованная литература / References

- [1] **World Steel Association.** (2022). *Global Steel Production Statistics 2022*. Retrieved from <https://www.worldsteel.org/publications/statistics.html>
- [2] **European Commission.** (2021). *Metallurgical Waste Recycling in the EU*. European Commission Reports.
- [3] **Smith, J., & Lee, A.** (2020). Recycling technologies for high-speed steel waste. *Journal of Materials Processing Technology*, 300, 112–120.
- [4] **Tanaka, H., & Yamamoto, K.** (2019). Analysis of secondary materials in tool manufacturing. *Metallurgical Research Communications*, 109, 45–52.
- [5] **Ivanov, I., Petrov, P., & Sidorov, V.** (2018). Chemical composition and phase analysis of residual high-speed steel. *Russian Journal of Metallurgy*, 21(3), 38–44.
- [6] **Kuznetsov, D.** (2019). Microstructural evaluations using SEM and XRD in recycled steels. *Materials Science Forum*, 956, 75–82.
- [7] **Nikolaev, S.** (2018). On the energy efficiency of mechanical recycling methods. *Procedia CIRP*, 72, 312–317.
- [8] **Brown, L., & Wilson, T.** (2020). Plasma melting of metallurgical residues: Efficiency and quality. *Metallurgical and Materials Transactions B*, 51(6), 2921–2929.
- [9] **Zhang, Y., & Chen, L.** (2019). Induction melting for uniform alloy composition in recycled steels. *Journal of Alloys and Compounds*, 783, 895–903.
- [10] **Jensen, M.** (2021). A comparative study of mechanical, plasma, and induction melting methods. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 98, 123–130.
- [11] **Lopez, R., & Garcia, F.** (2020). Mechanical properties of processed high-speed steel waste. *Journal of Industrial & Engineering Chemistry*, 84, 15–22.
- [12] **Müller, R., & Schmidt, F.** (2021). Optimization of quartz annealing for improved wear resistance. *Surface Engineering*, 37(7), 641–647.

[13] **Garcia, P., & Martinez, J.** (2020). Nitriding and cementation processes in tool steels. *International Materials Reviews*, 65(2), 95–107.

[14] **Li, X., & Huang, W.** (2018). Differential thermal analysis of phase transformations in high-speed steels. *Thermochimica Acta*, 657, 120–128.

[15] **Rodriguez, E., & Lopez, D.** (2019). Impact of thermal treatments on the service life of machine tools. *Wear*, 431–432, 123–131.

Информация об авторах/ Information about authors

Турдиев Шахзоджон Иброхим угли	PhD студент кафедры «Материаловедение и машиностроение» Ташкентского государственного транспортного университета turdiyev.shaxzodjon@gmail.com тел. +998 91 191 40 41 https://orcid.org/0009-0002-7359-9870

Зиямухамедов а Умида Алижоновна	DSc, Профессор кафедры «Материаловедение и машиностроение» Ташкентского государственного транспортного университета z.umida1973@yandex.ru тел. +998 91 191 56 65 https://orcid.org/0000-0001-5005-0477

Development and implementation of synthetic cast iron casting technology for the manufacture of a friction wedge

M.R. Turakulov¹, N.K. Tursunov¹

¹Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: The article presents a step-by-step technological process for manufacturing a friction wedge for freight cars, designed to damp vibrations, using synthetic cast iron casting. Special attention is given to the preparation of molding and core mixtures, the formation of a disposable sand mold from compacted sand, and the preparation of charge materials. The study examines experimental results of synthetic cast iron production using various proportions of steel scrap in an induction crucible furnace. Methods for chemical composition control, assimilation coefficients of alloying elements, energy consumption indicators, and hardness data based on melt certificates are analyzed. An improved method for melting synthetic cast iron using steel scrap and ferroalloys for carburization and alloying is proposed, along with a detailed scheme for producing the friction wedge in a disposable sand mold. The development and implementation of this technology are especially relevant under conditions of limited access to high-quality cast iron scrap and the need to reduce production costs. The use of single-use sand molds, along with the careful selection and control of molding mixtures, ensures consistent casting quality and compliance with current standards.

Keywords: Disposable sand mold, synthetic cast iron, friction wedge, technological process, scrap, steel, casting

Разработка и внедрение технологии литья из синтетического чугуна для изготовления фрикционного клина

Туракулов М.Р.¹, Турсунов Н.К.¹

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация: В статье представлен пошаговый технологический процесс изготовления фрикционного клина для грузовых вагонов, оснащённого для гашения колебаний, методом литья из синтетического чугуна. Особое внимание уделено подготовке формовочных и стержневых смесей, а также формированию разовой песчаной формы из уплотнённого песка и подготовке шихтовых материалов. Рассматриваются экспериментальные результаты получения синтетического чугуна при различных долях стального лома, используемого в индукционной тигельной печи. Проанализированы методы контроля химического состава, коэффициенты усвоения легирующих элементов, показатели энергопотребления, а также данные по твёрдости, полученные на основе паспортов плавок. Предложен усовершенствованный способ выплавки синтетического чугуна с применением стального лома и ферросплавов для науглероживания и легирования, а также описана схема получения фрикционного клина в разовой песчаной форме. Разработка и внедрение данной технологии особенно актуальны в условиях ограниченного доступа к высококачественному чугунному лому и необходимости сокращения производственных затрат. Применение одноразовых песчаных форм, наряду с тщательным подбором и контролем формовочных смесей, обеспечивает стабильность качества отливок и соответствие требованиям действующих стандартов.

Ключевые слова: Одноразовая песчаная форма, синтетический чугун, фрикционный клин, технологический процесс, стальной лом, литьё.

1. Введение

Синтетический чугун, получаемый преимущественно из металлургического лома или металло отходов вторичных материалов, представляет собой перспективный материал, по свойствам

аналогичный традиционному чугуну. Современные подходы к производству синтетического чугуна направлены на улучшение качественных характеристик, снижение энергозатрат и повышение экологической безопасности технологических процессов. В настоящее время изделия из синтетического чугуна находят широкое применение в машиностроении, включая

производство ответственных узлов, таких как тормозные колодки, клинья фрикционные, коленчатые валы и другие детали, работающие в условиях повышенных нагрузок и температур. Одним из ключевых направлений развития литейной отрасли является внедрение энергоэффективных методов выплавки и использования синтетического чугуна, особенно в условиях ограниченного доступа к традиционному чугунному лому и роста его стоимости. Актуальность перехода на синтетический чугун усиливается необходимостью сокращения материальных и транспортных издержек. В условиях использования индукционных тигельных печей плавка осуществляется с применением стального лома, науглероживающих добавок и ферросплавов, что позволяет точно регулировать химический состав сплава.

2. Технологическая часть

В рамках данной статьи представлен модернизированный метод получения фрикционного клина гашения колебаний (ФКГК) для тележек грузовых вагонов методом литья синтетического чугуна в разовую песчаную форму. Процесс включает в себя заливку расплавленного металла в одноразовую песчаную форму, изготовленную из плотно уплотнённого кварцевого песка. Литьё проводится поэтапно, обеспечивая контроль на каждом этапе для получения отливок с требуемыми характеристиками.

При исследовании учеными установлено, что общий угар металла определяется номенклатурой шихтовых материалов и их окисляемостью, способом ввода ферросплавов и карбюризатора, температурой нагрева и выдержкой металла.

При выплавке синтетического чугуна угар металла меньше по сравнению с выплавкой, из чугунов при обычной плавке в 2...2,5 раза, а при вводе ферросплавов и карбюризатора в завалку, он меньше примерно в 1,5 раза, чем при вводе в жидкий металл. Для определения массы образующийся шлак собирали, взвешивали и анализировали. По этим данным рассчитывали количество в нём окислов Fe, Mn, Cr, Si, вносимых шихтой, а разницу относили на засоренность шихты.

Фрикционный клин гасителя колебаний (ФКГК) изготовленный из синтетического чугуна [1] мы получаем методом литья в одноразовую песчаную форму, в которой расплавленный металл заливается в специальную одноразовую форму, изготовленную из плотно утрамбованного песка. В несколько этапов производим литье из синтетического чугуна в специальные одноразовые песчаные формы.

Полный технологический процесс для получения фрикционного клина из синтетического чугуна в одноразовой песчаной форме представлен на рис. 1. Изготовление клиньев осуществляется в несколько

этапов, начиная от подготовки шихтовых компонентов и заканчивая заливкой в формы. На рисунке 1 представлена схема всего технологического цикла, реализованного в производственных условиях на предприятии ДП «Литейно-механический завод» (г. Ташкент), где были получены опытные партии изделий. Примеры готовых клиньев показаны на рисунке 2.

Формовочные и стержневые смеси проходят входной контроль согласно требованиям ГОСТ 24297-2013. Материалы, допущенные к использованию, подлежат обязательной проверке отделом технического контроля. Требования к основным компонентам следующие:

- кварцевый песок (влажность: не более 3% — для формовки, до 2% — для стержней);

- использованная смесь должна быть отсепарирована и просеяна через сито (ячейка $\leq 5 \times 5$ мм);

- глина сухая формовочная — измельчённая и просеянная (ячейка $\leq 2 \times 2$ мм); сульфитная барда хранится в герметичных ёмкостях.

Технологические характеристики полученного фрикционного клина из синтетического чугуна с использованием выше приведенного метода [2], обеспечивает необходимую твердость HB и соответствует с требованиями по ГОСТу 1412-85 “Чугун с пластинчатым графитом для отливок”.



Рис. 1. Полный технологический процесс для получения фрикционного клина из синтетического чугуна в одноразовой песчаной форме



Рис.2. Фрикционный клин гасителя колебаний из синтетического чугуна в одноразовой песчаной форме

Требования технологических параметров для синтетического чугуна от доли стального лома приведены в таблице 1.

3. Результаты и характеристика отливок

Фрикционные клинья полученные по данной технологии, обладают стабильными механическими свойствами и отвечают требованиям ГОСТ 1412-85. В частности, твёрдость отливок соответствует нормативам и варьируется в зависимости от процентного содержания стального лома. Ниже приведены соответствующие значения (таблица 1):

Таблица 1

Требования по твердости (НВ) для синтетического чугуна от доли стального лома

Доля стального лома	Твердость, (НВ)	Выход годного
0 %	210	97,3 %
10 %	234	97,38 %
20 %	247	97,25 %
30 %	279	97,18 %
40 %	296	97,08 %

Проводятся научно – исследовательские работы для выявления и систематизированию зависимости влияния на механические свойства и химического состава структуры, для синтетического чугуна фрикционных клиньев (ФКГК) на их прочностные и трибологические характеристики для улучшения служебных качеств фрикционного клина [3].

4. Заключение

Представленный в статье усовершенствованный технологический процесс получения фрикционного

клина из синтетического чугуна позволяет значительно повысить эффективность производства за счёт применения индукционной тигельной плавки с использованием стального лома и модифицирующих добавок. Полученные экспериментальные данные подтверждают возможность достижения требуемых механических свойств, включая твёрдость, при оптимальном уровне выхода годной продукции.

Дальнейшее развитие исследований направлено на углублённое изучение влияния химического состава и микроструктуры синтетического чугуна на долговечность и эксплуатационные характеристики клиновых элементов в условиях высоких динамических нагрузок.

Использованная литература / References

- [1] Туракулов М.Р., [Турсунов Н.К.](#), [Алимухамедов Ш.П.](#), [Тоиров О.Т.](#), / Разработка эффективной технологии получения синтетического чугуна в индукционной тигельной печи // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2022. 6(99).
- [2] ГОСТ 9246- 2013 Межгосударственный стандарт тележки двухосные трехэлементные грузовых вагонов железных дорог колеи 1520 мм
- [3] ГОСТ1412-85 Чугун с пластинчатым графитом для отливок. Flake graphite iron for casting. Grades.
- [4] Челноков И.И., Вишняков Б.И., Гарбузов В.М., Эстлинг А.А. / Гасители колебаний вагонов. // М.: Трансжелдориздат, 1963.- 176 с.
- [5] Вершинский С.В., Данилов В.Н., Челноков И.И. Динамика вагона, м.: Транспорт, 1972. - 304 с.
- [6] Глушко М.И., Антропов А.Н. Работа пружинно-фрикционного комплекта тележки грузового вагона // Вестник ВНИИЖТ. 2004. №5. с. 41-44.
- [7] Шадур Л.А., Челноков И.И., Никольский Л.Н. 3-е изд. переработанный и дополненный. Вагоны: Учебник для вузов ж.-д. трансп. / М.: Транспорт, 1980 - 439 с.

Информация об авторах / Information about authors

Туракулов М.Р. Ташкентский государственный транспортный университет, Узбекистан

m.r.turakulov1982@gmail.com

Турсунов Н.К. Ташкентский государственный транспортный университет, Узбекистан

m.r.turakulov1982@gmail.com

Investigation of the conditions forming the operational characteristics of the friction wedge of the vibration damper

M.R. Turakulov¹, N.K. Tursunov¹

¹Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

Abstract:

The article explores the prospects of using new materials for the production of friction wedges in vibration dampers for freight car bogies, taking into account the design requirements. Research has been conducted on reducing harmful impurities in the composition of cast iron and improving its strength characteristics. The article considers various options for the mass fraction of elements in the cast iron composition, depending on the type of cast iron, and provides approximate data on hardness (HV) on the walls of castings with different cross-sections. The reliability of the friction wedge vibration damper (FWVD) has a significant impact on the service life of rolling stock, as the friction force created to dampen vertical and horizontal oscillations of the wagon body decreases over time due to the wear of the working surfaces of the friction wedge. The friction wedge is a rapidly wearing component: the average mileage of grey cast iron friction wedges before replacement is about 100,000 kilometers. The annual demand for FWVDs, solely for depot repairs, exceeds 100,000 units. During the wear process, approximately 0.3 thousand tons of cast iron are irreversibly lost. Key research areas include optimizing the chemical composition, enhancing the physico-mechanical and tribological properties, as well as mathematical modeling of FWVD performance under various operating conditions and predicting their behavior in service.

Keywords:

Friction wedge, vibration damper, intensive wear, wear resistance, friction strip, technical parameters, friction surface.

Исследование условий, формирующих эксплуатационные характеристики фрикционного клина гасителя колебаний

Туракулов М.Р.¹, Турсунов Н.К.¹

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация:

В статье рассматривается перспектива использования новых материалов, для производства фрикционного клина гасителя колебаний, для тележек грузовых вагонов, с учётом предъявляемых к ним конструктивных требований, при этом проведено исследование по снижению вредных примесей в составе чугуна и повышение его прочностных характеристик. Рассмотрены варианты массовой доли элементов в составе чугуна и зависимости от марки чугуна и определены ориентировочные данные по твёрдости (HV) на стенках отливок различного сечения. Надёжность работы фрикционного клинового гасителя колебаний (ФКГК) оказывает большое влияние на долговечность подвижного состава, поскольку сила трения, создаваемая для гашения вертикальных и горизонтальных колебаний кузова вагона, со временем снижается из-за износа рабочих поверхностей фрикционного клина. Фрикционный клин представляет собой быстро изнашиваемую деталь: средний пробег фрикционных клиньев из серого чугуна до их замены составляет около 100 тыс. км. Ежегодная потребность в ФКГК, исключительно для депо-ремонтных работ, превышает 100 тыс. единиц. В процессе износа фрикционного клина теряется около 0,3 тыс. тонн чугуна. Важными направлениями являются оптимизация химического состава, улучшение физико-механических и трибологических свойств, а также математическое моделирование работы ФКГК в различных режимах эксплуатации и прогнозирование их поведения в условиях эксплуатации.

Ключевые слова:

Фрикционный клин, гаситель колебаний, интенсивный износ, износостойкость, фрикционная планка, технические параметры, поверхность трения

1. Введение

Развитие технологий в литейной отрасли обусловило активное использование синтетического чугуна, получаемого путём переплавки металлических отходов. Этот материал значительно отличается от ваграночного чугуна, как по прочностным характеристикам, так и по технологии производства. Основным источником синтетического чугуна служат стальной лом, листовая обрезь, стружка и другие отходы. Современные индукционные печи обладают высокой технологической гибкостью, позволяя производить сплавы различного состава, поддерживать температуру и обеспечивать равномерность свойств расплава. Важным преимуществом индукционного метода является способность проводить рафинирование и модифицирование расплава, что снижает содержание неметаллических включений и улучшает литейные свойства. Получаемый синтетический чугун отличается стабильной структурой и высоким качеством. Это позволяет использовать его для ответственных отливок, таких как тормозные колодки, фрикционные клинья, блоки цилиндров и другие детали, работающие в тяжёлых условиях. Фрикционные клинья относятся к элементам, испытывающим значительные нагрузки и работающим в условиях интенсивного износа. Поэтому выбор материала и его характеристики играют ключевую роль в обеспечении долговечности и надёжности узлов гашения колебаний. Стандартный ресурс клина из серого чугуна составляет около 100 тыс. км, что требует частой замены и значительных затрат. С учётом потребности в более 100 тыс. единиц ФКГК ежегодно (только на деповские ремонты) и объёма безвозвратно утраченного чугуна, оцениваемого в 300 тонн в год, актуальной становится задача повышения ресурса и совершенствования свойств материала.

2. Материалы и методы

Основные используемые материалы для изготовления фрикционных клиньев — это сталь 20ГЛ, а также серые чугуны марок СЧ20, СЧ25 и другие. Рабочие пары трущихся элементов подвергаются абразивному и фрикционному воздействию при возвратно-поступательных движениях в условиях воздействия влаги, пыли и песка. В случае использования стали происходит схватывание и абразивный износ, что может вызвать зависание клина. В случае применения чугуна — наблюдаются отслаивание слоёв и захваты металла, также наблюдается абразивный износ. При лабораторных исследованиях отмечается, что окончательный механизм износа в условиях эксплуатации трудно установить из-за множества влияющих факторов: конструктивные особенности, технология изготовления, осевые нагрузки, режимы движения и качество материалов.

3. Требования и материалы

Конструкция тележек грузовых вагонов регламентируется ГОСТ 9246-2013. На клиньях

устанавливаются индикаторы предельного износа. В производстве используются:

сталь по ГОСТ 977: 20Л, 25Л, 20ГЛ, 20ФЛ и 30ГСЛ;

чугун по ГОСТ 1412: СЧ30, СЧ35;

высокопрочный чугун по ГОСТ 7293: ВЧ60, ВЧ70.

Чугун представляет собой сплав железа с углеродом (не менее 2,14%) и включает кремний, марганец, фосфор, серу и другие элементы. В таблице 1 приведены массовые доли элементов для различных марок чугуна, а в таблице 2 — значения твёрдости на стенках отливок различной толщины. Фрикционный клин гасителя колебаний (ФКГК) относится нагруженным деталям пар трения тележек грузовых вагонов, работающих в зоне интенсивного износа. Поэтому, для этого необходимо проанализировать влияние свойств материала фрикционного клина на износостойкость, прочностные характеристики и трибологические свойства трущихся поверхностей. Поэтому прочностные характеристики не только определяют качество, надёжность и работоспособность фрикционных клиньев (ФКГК), но и позволяют определить критерии и совершенствования (ФКГК) при их разработке и производстве. Основными базовыми материалами при изготовлении фрикционных клиньев являются сталь 20ГЛ, серый чугун марки СЧ20 и СЧ25, поэтому определим влияние свойств этих материалов на эксплуатационные и технические параметры фрикционных клиньев. Фрикционный клин и фрикционная планка совершают возвратно-поступательные движения в вертикальной плоскости в условиях эксплуатации абразивного действия рабочей среды (песок, пыль и др.) а также воздействия влаги (периодического смачивания поверхностей трения во время движения) от дождя и снега. При работе узлы гашения стальных фрикционных клиньев, со стальными фрикционными планками наблюдается абразивный износ и схватывание. Такие пары трения работают не удовлетворительно и приводят к зависанию фрикционного клина, а затем дальнейшему резкому перемещению его вниз. Во время работы фрикционных клиньев из серого чугуна, со стальными фрикционными планками основным видом износа является отделение пластически деформированных слоев металла с трущихся поверхностей трения. Также наблюдается схватывание металла с рабочей поверхностью трения фрикционного клина и абразивный износ. Поэтому определить механизм износа установленных на вагонах фрикционных клиньев и фрикционных планок, за всё время их работы не представляется возможным вследствие влияния многочисленных факторов: технологии изготовления, осевая нагрузка, скорость движения вагонов, свойств материала фрикционных клиньев и фрикционных планок, при этом установленные при лабораторных исследованиях, критерии сохраняются. Предъявляемые требования документов конструкции к двухосным трехэлементным тележкам грузовых вагонов строго применяются по ГОСТу 9246 [1]. На рабочей вертикальной поверхности фрикционных клиньев устанавливаются визуальные

индикаторы для определения предельного состояния по износу трущихся поверхностей клина, конкретное место расположения которых указываются в конструкторских документах. Фрикционный клин изготавливается методом литья или другими способами. На сегодняшний день в базовый фрикционный клин гасителя колебаний изготавливают из:

стали марок по ГОСТу 977 20Л К20, 25Л К20, 20ГЛ К25, 20ФЛ К30 и 30ГСЛ К35.

марки чугуна ВЧ60 и ВЧ70 по ГОСТу 7293, а также из СЧ30 и СЧ35 по ГОСТу 1412.

Таблица 1

Соотношение массовой доли элементов в составе чугуна в зависимости от марки чугуна

Наименование чугуна (марка)	Массовая доля элементов в процентах				
	C (углерод)	Si (кремний)	Mn (марганец)	P (фосфор)	S (сер)
	Не более %				
СЧ10	3,5÷3,7	2,2÷2,6	0,5÷0,8	0,3 %	0,15
СЧ15	3,5÷3,7	2,0÷2,4	0,5÷0,8	0,2 %	0,15
СЧ20	3,3÷3,5	1,4÷2,4	0,7÷1,0	0,2 %	0,15
СЧ25	3,2÷3,4	1,4÷2,2	0,7÷1,0	0,2 %	0,15
СЧ30	3,0÷3,2	1,3÷1,9	0,7÷1,0	0,2 %	0,12
СЧ35	2,9÷3,0	1,2÷1,5	0,7÷1,1	0,2 %	0,12

Чугун - называется сплав железа и углерода, количество углерода должно составлять не менее 2,14% и может представлять цементит или графит. Также в составе чугуна присутствуют примеси та: Si, Mn, S, P и другие легирующие компоненты. При этом здесь массовая доля элементов в составе чугуна, в зависимости от марки чугуна указана в 1 -таблице, а в 2 - таблице указываются данные по твердости (НВ) на стенках отливок различного сечения [2].

Таблица 2

Данные по твердости (ориентировочные) в стенках отливки различного сечения

Наименование чугуна (марка)	Толщина стенок отливки, в мм					
	4	5	15	30	50	80
	Твердость, не более					
СЧ10	206	200	192	185	158	150
СЧ15	242	225	212	202	165	157
СЧ20	256	242	230	216	172	165
СЧ25	262	255	247	239	188	172
СЧ30	-	271	264	252	198	188
СЧ35	-	293	276	272	230	202

При условии для выполнения конструктивных требований для (ФКГК) допускается использование других материалов, где при помощи конструкторских документаций предъявляют: основные требования к материалам; обязательные и строгие требования к микроструктуре материалов для отливок из чугуна, требования к допускам формы и массы, формовочным формам уклонам и к удалению приливов и питателей.

Если все выше перечисленные требования строго соблюдаются при проведениях контрольных операций для фрикционных клиньев и они не влияют на качество сборки по конструктивным требованиям, то можно допустить небольшое количество наличия пригара и окаины в труднодоступных местах для очистки [3,4].

Не в каких случаях не допускаются и не подлежат исправлению такие дефекты на всех рабочих

поверхностях фрикционного клина гасителей колебаний как:

- горячие и холодные трещины;
- сквозные и литейные дефекты;
- не сваренные с основным компонентом металла холодильники и жеребейки.

Фрикционные виброгасители узла гашения колебаний введены в рессорную подвеску грузовых вагонов для обеспечения сил оказания сопротивления всему колебательному процессу у подрессоренных масс грузовых вагонов и уменьшения амплитуды при резонансах. Работа всех деталей, входящих в основной узел гашения колебаний, является основной составляющей для определения надежности, ресурса межремонтного пробега тележек грузовых вагонов [5,6]. В фрикционных узлах гасителя колебаний для тележек грузовых вагонов создается силы трения необходимые для сопротивления возникшим колебаниям и вибрациям обрессоренных частей грузовых вагонов, возникающими в узлах гашения колебаний, при относительном смещении трущихся рабочих поверхностей деталей у фрикционного клина и фрикционной планки. Такие передаваемые усилия могут быть постоянными или переменными за один цикл, в зависимости от конструктивных характеристик гасителей колебаний [7]. Важным преимуществом фрикционных узлов виброгасителей колебаний является их надежность и долговечность в процессе эксплуатации. Поэтому они нашли широкое применение при эксплуатации в рессорной подвеске тележек грузовых вагонов и буксовом подвешивании тележек для грузовых вагонов. К основным недостаткам таких гасителей колебаний можно отнести: недостаточную стабильность работы узла гашения, а также изменение характеристик гасителя колебаний. Фрикционные клинья обеспечивают силу трения, необходимую для подавления колебаний и вибраций. Их действие происходит при относительном смещении поверхностей, и создаваемые усилия могут быть переменными или постоянными. Их надежность и срок службы критичны для эффективности работы подвески грузового вагона. Среди недостатков таких узлов — нестабильность параметров при эксплуатации и невозможность регулирования силы трения.

4. Заключение

Анализ показал, что выбор материала оказывает значительное влияние на эксплуатационные свойства фрикционного клина. Наилучшие показатели наблюдаются при оптимальном соотношении химических элементов и соответствующем подборе марки чугуна. Учитывая воздействие рабочей среды, важными становятся свойства износостойкости и сопротивления схватыванию. Повышение ресурса клина может быть достигнуто за счёт совершенствования технологии изготовления, внедрения новых марок чугуна и контроля всех стадий производственного процесса.

Использованная литература / References

- [1] ГОСТ 9246- 2013 Межгосударственный стандарт тележки двухосные трехэлементные грузовых вагонов железных дорог колеи 1520 мм
- [2] ГОСТ1412-85 Чугун с пластинчатым графитом для отливок. Flake graphite iron for casting. Grades.
- [3] Челноков И.И., Вишняков Б.И., Гарбузов В.М., Эстлинг А.А. / Гасители колебаний вагонов. // М.: Трансжелдориздат, 1963.- 176 с.
- [4] Вершинский С.В., Данилов В.Н., Челноков И.И. Динамика вагона, м.: Транспорт, 1972. - 304 с.
- [5] Глушко М.И., Антропов А.Н. Работа пружинно-фрикционного комплекта тележки грузового вагона // Вестник ВНИИЖТ. 2004. №5. с. 41-44.
- [6] Шадур Л.А., Челноков И.И., Никольский Л.Н. 3-е изд. переработанный и дополненный. Вагоны: Учебник для вузов ж.-д. трансп. / М.: Транспорт, 1980 - 439 с.
- [7] Туракулов М.Р., [Турсунов Н.К.](#), [Алимухамедов Ш.П.](#), [Тоиров О.Т.](#), / Разработка эффективной технологии получения синтетического чугуна в индукционной тигельной печи // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2022. 6(99).

Информация об авторах/ Information about the authors

- Туракулов М.Р.** Ташкентский государственный транспортный университет, Узбекистан
m.r.turakulov1982@gmail.com
- Турсунов Н.К.** Ташкентский государственный транспортный университет, Узбекистан
m.r.turakulov1982@gmail.com

Development of rubber compounds for machine-building purposes

H.O. Samandarov¹, J.S. Sobirov¹, A. Ibadullaev¹, E.U. Teshabaeva¹, N.A. Sipatdinov²

¹Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

²Karakalpak state university named after Berdakh, Nukus, Karakalpakstan

Abstract: The influence of secondary raw materials of zinc production on the properties of rubbers based on SKI-3 and SKMS-30 ARKM-15 rubbers has been studied. The research results showed that when MCOM is introduced into SKI-3-based rubber compounds in the ratio zinc oxide +BCOM 2.5+2.5 and 1.0+4.0, there are practically no changes in the kinetics of vulcanization. When using MCOM individually as part of elastomeric compositions, the optimal vulcanization time is reduced by 1.19 times compared to a rubber compound containing zinc oxide. It can be every metal oxide in the MCOM composition that affects the vulcanization grid by its activity. For mixtures based on SKMS-30 ARKM-15, a similar dependence of the change in the kinetic parameters of vulcanization is observed as for mixtures based on polyisoprene when a combination of activators is introduced in the same proportions. However, with a further increase in the MCOM content in the rubber compound, the optimal vulcanization time is slightly reduced (by 1.07– 1.09 times) and an increase in the vulcanization rate is observed. Based on the results obtained, it was found that the introduction of VSOM into rubber compounds based on SKI-3 and SK(M)S-30 ARKM-15 in combination with zinc oxide in a ratio makes it possible to obtain rubber compounds and vulcanizates that are not inferior in properties to elastomeric compositions containing a traditional zinc oxide activator.

Keywords: Composition, kinetics, vulcanization, technology, activators, technical properties, polyisoprene, induction period, crosslinking, density, viscosity.

Разработка состав резины машиностроительного назначения

Самандаров Х.О.¹, Собиров Ж.С.¹, Ибадуллаев А.¹, Тешабаева Э.У.¹,
Сипатдинов Н.А.²

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

²Каракалпакский государственный университет имени Бердак, Нукус, Каракалпакстан

Аннотация: Исследованы влияние вторичное сырьё производства цинка на свойства резин на основе каучуков СКИ-3 и СКМС-30 АРКМ-15. Результаты исследований показали, что при введении МСОМ в резиновые смеси на основе СКИ-3 в соотношении оксид цинка+ВСОМ 2,5+2,5 и 1,0+4,0 практически не наблюдается изменений кинетики вулканизации. При использовании МСОМ в индивидуальном виде в составе эластомерных композиций оптимальное время вулканизации сокращается по сравнению с резиновой смесью, содержащей оксид цинка, в 1,19 раза. Это может быть каждый оксид металлов в составе МСОМ влияет на вулканизационной сетки по своим активности. Для смесей на основе СКМС-30 АРКМ-15 наблюдается аналогичная зависимость изменения кинетических параметров вулканизации, что и для смесей на основе полиизопренов при введении комбинации активаторов в тех же соотношениях. Однако при дальнейшем увеличении содержания МСОМ в резиновой смеси оптимальное время вулканизации несколько сокращается (в 1,07– 1,09 раза) и наблюдается увеличение скорости вулканизации. На основании полученных результатов установлено, что введение ВСОМ в резиновые смеси на основе СКИ-3 и СК(М)С-30 АРКМ-15 в комбинациях с оксидом цинка в соотношении позволяет получать резиновые смеси и вулканизаты, не уступающие по свойствам эластомерным композициям, содержащим традиционный активатор – оксид цинка.

Ключевые слова: Композиция, кинетика, вулканизация, технология, активаторы, технические свойства, полиизопрен, индукционный период, сшивка, плотность, вязкость.

1. Введение

Как известно [1-3], что применение активаторов вместе с ускорителями резиновых смесей на основе ненасыщенных каучуков влияет не только их на термоструктурирование, но и на технические свойства резины. Также значительного увеличения скорости сшивания в главном периоде с сохранением или увеличением индукционного периода наблюдается увеличение плотности сшивки вулканизационной сетки, снижение сульфидности поперечных связей, способствующее увеличению стойкости вулканизатов к воздействию повышенных температур.

Среди активаторов наиболее широко применяется оксид цинка и стеариновая кислота [4-6]. При изготовлении смесей сера, ускорители и жирные кислоты сорбируются на поверхности дисперсных частиц оксида цинка. В результате взаимодействия этих компонентов смеси друг с другом образуют комплекс вулканизирующих агентов. Дисперсные частицы их, сформировавшиеся у поверхности оксида цинка, приобретают кинетическую стабильность, адсорбируя их молекулы, и постепенно диспергируются в массе. Поверхностный слой их улучшает также совместимость серы с каучуком и способствует адсорбции макромолекулы эластомера на поверхности дисперсных частиц комплекс вулканизирующих агентов [7,8].

В свете вышеизложенного актуальной проблемой является использование в составе эластомерных композиции композиционных активаторов, содержащих одновременно комбинацию органических и неорганических на основе вторичных ресурсов. В то же время дефицитность оксида цинка и некоторое отрицательное влияние на окружающую среду предлагаемых вторичных продуктов требует разработки рецептур резиновых смесей с различными их содержаниями.

Поэтому цель данной работы определение влияния смеси оксидов металлов (композиционного активатора) отход производства цинка при частичной или полной замене оксида цинка на технологические и технические свойства резиновых смесей на основе СКИ-3 и СКМС-30АРКМ-15.

2. Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись стандартная резиновая смеси на основе каучуков СКИ-3 и СКМС-30АРКМ-15, вторичное сырьё производства оксида цинка. Смесей изготавливали на лабораторных вальцах, а также в смесительной камере пластикордера Брабендер типа PIY-151 объемом 75 см³ при частоте вращения роторов 30 мин⁻¹ и начальной температуре камеры 343±3К. Степень объемного заполнения камеры составляла 77%. Пластоэластические свойства резиновых смесей определяли по ГОСТ 1020-95— жесткость ЖД и эластическое восстановление ЭД по

Дефо; по ГОСТ 10722-94—вязкость по Муни (ML4-373 К) (вискозиметр MV 2000). Физико-механические свойства вулканизатов определяли в соответствующими ГОСТами.

3. Основная часть

Одним из важнейших технологических свойств резиновых смесей является определение их вязкости по Муни [5]. В табл. 1 представлены результаты исследования влияние оксидов металлов (BCOM) и его комбинации с оксидом цинком на вязкость резиновых смесей.

Таблица 1
Вязкость по Муни резиновых смесей на основе каучуков СКИ-3 и СКМС-30АРКМ-15

Наименование активаторов	Содержание активаторов, мас.ч.	Вязкость по Муни, усл. ед.	
		СКИ-3	СКМС-30АРКМ-15
Оксид цинка	5	8,3	28,2
BCOM	5	9,8	29,9
Оксид цинка+BCOM	2,5+2,5	8,7	30,8
Оксид цинка+BCOM	2,0+3,0	8,4	30,9
Оксид цинка+BCOM	1,0+4,0	10,0	29,5

Из представленных данных видно, что замена оксида цинка в резиновых смесях на вторичное сырьё производства цинка смеси оксидов металлов [6], приводит к некоторому увеличению вязкости по Муни на основе исследуемых каучуков. Так, для смеси на основе изопренового каучука, содержащей только оксид цинка, показатель вязкости равен 8,3 усл. ед. Муни, а для смесей с смеси оксидов металлов значение вязкости по Муни составляет 9,8 усл. ед. Аналогичная зависимость выявлена и для эластомерных композиций на основе бутадиен-стирольного каучука комбинации оксида цинка с смеси оксидов металлов. Такой характер изменения вязкости по Муни резиновых смесей, вероятно, может быть обусловлен особенностями взаимодействия поверхности вводимых активаторов и ингредиентов, входящих в состав резиновых смесей.

Известно [6,7], что определение вязкости по Муни резиновых смесей оказывается не всегда достаточным для установления всех особенностей переработки эластомерных композиций, поэтому применяют дополнительно релаксационные показатели. Специфику переработки каучуков и резиновых смесей определяют их вязкоупругие свойства, проявляющиеся в развитии высокоэластических деформаций, нарастающих до максимума и реализующих структурную релаксацию напряжений.

Для становление вышеизложенного изучали изменения релаксаций напряжений исследуемых эластомерных композиций от состава активаторов проводили на вискозиметре, который в течение минуты после остановки ротора фиксировал показания остаточного крутящего момента через небольшие промежутки времени. На основании полученных

данных, рассчитывается коэффициент релаксации (K_p), являющийся критерием оценки перерабатываемости каучуков и резиновых смесей (табл. 2).

В результате определены тангенс угла наклона касательной к графику релаксации через 1 с после остановки ротора ($\text{tg}\alpha'$) или наклон кривой релаксации в логарифмических координатах (α), является мерой скорости релаксации. При этом установлено, что увеличении содержания ВСОМ активатора в эластомерных композициях на основе СКМС-30АРКМ-15 коэффициент релаксации практически не изменяется (различие для композиций, содержащих оксид цинка и ВСОМ, составляет около 1%). В то же время для резиновых смесей на основе СКИ-3 выявлено, что применение в индивидуальном виде ВСОМ способствует облегчению релаксационных процессов, протекающих в эластомерной матрице. Так, значение коэффициента релаксации для резиновой смеси, содержащей промышленный активатор

вулканизации, составляет 79,0%, а для смеси с исследуемым активатором $K_p = 84,0\%$. Об увеличении скорости релаксации напряжений также свидетельствует изменение тангенса угла наклона кривой релаксации. В данном случае для композиции с оксидом цинка $\text{tg}\alpha' = -1,158$, а для смеси с композиционным активатором $-1,217$. Анализ полученных данных позволяет предполагать, что незначительное увеличение вязкости по Муни резиновых смесей на основе СКИ-3 и СКМС-30 АРКМ-15 при введении ВСОМ не приводит к ухудшению перерабатываемости эластомерных композиций, поскольку не наблюдается значительного изменения релаксационных показателей, характеризующих специфические особенности технологических свойств каучуков и резиновых смесей. При переработке эластомерных композиций важной характеристикой является стойкость резиновых смесей к преждевременной вулканизации.

Таблица 2

Показатели релаксации напряжений резиновых смесей

наименование активаторов	Содержание активаторов мас.ч.	Показатели релаксации резиновых смесей			
		СКИ-3		СКМС-30АРКМ-15	
		$\text{tg}\alpha'$	$K_p, \%$	$\text{tg}\alpha'$	$K_p, \%$
Оксид цинка	5	-1,158	79,0	-0,754	55,3
ВСОМ	5	-1,217	84,0	-0,688	54,8
Оксид цинка+ ВСОМ	2,5+2,5	-1,206	80,1	-0,644	54,7
Оксид цинка+ ВСОМ	2,0+3,0	-1,204	79,6	-0,667	54,4
Оксид цинка+ ВСОМ	1,0+4,0	-1,203	83,6	-0,687	54,4

Величина индукционного периода зависит от состава смеси и вулканизирующей системы, температурных параметров технологических процессов, а также режимов механического нагружения [8,9]. Для количественной оценки склонности резиновых смесей к подвулканизации используются показатели начала (t_s) и скорости подвулканизации (Δt). На основании полученных результатов выявлено, что использование МСОМ в составе эластомерных композиций способствует повышению стойкости к подвулканизации резиновых смесей. Следует отметить, что для резиновых смесей на основе СКИ-3, содержащих различные комбинации активаторов, изменение скорости подвулканизации незначительно по сравнению с композицией на основе СКМС-30 АРКМ-15. В данном случае основным фактором, снижающим стойкость резиновых смесей к подвулканизации, является природа эластомеров. Синтетические изопреновые каучуки имеют большую неопределенность по сравнению с бутадиен-стирольными каучуками [10], что, в свою очередь, способствует увеличению скорости сшивания макромолекул каучука. В то же время результаты исследований показали, что с увеличением содержания МСОМ в составе резиновых смесей на основе СКМС-30 АРКМ-15 скорость подвулканизации уменьшается в 1,2–1,5 раза.

Такой характер изменения свойств композиций, вероятно, связан с процессами образования действительного агента вулканизации, в котором

участвуют вулканизирующий агент, ускорители и активаторы вулканизации. В связи с тем, что содержание цинка в комбинациях меньше, чем при использовании только оксида цинка, а также ввиду сложного состава МСОМ, возможно, что при температуре проведения испытания скорость взаимодействия всех компонентов вулканизирующей системы меньше, чем в случае использования традиционных активаторов вулканизации. Помимо основного процесса образования поперечных связей в результате взаимодействия эластомера с вулканизирующим агентом происходят и побочные процессы – циклизации и модификации молекулярных цепей, перегруппировки образовавшихся вулканизационных связей, термической деструкции цепей эластомера и вулканизационных сетки [3-6].

Известно, что определение кинетических параметров вулканизации позволяет оценить влияние различных ингредиентов на изменение свойств эластомерных композиций в процессе формирования пространственной сетки вулканизата (табл. 3).

Таблица 3

Оптимальное время вулканизации (t_{90}) и скорость вулканизации (tRh) исследуемых резиновых смесей

Наименование активаторов	Содержание активаторов, мас.ч.	Резиновая смесь на основе			
		СКИ-3		СКМС-30АРКМ-15	
		t_{90} , мин	tRh , мин ⁻¹	t_{90} , мин	tRh , мин ⁻¹
Оксид цинка	5	14,50	1,48	45,15	0,70
ВСОМ	5	14,53	1,49	43,23	0,73

Оксид цинка+ BCOM	2,5+2,5	14,54	1,47	44,83	0,65
Оксид цинка+ BCOM	2,0+3,0	13,98	1,52	47,11	0,45
Оксид цинка+ BCOM	1,0+4,0	12,39	1,43	48,18	0,43

Результаты исследований показали, что при введении МСOM в резиновые смеси на основе СКИ-3 в соотношении оксид цинка+BCOM 2,5+2,5 и 1,0+4,0 практически не наблюдается изменений кинетики вулканизации. При использовании МСOM в индивидуальном виде в составе эластомерных композиций оптимальное время вулканизации сокращается по сравнению с резиновой смесью, содержащей оксид цинка, в 1,19 раза. Это может быть каждый оксид металл в составе МСOM влияет на вулканизационной сетки по своим активности. Для смесей на основе СКМС-30 АРKM-15 наблюдается аналогичная зависимость изменения кинетических параметров вулканизации, что и для смесей на основе полиизопренов при введении комбинации активаторов в тех же соотношениях. Однако при дальнейшем увеличении содержания МСOM в резиновой смеси оптимальное время вулканизации несколько сокращается (в 1,07– 1,09 раза) и наблюдается увеличение скорости вулканизации.

Активаторы вулканизации оказывают влияние не только на кинетику вулканизации резиновых смесей, но и на упруго- прочностные свойства резин за счет изменения плотности сшивки вулканизата и сульфидности поперечных связей (табл.4). Из таблицы видно, что увеличение содержания BCOM в состав резиновых смесей на основе исследуемых каучуков приводит к увеличению условной прочности при растяжении резин. При этом следует отметить, что в случае введения комбинации значение данного показателя уменьшается, однако, находится в пределах погрешности допустимых. Такой характер изменения свойств резин на основе используемых каучуков при введении BCOM, вероятно обусловлен не только особенностями строения эластомерной матрицы, но и различиями структуры полученного вулканизата, а именно плотностью поперечной сшивки и энергией образующихся связей между макромолекулами каучука.

Таблица 4

Условная прочность при растяжении (f_p) и относительное удлинение при разрыве (ϵ_p) исследуемых резин

Наименование активаторов	Содержание активаторов, мас.ч.	Резиновая смесь на основе			
		СКИ-3		СКМС-30АРKM-15	
		f_p , МПа	ϵ_p , %	f_p , МПа	ϵ_p , %
Оксид цинка	5	17,6	990	1,9	530
BCOM	5	19,9	910	2,2	480
Оксид цинка+ BCOM	2,5+2,5	19,0	950	2,0	520
Оксид цинка+ BCOM	2,0+3,0	19,2	965	2,0	520
Оксид цинка+ BCOM	1,0+4,0	19,5	980	2,1	490

Показано, что при использовании BCOM совместно с оксидом цинком, применяемыми при производстве, можно получить композицию с определенными свойствами. Если его содержание индивидуально увеличить по сравнению с оксидом цинком в композиции, то физико-механические свойства композитов постепенно улучшаются. Управляя этим процессом, то есть в результате изменения их содержание, можно получать эластомерные композиции с заданными технологическими, техническими и эксплуатационными свойствами и резинотехнические изделия на их основе. Известно, что эластомерные композиции, используемые в производстве, состоят из каучука и ингредиентов, отличающихся друг от друга по химическому составу, активности и структуре. По этой причине для изучения влияния BCOM были выбраны рецептуры эластомерные композиции имеющиеся в производстве с целью изучения совместимости ингредиентов, используемых в производстве, и свойства резинотехнических изделий на их основе. В результате установлено, что при применении BCOM в эластомерные композиции их эксплуатационные свойства не отличаются от используемых в настоящее время составов и улучшаются по некоторым показателям до 30%, а также показано, что они соответствуют требованиям ТР, ТУ, ГОСТ, ОСТ (табл. 5).

Таблица 5

Технологические и эксплуатационные свойства производственных рецептур для получения текстильных и металлокаркасных резинотехнических изделий на основе каучука СКМС-30АРKM-15

Наименование показателей	Текстилькаркасная композиция		Металлокаркасная композиция	
	По ГОСТу	BCOM	По ГОСТу	BCOM
P, отн. с	0,35	0,30	0,40	0,35
f_p , МПа	9,2	12,6	3,6	5,9
$E_{отп}$, %	320	260	200	180
$F_{изг}$, %	8	4	4	4
$P_{из}$, кН/м	42	58	44	57
Вязкость (ВН-5006, масса 1,5), кг.	1,06	1,28	1,20	1,36
Адгезионная прочность, МПа	0,80	1,44	0,74	1,14

Как видно из таблицы, использование в составе BCOM вместо активатора оксида цинка позволило создать структуру для получения резинотехнических изделий с новыми показателями и условиями, то есть показано, что, изменяя содержание каучука, ингредиентов и BCOM, можно получать эластомерную композицию с высокими технологическими, техническими и эксплуатационными свойствами.

4. Заключение

Таким образом, на основании полученных результатов установлено, что введение BCOM в резиновые смеси на основе СКИ-3 и СК(М)С-30 АРKM-

15 в комбинациях с оксидом цинка в соотношении позволяет получать резиновые смеси и вулканизаты, не уступающие по свойствам эластомерным композициям, содержащим традиционный активатор – оксид цинка. Снижение содержания дорогостоящего и экологически не безопасного компонента в составе резиновых смесей может способствовать повышению рентабельности продукции и уменьшению загрязнения окружающей среды.

Использованная литература / References

- [1] Корнев А. Е., Буканов А. М., Швердяев О. Н. Технология эластомерных материалов; под ред. А. Е. Корнева. М.: Истерик, 2009. 504 с.
- [2] Технология резины: рецептуростроение и испытания / под ред. Дика Дж. С.; пер. с англ. под ред. Шершенева В. А. СПб.: Научные основы и технологии, 2010. 620 с.
- [3] Ibadullaev A., Maxsetbaev E., Babaev A. Properties of elastomer compositions with the application of visual residue of gas pyrolysis resin as a plasticizer // AIP Conference Proceedings, 2024, 3045 (1), 060005, <https://doi.org/10.1063/5.0197534> (Scopus).
- [4] Shershev V.A. Razvitiye predstavleniy o roli aktivatorov sernoy vulkanizatsii yglevodeorodnix elastomerov. [Development of representations of the role of activators sulfur cured hydrocarbon elastomers]. Part 1. *Kauchuk i rezina.*, 2012, no. 1, pp. 31-36. (In Russ.).
- [5] Heideman G., Noordermeer J.W.M., Datta R.N., Van Baarle B. Zinc Loaded Clay as activator in Sulfur Vulcanization: A New Route for Zinc Oxide, *Rubber Chem. Technol.*, 2004, no. 77, pp. 336-342.
- [6] Karmanova O.V., Popova L.V., Poimenova O.V.. Sozdanie aktiviruyushix sistem dlya effektivnoy vulkanizatsii elastomerov [Creation of activating systems for effective vulcanization of elastomers] *Vestnik VGTUIT*, 2014, no. 3, pp. 126-129
- [7] Rogativa T.V., Shumskii V.F., Kutianina V.S., Getmanchuk I.P. et al. The Effect of technological additive Technol on the rheological properties of styrenebutadiene rubber. *Kauchuk i rezina.*, 2004, no. 3, pp. 24-28.
- [8] H. Chen, C. Wang, C. Hu, J. Zhang, S. Gao, W. Lu, L. Chen, Vulcanization accelerator enabled sulfurized carbon materials for high capacity and high stability of lithium-sulfur J. Mater. Chem. A 3 (4) (2015) 1392–1395. DOI: 10.1016/j.cej.2020.124378
- [9] S. Liu, J. Yu, K. Bikane, T. Chen, C. Ma, B. Wang, L. Sun, Rubber pyrolysis: kinetic modeling and vulcanization effects, *Energy* 155 (2018) 215–225. DOI: 10.1016/j.cej.2020.124378
- [10] Тешабаева Э.У., Ахмаджонов С.А., Турсуналиев М.М., Эргашева Х.Т. Gaz pyrolysis resin as a plasticizer for composite elastomer materials. In E3S Web of Conferences (Vol. 383, p. 04036). EDP Sciences. (2023).

Информация об авторах/ Information about authors

Самандаров. Х.О	Инженерия железных дорог, Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент E-mail: xushnudbek6600@mail.ru
Собиров. Ж.С	Инженерия железных дорог, Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент E-mail: xushnudbek6600@mail.ru
Ибадуллаев. А	Инженерные коммуникации и системы, Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент E-mail: ibadullayev1957@bk.ru
Тешабаева. Э.У	Естественные науки, Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент E-mail: elmira-teshaboyeva@mail.ru
Спандинов Н.А	Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент sipatdinov.nuratdin@mail.ru

Classification characteristics of furniture products

D.M. Khodzhikoriev¹, M.G. Khamrakulov², Z.S. Sayfullaeva², G. Khamrakulov²

¹ Uzbek Agency for Technical Regulation, Uzbekistan

² Tashkent Institute of Chemical Technology, Uzbekistan

Abstract: The article examines the classification characteristics of furniture products from the standpoint of a functional-structural approach. An analysis of regulatory sources and the current state of furniture production is conducted. Tables on the main classification features are presented and visualization schemes are proposed. The work can be useful for specialists in the furniture industry, teachers and students of specialized fields

Keywords: classification, furniture, chipboard, MDF, HDF, product code, product nomenclature

Классификационные характеристики мебельной продукции

Ходжикариев Д.М.¹, Хамракулов М.Г.², Сайфуллаева З.С.², Хамракулов Г.²

¹ Узбекское агентство по техническому регулированию, Узбекистан

² Ташкентский химико-технологический институт, Узбекистан

Аннотация: В статье рассматриваются классификационные характеристики мебельной продукции с позиции функционально-структурного подхода. Проведен анализ нормативных источников и современного состояния мебельного производства. Представлены таблицы по основным признакам классификации и предложены схемы визуализации. Работа может быть полезна для специалистов мебельной отрасли, преподавателей и студентов профильных направлений.

Ключевые слова: классификация, мебель, ДСП, МДФ, ХДФ, товарный код, товарная номенклатура

1. Введение

Мебельная продукция играет ключевую роль в обеспечении комфорта, эргономики и функциональности интерьеров. Разнообразие конструкций, материалов и назначений требует применения четкой системы классификации. Правильная классификация обеспечивает эффективное проектирование, производство, логистику, стандартизацию и таможенное оформление. Цель данного исследования — систематизировать основные классификационные характеристики мебельной продукции, применяемые в промышленности и нормативной документации. Современное мебельное производство отличается высокой вариативностью конструкций, назначений и материалов. Отсутствие единых подходов к классификации затрудняет стандартизацию, учет, логистику и таможенное оформление.

2. Методы

В данной работе применён аналитический метод исследования, основанный на сравнительном анализе действующих нормативных документов, регулирующих требования к соответствующей продукции. Для

систематизации и структурирования информации использовался подход классификации характеристик по независимым признакам, что позволило обеспечить объективность и полноту анализа. В частности, характеристики продукции были распределены по следующим ключевым критериям: назначение изделия, особенности конструктивного исполнения, тип используемых материалов, условия и место эксплуатации, а также метод производственного изготовления. Такой подход обеспечил возможность выявления закономерностей и различий между различными типами продукции, а также дал основания для формирования выводов о соответствии конкретных образцов установленным требованиям и стандартам.

3. Результаты и их обсуждения

Классификация мебели осуществляется на основе различных признаков, таких как назначение, вид используемых материалов, эксплуатационные и функциональные характеристики, комплектность, способ и характер производства, степень деформации мягких элементов, а также конструктивно-технологические особенности изделий. По назначению мебель подразделяется на: бытовую – предназначенную для жилых помещений; мебель для общественных зданий – форма и конструкция которой зависят от

специфики функциональных процессов и характера деятельности учреждений (офисная, учебная, медицинская и др.); детскую мебель – форма, размеры и конструкция которой разрабатываются с учётом возрастных и антропометрических особенностей детей. По виду исходного материала различают: мебель из древесных материалов; мебель из полимерных материалов; металлическую мебель; а также комбинированные изделия, включающие элементы из нескольких материалов. По эксплуатационным признакам мебель классифицируют на: бытовую, конторскую (офисную), клубно-театральную, мебель для предприятий общественного питания, для парков культуры и отдыха, домов отдыха и пр. Каждая из этих категорий обладает специфическими параметрами, включая размеры, тип отделки, используемые материалы и уровень комфортности. По функциональному назначению бытовая мебель делится в зависимости от типа помещения, для которого она предназначена: мебель для жилых комнат (гостиной, спальни, кабинета); кухонная мебель; мебель для прихожей, ванной комнаты, террасы и других помещений. Такой подход к классификации позволяет более точно учитывать потребности потребителей, условия эксплуатации и требования к эргономике, гигиене и эстетике мебельных изделий. По комплектности различают мебель штучную (отдельные предметы) и комплектную (наборы для одно-, двух- и трехкомнатных квартир и гарнитуры для спальни, столовой, кабинета и др.) [2]. Все предметы, входящие в комплект, должны иметь единое архитектурно-композиционное решение, т.е. должны быть выполнены из однородных видов древесины, с отделкой одного вида и одинаковой категории. К комплектности относится и универсально-сборная мебель, которую изготавливают из унифицированных щитов или объемных элементов различного назначения путем сочетания их по ширине и высоте. По характеру производства мебель делят на экспериментальную, серийную и массовую по способу производства на столярную, гнутую (с использованием гнуклеенных элементов), плетеную и прессованную, формованную, штампованную и литую металла и пластмасс). По наличию мягкого элемента и величине его деформации и податливости под нагрузкой, которая зависит от вида оснований, упругой части и мягкого настила, мебель делят на жесткую и мягкую. К жесткой относится мебель с элементами без настила или с настилом толщиной до 10 мм. Категорию мягкости определяют в зависимости от назначения мебели. Например, мебель первой категории мягкости предназначена для длительного отдыха в положении лежа, второй и третьей для кратковременного отдыха в положении лежа и для отдыха в положении сидя.

По конструктивно-технологическому признаку мебель делят на встроенную, передвижную, трансформируемую, универсально-сборную, брусковую, корпусную, разборную, неразборную, складную, секционную, стеллажную, комбинированную и др. [3].

Таблица 1

Классификация по функциональному назначению

Группа мебели	Примеры изделий	Особенности
Для сидения и лежания	Стулья, диваны, кровати	Эргономика, мягкие элементы
Для хранения	Шкафы, комоды, стеллажи	Корпусная конструкция
Рабочая мебель	Столы, парты, компьютерные столы	Плоские поверхности
Многофункциональная	Трансформеры, модульные системы	Возможность трансформации
Специальная	Медицинская, школьная, лабораторная	Соответствие требованиям ГОСТ

Таблица 2

Классификация по материалам

Тип материала	Примеры	Преимущества	Недостатки
Древесные плиты	ДСП, МДФ, фанера	Доступность, технологичность	Склонность к повреждениям
Массив дерева	Дуб, сосна	Прочность, натуральность	Высокая стоимость
Металлы	Сталь, алюминий	Прочность, долговечность	Вес, необходимость защиты
Полимеры	Пластики, акрил	Легкость, влагостойкость	Меньшая экологичность
Комбинированные	Дерево-металл, стекло	Эстетика, функциональность	Сложность переработки

4. Выводы

Таким образом, систематизация мебельной продукции по перечисленным характеристикам позволяет эффективно управлять жизненным циклом изделия — от проектирования до утилизации. Классификация облегчает выбор мебели в зависимости от требований потребителя, условий эксплуатации и стандартов безопасности. Также она способствует унификации в документации и международной торговле, особенно при применении кодов ТН ВЭД. Отдельного внимания заслуживает тенденция к многофункциональности и трансформируемости,

актуальная для условий ограниченного пространства. Разработка и применение классификационных характеристик мебели является основой рационального подхода к её производству, сертификации и потреблению. Предложенная структура классификации может быть использована как в образовательной, так и в производственной среде, а также при разработке новых нормативных.

Использованная литература / References

[1] Р.А.Бандурин. Особенности товароведческой экспертизы мебельных товаров в таможенном деле. Научный журнал «Экономика. Социология. Право» 2017, №2(6)

[2] Д.М.Ходжикариев, М.Г.Хамракулов, З.С.Сайфуллаева, Г.Х.Хамракулов Перспективы развития конкурентоспособной мебельной промышленности в Республике Узбекистане. Материалы X Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы химии товаров и народной медицины». Андижан, 2023, стр 121-122

[3] Khodzhikariev D. [и др.].Commods research and classification characteristics of furniture products // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2023. 12(117). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/16454>

[4] Д.М.Ходжикариев, М.Г.Хамракулов, З.С.Сайфуллаева, Г.Х.Хамракулов. О гармонизации национальных норм технического регламента «О безопасности мебели» с международными стандартами// Journal of Chemistry of Goods and Traditional Medicine, Volume 2, Issue 5, 2023.

Информация об авторах/ Information about the author

Ходжикариев Д.М	Узбекское агентство по техническому регулированию, Узбекистан Электронная почта: tr@standart.uz https://orcid.org/0009-0001-7479-7812
Хамракулов М.Г	Ташкентский химико- технологический институт, Узбекистан Электронная почта: khamrakulovtkti@gmail.com https://orcid.org/0000-0002-3521-9163
Сайфуллаева З.С	Ташкентский химико- технологический институт, Узбекистан Электронная почта: zdaminkhonova@gmail.com https://orcid.org/0000-0002-9160-0866
Хамракулов. Г	Ташкентский химико- технологический институт, Узбекистан Электронная почта: hamroqulov0305@gmail.com https://orcid.org/0000-0001-8291-3927

Commodity research of furniture products

D.M. Khodzhikoriev¹, M.G. Khamrakulov², Z.S. Sayfullayeva², G. Khamrakulov²

¹ Uzbek Agency for Technical Regulation, Uzbekistan

² Tashkent Institute of Chemical Technology, Uzbekistan

Abstract: This article presents systematized information on the classification of furniture and structural materials used in its manufacture, taking into account the generally accepted classification features used in the theory and practice of furniture production. Particular attention is paid to the main classification criteria, such as the functional purpose of the products, design features, raw materials and materials used, as well as technological features of production. In addition, the work considers approaches to the classification of furniture and related materials in the context of the commodity nomenclature of foreign economic activity (CN FEA) of the Republic of Uzbekistan. Examples of coding various types of furniture and materials in accordance with the CN FEA are given, which contributes to more accurate identification of products in foreign trade operations and ensures compliance with the requirements of national and international legislation in the field of customs regulation. Thus, the article is a generalized analysis of classification approaches aimed at simplifying the processes of accounting, certification and quality control of furniture products, both in the domestic market and in the field of foreign economic activity.

Keywords: classification, furniture, particle board, MDF, HDF, product code, commodity nomenclature

Товароведческое исследование мебельной продукции

Ходжикариев Д.М.¹, Хамракулов М.Г.², Сайфуллаева З.С.², Хамракулов Г.²

¹ Узбекское агентство по техническому регулированию, Узбекистан

²Ташкентский химико-технологический институт, Узбекистан

Аннотация: В данной статье представлены систематизированные сведения, касающиеся классификации мебели и конструктивных материалов, применяемых при её изготовлении, с учётом общепринятых классификационных признаков, используемых в теории и практике мебельного производства. Особое внимание уделено основным критериям классификации, таким как функциональное назначение изделий, особенности конструкции, используемое сырьё и материалы, а также технологические особенности производства. Кроме того, в работе рассмотрены подходы к классификации мебели и соответствующих материалов в контексте товарной номенклатуры внешнеэкономической деятельности (ТН ВЭД) Республики Узбекистан. Приведены примеры кодирования различных видов мебели и материалов в соответствии с ТН ВЭД, что способствует более точной идентификации продукции при внешнеторговых операциях и обеспечивает соответствие требованиям национального и международного законодательства в области таможенного регулирования. Таким образом, статья представляет собой обобщённый анализ классификационных подходов, направленных на упрощение процессов учёта, сертификации и контроля качества мебельной продукции, как на внутреннем рынке, так и в сфере внешнеэкономической деятельности.

Ключевые слова: классификация, мебель, ДСП, МДФ, ХДФ, товарный код, товарная номенклатура

1. Введение

Мебельная продукция является важным элементом как внутреннего, так и внешнеэкономического товарооборота. Для эффективного управления производственными, логистическими и таможенными процессами требуется чёткая и унифицированная система классификации мебели и используемых при её

производстве материалов. Актуальность темы обусловлена необходимостью приведения национальных стандартов и номенклатур в соответствие с международными требованиями, а также оптимизацией учёта и сертификации продукции

В последние годы мебельная промышленность демонстрирует устойчивый рост, сопровождающийся внедрением передовых технологий производства и

использованием инновационных материалов. Эти изменения способствовали модернизации конструкции мебели: всё большую популярность приобретают универсально-сборные, встроенные и трансформируемые модели, что особенно актуально для обустройства ограниченного жилого пространства.

Кроме того, лёгкая промышленность освоила выпуск художественной мебели, отличающейся высоким уровнем эстетики и комфорта. Вместе с традиционными изделиями простой формы потребителям предлагаются образцы с улучшенной фурнитурой и декоративной отделкой, ориентированные на повышенные требования к дизайну. Рост объёмов производства сопровождается повышенным вниманием к функциональности, удобству и гигиеничности изделий. Благодаря техническому обновлению отрасли, была проведена модернизация действующих производств и построены новые предприятия. Особое внимание уделяется формированию оптимального ассортимента продукции на основе анализа рыночного спроса. Разработка различных стилевых решений и модельных вариаций позволяет потребителям регулярно обновлять интерьер, не реже одного раза в 4–5 лет. [1].

В последние годы ведётся активная работа по разработке нормативной документации, регулирующей различные аспекты мебельного производства. Приняты и действуют стандарты международного (ISO), регионального (TR), межгосударственного (ГОСТ), а также национального уровня (O'zDSt, Ts), охватывающие вопросы проектирования, типоразмеров, требований к качеству и методам оценки мебели. Особое внимание уделяется формированию единой системы стандартизации, включающей типовые конструкции, унифицированные размеры, элементы и узлы мебели, а также регламенты по режимам её изготовления, используемому оборудованию, инструментам и средствам технического контроля.

Для ключевых конструктивных компонентов и функциональных размеров мебели установлены обязательные требования, закреплённые в соответствующих ГОСТах, что способствует повышению качества, безопасности и совместимости изделий при массовом производстве.

Целью исследования является рассмотрение классификационных характеристик мебельной продукции и конструктивных материалов для изготовления мебели в соответствии с товарной номенклатурой внешнеэкономической деятельности Республики Узбекистан. Объектами исследования являются классификационные признаки мебельной продукции и конструктивных материалов для изготовления мебели, а также товарной позиции 4410, 4411, 9401, 9402, 9403 товарной номенклатуры внешнеэкономической деятельности Республики Узбекистан.

2. Методы

В работе использован аналитический метод с применением сравнительного анализа нормативных документов, регламентирующих требования к классификации мебели. Классификация осуществлялась по ряду независимых признаков: функциональному назначению, конструктивным особенностям, материалам изготовления, месту эксплуатации и технологии производства. Кроме того, проведено сопоставление классификационных признаков с кодами товарной номенклатуры внешнеэкономической деятельности (ТН ВЭД) Республики Узбекистан.

3. Результаты и их обсуждения

Основу сырьевой базы современного мебельного производства составляют различные виды древесных плит. Эти материалы представляют собой конструкционные, изоляционные и отделочные изделия, получаемые путём переработки натуральной древесины с использованием связующих компонентов, технологий склеивания, прессования и других методов обработки.

В зависимости от способа изготовления древесные материалы классифицируются на следующие основные группы: прессованная древесина, пропитанная древесина, слоистая клеёная древесина, древесные пластики, древесные плиты. Такая классификация позволяет рационально подбирать материалы в зависимости от назначения мебели, требований к её прочности, внешнему виду и эксплуатационным характеристикам. (табл.1).

Таблица 1

Раздел IX. Древесина и изделия из нее; древесный уголь; пробка и изделия из нее; изделия из соломы, альфы или из прочих материалов для плетения; корзиночные и другие плетеные изделия[4].	
Группа 44. Древесина и изделия из нее; древесный уголь	
4410	плиты древесно-стружечные, плиты с ориентированной стружкой (osb) и аналогичные плиты (например, вафельные плиты) из древесины или других одревесневших материалов, не пропитанные или пропитанные смолами или другими органическими связующими веществами
4411	плиты древесно-волоконистые из древесины или других одревесневших материалов с добавлением или без добавления смол или других органических веществ

Мебель в ТН ВЭД РУз классифицируется в группе 94. В данной группе термин "мебель" означает любые "передвижные" изделия (за исключением входящих в более специфические товарные позиции ТН ВЭД),

главной характерной особенностью которых является то, что они сконструированы для размещения на полу или на земле и которые используются в основном в утилитарных целях, для интерьера частных домов, гостиниц, театров, кинотеатров, контор, церквей, школ, кафе, ресторанов, лабораторий, больниц, стоматологических кабинетов и т.д., а также для интерьеров судов, летательных аппаратов, железнодорожных вагонов, моторных транспортных средств, жилых прицепов или аналогичных транспортных средств. Необходимо отметить, что в данной группе товары считаются "передвижной" мебелью, даже если они предназначены для привинчивания и т.д. к полу, например, стулья, устанавливаемые на судах. Аналогичные товары (кресла, стулья и т.д.) для размещения в садах, на площадях, местах для гулянья и т.д. также относятся к данной категории.

В группу 94 ТН ВЭД включаются следующие товарные позиции:

1. Вся мебель и ее части (товарные позиции 9401 - 9403).

2. Матрачные основы, матрасы и прочие постельные принадлежности или аналогичные изделия мебелировки, с пружинами, набитые любыми материалами или состоящие из пористой резины или пластмассы, с покрытием или без покрытия (товарная позиция 9404).

3. Лампы, осветительное оборудование и их части, в другом месте не поименованные или не включенные, из любого материала, световые вывески, световые таблички с именем или названием, или адресом и аналогичные изделия, имеющие встроенный источник света, и их части, в другом месте не поименованные или не включенные (товарная позиция 9405).

4. Сборные строительные конструкции (товарная позиция 9406), в соответствии с Пояснениями к ТН ВЭД РУз, это строения, полностью изготовленные на предприятии или поставляемые как совокупность представленных вместе элементов, собираемых на месте, например: жилые или производственные помещения, конторы, школы, магазины, навесы, гаражи или аналогичные строения (табл. 2).

Следует отметить, что в товароведении такие изделия, как лампы, люстры и прочее светотехническое оборудование, не включаются в ассортимент мебельной продукции. С точки зрения классификации, под мебелью обычно понимаются изделия, предназначенные для сидения или лежания в бытовых и иных условиях. Интересным аспектом является различие в подходах товароведения и таможенного дела. Так, например, душевые кабины и ванны в товароведении могут условно рассматриваться как мебель, тогда как в таможенной классификации они отнесены к совершенно иным товарным группам.

Таблица 2

Раздел XX. Разные промышленные товары	
<u>Группа 94. Мебель; постельные принадлежности, матрасы, основы матрацные, диванные подушки и аналогичные набивные принадлежности мебели; светильники и осветительное оборудование, в другом месте не поименованные или не включенные; световые вывески, световые таблички с именем или названием, или адресом и аналогичные изделия; сборные строительные конструкции</u>	
9401	Мебель для сидения (кроме указанной в товарной позиции 9402), трансформируемая или не трансформируемая в кровати, и ее части
9402	мебель медицинская, хирургическая, стоматологическая или ветеринарная (например, операционные столы, столы для осмотра, больничные койки с механическими приспособлениями, стоматологические кресла); парикмахерские кресла и аналогичные кресла с приспособлениями для вращения и одновременно для наклона и подъема; части вышеупомянутых изделий:
9403	мебель прочая и ее части:
9404	основы матрацные; принадлежности постельные и аналогичные изделия мебелировки (например, матрасы, стеганные одеяла, стеганные одеяла пуховые, диванные подушки, пuffy и подушки) с пружинами или набитые любыми материалами или состоящие из пористой резины или пластмассы, с покрытием или без покрытия:
9405	светильники и осветительное оборудование, включая прожекторы, лампы узконаправленного света, фары и их части, в другом месте не поименованные или не включенные; световые вывески, световые таблички с именем или названием, или адресом и аналогичные изделия, имеющие встроенный источник света, и их части, в другом месте не поименованные или не включенные:
9406	Сборные строительные конструкции

Товарная позиция «Вся мебель и её части» в рамках ТН ВЭД включает несколько субпозиций, таких как: мебель для сидения и её части, медицинская, стоматологическая и ветеринарная мебель, кресла для парикмахерских и их элементы, а также прочие виды мебели. Такая классификация имеет важное значение при осуществлении внешнеэкономической деятельности, поскольку напрямую влияет на код товара, применяемые пошлины и требования по сертификации[5].

Подсубпозиция мебели для сидения представляет собой разнообразие мебели по местам ее использования: моторные лодки, воздушный транспорт, трансформируемая в кровати, вращающаяся, плетеная, с деревянным и металлическим каркасом и ее части.

Подпозиция есть у мебели с разными материалами каркасов, она может быть обитая либо нет (прочая).

Подсубпозиция различной медицинских кресел делит ее на стоматологические, парикмахерские или аналогичные кресла и части к ним (подпозицией выделены только стоматологические кресла и их части) и прочую мебель. Отличительным признаком данной мебели являются ее функциональные особенности. Парикмахерские кресла товарной позиции 9402 ТН ВЭД должны обладать возможностями вращения и одновременно подъема и наклона. Однако функциональные возможности современных парикмахерских кресел не ограничиваются возможностями вращения, подъема и наклона. Они могут иметь также подвижные подголовники особой формы, подставки для ног, подлокотники, механизмы трансформации, ножные педали регулировки высоты сидения и т.д. Мебель для сидения, предназначенная для ожидающих клиентов, классифицируется в товарной позиции 9401 ТН ВЭД. Подсубпозиция прочей мебели субпозиции всей мебели делит ее по функциональному признаку (для учреждений, кухонная, спальная, для жилых помещений и магазинная) и материалу (металл, дерево, пластмасса, лоза, бамбук и т.п.). Подпозицией офисной мебели выделяются чертежные столы и прочая мебель с критерием высоты 80 см. Также подпозицией этой подсубпозиции отмечаются предназначенность для гражданской авиации и секционность для кухонной мебели. Субпозиция матрасов делит их на основы матрасные, собственно матрасы, спальные мешки и прочие (пуховые, перьевые). Матрасы могут быть из пористой резины или пластмассы, с покрытием или без покрытия и из прочих материалов (подпозиция - пружинные). Субпозиция осветительного оборудования предусматривает люстры и т.п. для освещения общественных мест, лампы электрические настольные, напольные или прикроватные, лампочки для украшения новогодних елок, неэлектрические лампы, световые вывески и их части (из стекла, из пластмассы и прочие).

Сборные строительные контракции детализируются в ТН ВЭД по материалу изготовления - древесина, черные металлы с подсубпозицией теплицы и прочее.

4. Выводы

Таким образом, в соответствии с ТН ВЭД Республики Узбекистан, основными классификационными признаками мебельной продукции являются: функциональное назначение, материал изготовления, место и цель использования, габаритные размеры (в частности, высота), а также наличие или отсутствие секционности (например, для кухонной мебели). Эти признаки позволяют более точно определить код товара и обеспечить корректную классификацию в рамках внешнеэкономической деятельности. Введение единой системы классификации с учетом требований ТН ВЭД способствует прозрачности, снижению вероятности ошибок в документации и упрощению таможенного контроля.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на автоматизацию классификационных процессов.

Использованная литература / References

- [1] С.Н. Деветаева И.И. Горбачев. Экспертиза качества мебели Учебное пособие. Саранск «Принт-издат» 2014. – 72 с
- [2] Р.А.Бандурин. Особенности товароведческой экспертизы мебельных товаров в таможенном деле. Научный журнал «Экономика. Социология. Право» 2017, №2(6)
- [3] Д.М.Ходжикариев, М.Г.Хамракулов, З.С.Сайфуллаева, Х.Хамракулов. Перспективы развития конкурентоспособной мебельной промышленности в Республике Узбекистане. Материалы X Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы химии товаров и народной медицины». Андижан, 2023, стр 121-122
- [4] Товарная номенклатура внешнеэкономической деятельности Республики Узбекистан (Версия 2022 года)
- [5] Ходжикариев Д.М., Хамракулов М.Г. Классификация ассортимента мебели в таможенных целях. Сборник трудов международной конференции “Международные инновационные подходы в образовании, перспективы и текущие проблемы развития совместного образования” Ташкент 2023. С. 266-267.

Информация об авторах/ Information about the authors

Ходжикариев Д.М	Узбекское агентство по техническому регулированию, Узбекистан Электронная почта: tr@standart.uz https://orcid.org/0009-0001-7479-7812
Хамракулов М.Г	Ташкентский химико- технологический институт, Узбекистан Электронная почта: khamrakulovtki@gmail.com https://orcid.org/0000-0002-3521-9163
Сайфуллаева З.С	Ташкентский химико- технологический институт, Узбекистан Электронная почта: zdaminkhonova@gmail.com https://orcid.org/0000-0002-9160-0866
Хамракулов. Г	Ташкентский химико- технологический институт, Узбекистан Электронная почта: hamroqulov0305@gmail.com https://orcid.org/0000-0001-8291-3927

Study of the influence of technological factors on the properties of acoustic composites containing natural fibers and targeted additives

S.S. Negmatov¹, T.U. Ulmasov¹, N.S. Abed¹, V.P. Sergienko², S.N. Bukharov²,
V.S. Tulyaganova¹, S.A. Bozorboev¹

¹The state institution "Fan va Tarakkiet", Uzbekistan

²Institute of Mechanics and Metal Polymer Systems of the National Academy of Sciences of Belarus named after V.A.Bely, Belarus

Abstract: This study investigates the influence of technological factors on the dynamic mechanical properties of acoustic composites containing natural fibers and targeted additives. Alternative binder formulations based on epoxy and phenol-formaldehyde resins, cured without the use of toxic polyethylene polyamine, have been developed. It was found that optimal curing regimes and the incorporation of nanomodifiers, particularly montmorillonite, improve the vibration damping and sound insulation properties of the materials. Reinforcement with short basalt fibers compensates for the reduction in elastic modulus. The results demonstrate the potential for creating eco-friendly, technologically advanced, and climate-resistant composites with tailored acoustic properties.

Keywords: Acoustic composites, epoxy resins, natural fibers, montmorillonite, phenol-formaldehyde resins, curing agents, dynamic mechanical properties, vibration damping, sound insulation.

Изучение влияния технологических факторов на свойства акустических композитов, содержащих природные волокна и целевые добавки

Негматов С.С.¹, Улмасов Т.У.¹, Абед Н.С.¹, Сергиенко В.П.², Бухаров С.Н.²,
Туляганова В.С.¹, Бозорбоев Ш.А.¹

¹Государственное учреждение «Фан ва тараккиёт», Узбекистан

²Институт механики и металл полимерных систем НАН Беларуси имени В.А.Белого, Беларусь

Аннотация: В работе исследовано влияние технологических факторов на динамические механические свойства акустических композитов, содержащих природные волокна и целевые добавки. Разработаны альтернативные составы связующих на основе эпоксидных и фенолформальдегидных смол, отверждаемых без использования токсичного полиэтиленполиамины. Установлено, что оптимальные режимы отверждения и введение наномодификаторов, в частности монтмориллонита, улучшают вибропоглощающие и звукоизолирующие свойства материалов. Армирование короткими базальтовыми волокнами компенсирует снижение модуля упругости. Полученные результаты демонстрируют возможность создания экологических, технологичных и устойчивых к климатическим воздействиям композитов с заданными акустическими характеристиками.

Ключевые слова: Акустические композиты, эпоксидные смолы, природные волокна, монтмориллонит, фенолформальдегидные смолы, отвердители, динамические механические свойства, вибропоглощение, звукоизоляция.

1. Введение

Синтетические полимерные связующие (матрицы) применение в составе композиционных материалов и строительных конструкций, в том числе работающих в условиях воздействия климатических факторов. При этом известные исследования в области старения полимеров демонстрируют, что большинство полимерных материалов существенно деградирует со

временем. Эти процессы в значительной мере ускоряются под воздействием агрессивных факторов окружающей среды и сопровождаются изменением химической и физической структуры полимеров. Известно, что свойства полимерных композитов, а также их стойкость к воздействию факторов окружающей среды во многом определяется типом отверждающей системы, поэтому важно оценивать климатическую стойкость полимерных материалов и определить наиболее эффективные типы отвердителей.

Применение традиционного типа отвердителей на основе полиэтиленполиаминов нежелательно из-за ряда недостатков, основными из которых является его токсичность, экзотермичность, низкая теплостойкость получаемых композиций. Главными технологическими недостатками эпоксидных смол при использовании полиэтиленполиаминного отвердителя являются плохое отверждение при низких температурах, а при массе отверждаемого компонента более 200 гр. – экзотермические процессы, которые приводят к разогреву готовой смеси до температуры выше 200°C, неконтролируемому порообразованию, вскипанию, дымлению и даже возгоранию. Другим нежелательным эффектом при отверждении композиций на основе эпоксидных смол полиэтиленполиаминными отвердителями является липкая поверхность, или покрытия, в "жирных" пятнах (карбомате) при температурах ниже 14 °C.

2. Объект и методики исследования

Известную на сегодняшний день альтернативу полиэтиленполиаминным отвердителям представляют отвердители аминного типа Etal-1440, Etal-1460, Etal-45M и др. Важным технологическим преимуществом этих отвердителей является в три раза большая жизнеспособность и значительно более низкая (около 60 °C) температура экзотермической реакции по сравнению с композициями, отверждаемыми полиэтиленполиамином. Тем не менее, эти отвердители сохраняют недостатки, связанные с так называемым «охрупчиванием», т.е. снижением относительного удлинения на 49-85% отвержденных эпоксидных композиций уже через 12 месяцев натурных испытаний под действием ультрафиолетового излучения в диапазоне 280÷2800 нм [1-5].

В рамках данной задачи предложены альтернативные способы отверждения используемых в составе разрабатываемых композитов полимерных связующих, реализующие принцип модифицирования эпоксидных смол другими смолами, в частности, фенольными. Помимо функции отверждения, предполагается, что это позволит создать смещенное связующее со структурой взаимопроникающих сеток, расширяющих эффективный диапазон вибропоглощения. Для замены стандартного полиэтиленполиаминного (PEPA) отвердителя разработаны экспериментальные составы отвердителей на базе спиртовых растворов фенолформальдегидных (PFR) и эпоксидных (ER) смол (Табл. 1).

Таблица 1

Композиции эпокси-фенольных связующих и технологические режимы отверждения

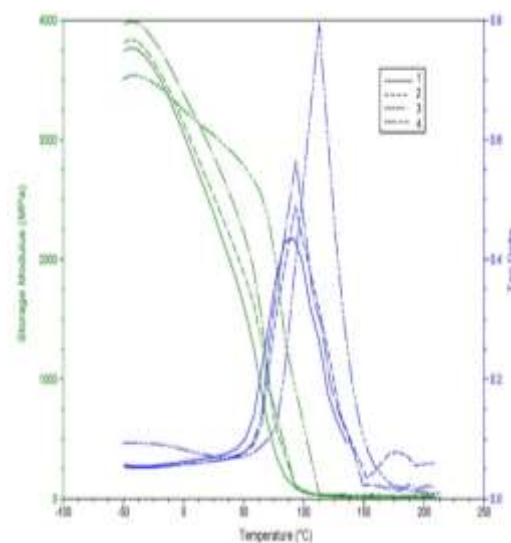
№	Состав полимерного связующего (соотношение долей компонентов)	Технологические режимы			
		Стадия отверждения		Стадия термообработки	
		Температура, °C	Время, мин	Температура, °C	Время, мин

1	PFR:ER (40:60)	50	240	100	1440
2	PFR:ER (50:50)	50	240	100	1440
3	PFR:ER (60:40)	50	180	100	1440

3. Результаты исследования и их обсуждение

Изучено влияние основных технологических факторов (температуры и времени) на стадии отверждения полимерных матриц на динамические механические характеристики. Экспериментальные данные, полученные методом нерезонансного динамического термического механического анализа (ДТМА) представлены на рис. 1 в сравнении со смолой, отвержденной стандартным отвердителем РЕРА.

Представленные на рисунке 1 температурные зависимости динамического модуля упругости показывают, что предложенные составы эпоксифенольных связующих и выбранные технологические режимы отверждения обеспечивают необходимый уровень механических характеристик, сопоставимый со смолой, отвержденной стандартным отвердителем РЕРА. При этом установлено, что предложенные составы комбинированные отвердители не проявляют технологические недостатки эпоксидных смол, связанные с экзотермическими процессами при отверждении.



1 – композиция PFR:ER (40:60); 2 – PFR:ER (50:50); 3 – PFR:ER (60:40) в соответствии с нумерацией табл. 3.; 4 – ER:PEPA (10:1)

Рис. 1. Динамические механические характеристики полимерных связующих акустических композитов в зависимости от массового соотношения компонентов и технологических факторов

Дальнейшие работы в рамках данной задачи, касающиеся исследованию влияния технологических факторов на динамические механические свойства композитов, содержащих природные волокна и целевые добавки (наномодификаторы, металлические

дисперсные частицы и т.д.). будут проводиться с использованием оптимизированных композиционных смесей. Известно, что влияние динамических механических характеристик композитов, т.е. способность ослаблять энергию колебаний в звуковом диапазоне частот выражается, главным образом, на звукоизоляционную характеристику материалов через два основных фактора – динамический модуль упругости (E_d) и коэффициент потерь ($\tan \delta$). Температурные и частотные зависимости E_d и $\tan \delta$ полимерных композитов определяются их химическим строением и молекулярной подвижностью, внутри- и межмолекулярным взаимодействием. При низких температурах, когда полимерная матрица композита находится в стеклообразном состоянии, E_d линейных аморфных полимеров могут достигать порядка нескольких ГПа. С повышением температуры и переходом в высокоэластичное состояние E_d полимеров снижаются до $10^5 - 10^6$ Па. Изменение состава и структуры композитов и входящих в них полимерных матриц существенно влияет на температурно-частотные динамические механические, и, как следствие, акустические характеристики композитов. В результате проведенных нами исследований были предложены рецептуры эпоксидных композитов, содержащих наноразмерные силикатные наполнители различного типа (рис. 2). При этом было установлено, что наиболее перспективным с точки зрения повышения вибропоглощения является использование монтмориллонита (MMR). При использовании других типов силикатных наполнителей отмечались менее значительные эффекты, сопровождающиеся как ростом, так и снижением вязкоупругих потерь. Введение в состав композита коротких базальтовых волокон в качестве армирующего наполнителя компенсирует нежелательное снижение E_d , связанное с введением монтмориллонита, и увеличивает его на 8,3% по сравнению с исходным составом (кривая V на рис. 2).

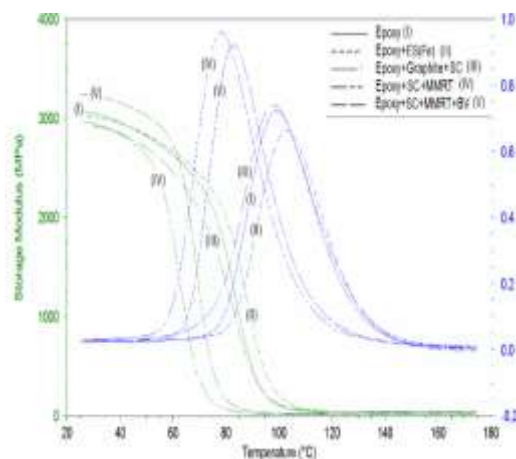


Рис. 2. Температурные зависимости динамических и механических характеристик эпоксидных композиций, содержащих различные типа наноразмерных силикатных наполнителей

На рисунке 3 представлены данные нерезонансного ДТМА E_d и $\tan \delta$ эпоксидных композиций,

отвержденных стандартным полиэтиленполиаминным отвердителем в зависимости от содержания силикатного нанонаполнителя MMR. Найденное оптимальное содержание данного модификатора на уровне 5% масс. обеспечивает увеличение $\tan \delta_{\max}$ до 30 % и смещение на $25 - 30^\circ\text{C}$ $T(\tan \delta_{\max})$ в область эксплуатационных температур.

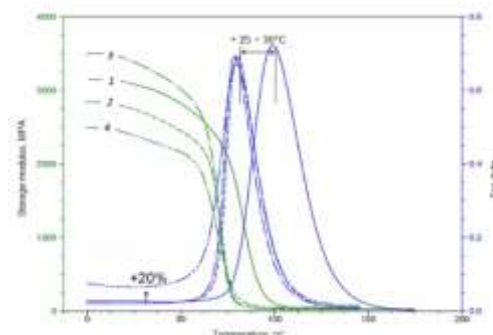
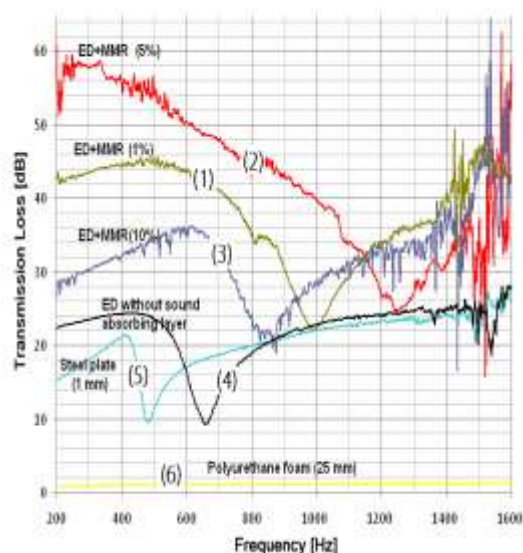


Рис. 3. Температурная зависимость динамического модуля упругости и коэффициента потерь эпоксидных композитов, содержащих MMR: 1 – эпоксидная смола без MMR; 2 – 1% MMR; 3 – 5% MMR; 4 – 10% MMR

На рисунке 4 представлены результаты измерений звукоизоляции (TL) 3-слойных шумопоглощающих сэндвич-структур типа «сталь – демпфирующий слой – звукопоглощающий слой», в которых наномодифицированные монтмориллонитом эпоксидные композиции, выполняющие роль промежуточного (адгезионного) слоя между стальной 1-мм пластиной и 10-мм волокнисто-пористым звукопоглощающим слоем.

Сопоставление данных динамического механического анализа с результатами акустических измерений показывает, что зависимости динамического модуля упругости в эксплуатационном диапазоне температур и звукоизолирующая способность композитов в широком диапазоне частот имеют корреляцию от содержания монтмориллонита, а его оптимальное содержание отмечается на уровне 5% масс. и обеспечивает максимальный (до 30 дБ) прирост звукоизолирующей способности по сравнению с немодифицированной композицией.



1, 2 и 3 – 1 wt.%, 5 wt.% и 10 wt.% соответственно; 4 – конструкция без звукопоглощающего слоя; 5 – стальная 1-мм пластина без демпфирующего и звукопоглощающего слоя; 6 – 25-мм слой стандартного звукопоглощающего материала (пенополиуретан средней плотности)

Рис. 4. Результаты измерений звукоизоляции (TL) 3-слойных акустических конструкций при различном содержании наномодификатора MMR в композиции промежуточного (демпфирующего) слоя

4. Вывод

Проведённые исследования подтвердили эффективность замены традиционного полиэтиленполиаминного отвердителя на комбинированные системы на основе эпоксидных и фенолформальдегидных смол. Такие связующие обеспечивают стабильные динамические механические характеристики без характерных технологических недостатков - перегрева, порообразования и низкой климатической стойкости. Установлено, что введение монтмориллонита в концентрации 5% масс. повышает коэффициент потерь и звукоизоляционные свойства композита, особенно в эксплуатационном температурном диапазоне. Армирование короткими базальтовыми волокнами компенсирует снижение модуля упругости. Таким образом, предложенные материалы являются технологичными, экологичными и обладают улучшенными акустическими характеристиками, что делает их перспективными для дальнейшего применения в строительстве и транспорте 1%.

Использованная литература / References

[1] Andronychiev D. O. et al. The influence of the hardener on the elastic-strength properties of epoxy

polymers exposed under natural conditions // Ogarev-Online. 2017. No. 11 (100).

[2] Sound absorption coefficient measurement methods in reverberation room and impedance tube. Darko Mihajlov, Momir Prašević, Petar Jovanović, Roumen Iankov, Nodira Abed. The Facta Universitatis, Series: Working and living environmental protection. Volume. 21, No1, 2024. DOI: [10.22190/FUWLEP240314001M](https://doi.org/10.22190/FUWLEP240314001M).

[3] Влияние обработки в магнитном поле на трибоакустические характеристики медьсодержащих полимерных фрикционных композитов В.П. Сергиенко, С.Н. Бухаров, А.Г. Анисович, В.К. Меринов, Н.С. Абед, А.Р. Алексиев. Трение и износ, 2024. - Т. 45, № 3. - С. 187-198 DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-3-187-198

[4] Promising Acoustic Materials to Reduce Noise and Improve the Environmental Situation in Production Facilities and Transportation. Nodira ABED, Roumen IANKOV, Alexander ALEXIEV, Aminjon BOZOROV, Sanjar SULTANOV, Sergey BUKHAROV, Maria DATCHEVA, Momir PRASCEVIC. Акустика. Издательство: Технически университет – София, 2024 г.

[5] Sound Absorption of Rice Husk as Promising Biomass Filler of Noise Reducing Composite. Nodira ABED, Alexander ALEXIEV, Sergey BUKHAROV, Roumen IANKOV, Momir PRASCEVIC, Darko MIHAJLOV. Акустика. Издательство: Технически университет – София, 2024 г.

Информация об авторах / Information about the authors

С.С. Негматов д.т.н., академик АН РУз, научный руководитель, Государственное учреждение «Фан ва тараккиёт»

Т.У. Улмасов д.т.н., с.н.с., заведующий лабораторией, Государственное учреждение «Фан ва тараккиёт»

Н.С. Абед д.т.н., профессор, директор, Государственное учреждение «Фан ва тараккиёт»

В.П. Сергиенко к.т.н., доц., начальник отдела "Фрикционное материаловедение", Институт механика и металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Б

С.Н. Бухаров к.т.н., доц., зав. лабораторией, Институт механика и металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Б

В.С. Туляганова д.т.н., с.н.с., начальник отдела, Государственное учреждение «Фан ва тараккиёт»

Ш.А. Бозорбоев PhD, зам. директора, Государственное учреждение «Фан ва тараккиёт»

Compilation of analysis of tribotechnically modified composite polymer materials and their physicochemical, tribotechnical properties used in mechanical engineering

N.S. Abed¹, M.N. Tukhtasheva², S.S. Negmatov¹, K.S. Negmatova¹, Sh.B. Kasimov¹, J.N. Negmatov¹, A.A. Abdukakhorov¹, I.I. Muradov¹, N.E. Ergashev¹

¹State institution "Fan and Tarakkiet", Tashkent, Uzbekistan

²Tashkent institute of Chemical technology, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: His scientific article provides a detailed description of the modern development trends of modified composite polymer materials used in mechanical engineering and other industries, their creation, tribotechnical properties, structural structure and practical application. The article presents the results of laboratory tests of polymer-based composite materials modified with organomineral fillers, their physicochemical and tribological properties. The use of composite materials is of particular importance for parts of machines and mechanisms operating under high friction and load conditions. Such materials reduce the coefficient of friction on surfaces, are wear-resistant, reduce the generation of static electricity and extend their service life. In particular, their use in the fields of cotton processing, chemical industry, agricultural machinery and energy significantly increases efficiency. The article also analyzes the possibilities of improving the tribotechnical properties of composite polymer materials through their physicochemical and mechanochemical modification on a scientific basis. Based on various structural components and their ratios, optimal composite compositions were developed, and the most suitable options were identified based on the results of experiments conducted in laboratory conditions. The composite polymer materials developed in this scientific work are considered one of the promising areas for the mechanical engineering industry.

Keywords: Composite polymer materials, tribotechnics, coatings, friction coefficient, wear, organomineral fillers, modification, mechanical engineering, physicochemical properties, mechanochemical changes, static electricity, high load, cotton industry, service life, optimal composition.

Mashinasozlikda qo'llaniladigan tribotexnik modifikatsiyalangan kompozitsion polimer materiallar va ularning fizik-mexanik, tribotexnik xususiyati tahlilini tuzish

Abed N.S.¹, To'xtasheva M.N.², Negmatov S.S.¹, Negmatova K.S.¹, Kasimov Sh.B.¹, Negmatov J.N.¹, Abdukaxorov A.A.¹, Muradov I.I.¹, Ergashev N.E.¹

¹ "Fan va Tarakkiet" davlat muassasasi, O'zbekiston

²Toshkent kimyo-texnologiya instituti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Ushbu ilmiy maqolada mashinasozlik va sanoatning boshqa tarmoqlarida qo'llaniladigan modifikatsion kompozitsion polimer materiallarning zamonaviy rivojlanish yo'nalishlari, ularning yaratilishi, tribotexnik xususiyati, tarkibiy tuzilmasi va amaliy qo'llanilishi atroflicha yoritilgan. Maqolada organomineral to'ldiruvchilar bilan modifikatsiyalangan polimer asosidagi kompozitsion materiallar, ularning fizik-mexanik va tribologik xossalari to'g'risida laboratoriya sinov natijalari keltiriladi. Kompozitsion materiallarning ishlatilishi, ayniqsa, yuqori ishqalanish va yuklama sharoitida ishlaydigan mashina va mexanizmlar qismlari uchun dolzarb ahamiyat kasb etadi. Bunday materiallar sirtlarda ishqalanish koeffitsientini pasaytiradi, yeyilishga chidamli, statik elektr hosil bo'lishini kamaytiradi va xizmat muddatini uzaytiradi. Ayniqsa, paxtani qayta ishlash, kimyo sanoati, qishloq xo'jaligi texnikasi va energetika sohalarida ularning qo'llanilishi samaradorlikni sezilarli darajada oshiradi. Shuningdek, maqolada kompozitsion polimer materiallarning fizik-kimyoviy, mexanokimyoviy modifikatsiyasi orqali ularning tribotexnik xossalari yaxshilash imkoniyatlari ilmiy asosda tahlil qilinadi. Turli tarkibiy komponentlar va ularning nisbati asosida optimal kompozitsion tarkiblar ishlab chiqilgan bo'lib, laboratoriya sharoitida o'tkazilgan tajribalar natijalari asosida eng maqbul variantlar aniqlangan. Ushbu ilmiy ishda ishlab chiqilgan kompozitsion polimer materiallar mashinasozlik sanoati uchun istiqbolli yo'nalishlardan biri sifatida qaraladi.

Kalit so'zlar: Kompozitsion polimer materiallar, tribotexnika, qoplamalar, ishqalanish koeffitsienti, yeyilish, organomineral to'ldiruvchilar, modifikatsiya, mashinasozlik, fizik-kimyoviy xossalari, mexanokimyoviy o'zgarishlar, statik elektr, yuqori yuklama, paxta sanoati, xizmat muddati, optimal tarkib

1. Kirish

Hozirgi davrda mashinasozlik, kimyo sanoati, qishloq xo'jaligi texnikasi, paxtani qayta ishlash korxonalari va boshqa tarmoqlarda yuqori ishga chidamlilik, energiya tejamlilik va ekspluatatsion ishonchlilikka ega bo'lgan yangi avlod materiallarga bo'lgan talab keskin ortib bormoqda. Ayniqsa, yuqori yuklamalarda, ishqalanish va aşınma sharoitlarida ishlaydigan mashina va mexanizmlar qismlarining ishlash muddati va samaradorligi ularning sirt materiallariga bevosita bog'liqdir. Shu boisdan ham, zamonaviy sanoat tarmoqlarida tribotexnik xossalari yuqori bo'lgan, ekologik xavfsiz va arzon kompozitsion polimer materiallarga ehtiyoj sezilarli darajada oshgan.

Kompozitsion polimer materiallarning tribotexnik xususiyatlari ya'ni, ishqalanish, yeyilish va moylash jarayonlarini o'rganish jarayonida foydalanilayotgan materiallarning fizik-mexanik va kimyoviy xossalari ularning ish faoliyatiga bevosita ta'sir ko'rsatadi. An'anaviy metall yoki qattiq qoplamalarga nisbatan, kompozitsion polimer materiallar engil vaznli, korroziyaga bardoshli, elektr izolyatsiyalovchi va past ishqalanish koeffitsientiga ega bo'lishi bilan ajralib turadi. Ayniqsa, ularning tarkibiga organomineral to'ldiruvchilar (masalan: talk, grafit, kaolin, bazalt tolasi) qo'shilishi orqali materialning tribotexnik va mexanik xususiyatlarini sezilarli darajada yaxshilash mumkin.

So'nggi yillarda olib borilgan ilmiy izlanishlar shuni ko'rsatmoqdaki, to'ldiruvchi komponentlar bilan modifikatsiyalangan polimer asosidagi kompozitsiyalar yuqori ishqalanish sharoitida aşınishga chidamli bo'lib, statik elektr hosil bo'lishini kamaytiradi, harorat barqarorligini oshiradi va ishchi qismlarning xizmat muddatini uzaytiradi. Masalan, bazalt tolasi bilan kuchaytirilgan epoksid kompozitsiyalarining yeyiluvchanligi oddiy polimerga nisbatan 2–3 baravar kamligi tajribaviy jihatdan isbotlangan. Shu bilan birga, grafit bilan boyitilgan polimer qoplamalar ishqalanish koeffitsientini 0.1–0.08 gacha pasaytirishga xizmat qiladi.

Ushbu maqolada, aynan mashinasozlikda qo'llaniladigan kompozitsion polimer materiallar va qoplamalarning tarkibini shakllantirish, ularning tribotexnik xossalari o'rganish, fizik-kimyoviy modifikatsiyasi hamda ularni amaliyotda qo'llash imkoniyatlari chuqur ilmiy tahlil qilinadi. Tadqiqotlar zamonaviy patent-litsenzion manbalar, laboratoriya sinovlari va sanoat tajribalari asosida olib borilgan bo'lib, kompozitsion materiallarning optimal tarkibi, ekspluatatsion imkoniyatlari hamda ularning sanoatdagi samaradorligi aniq misollar bilan ko'rsatib beriladi.

Mashinasozlikda qo'llaniladigan kompozitsion polimer materiallar va qoplamalarning tarkibini shakllantirish jarayonida quyidagi tahlillar ustida ish olib boriladi:

2. Adabiyotlar tahlili va patent-litsenzion manbalar ustida ish

Polimer kompozitsion materiallar sohasida oxirgi yillarda bir qator yutuqlar qayd etilgan bo'lib, ular orasida quyidagi yo'nalishlar dolzarb hisoblanadi:

Polimer matritsalar asosida ishlangan aralashmalar;
Organomineral to'ldiruvchilar (masalan, talk, grafit, kaolin, bazalt tolasi);

Anti-ishqalanish va yeyilishga chidamli qatlamlar.

So'nggi patentlar quyidagi yechimlarni o'z ichiga oladi:

Nanozarrachali to'ldiruvchilar bilan kuchaytirilgan qoplamalar;

Haroratga chidamli polimer asosidagi kompozitsiyalar;
Ehtiyot qismlar uchun mikrostrukturali modifikatsiyalar.

Kompozitsiya tarkibini ishlab chiqish va tahlil qilish

Kompozitsion materiallar quyidagi asosiy tarkibiy qismlardan iborat bo'ladi:

Polimer asos: Epoksi, poliamid, PTFE, PEEK;

To'ldiruvchi: Grafit, talk, metall oksidlar, tolalar (bazalt, uglerod, shisha);

Qo'shimchalar: Antioksidantlar, stabilizatorlar, sirt faol moddalar.

Laboratoriya sharoitida polimer-kompozitsion materiallarning quyidagi fizik-texnik xossalari aniqlanadi:

Ishqalanish koeffitsienti;

Haroratdagi barqarorlik;

Mexanik mustahkamlik (σ , E);

Mikrostrukturaviy tahlil (SEM, XRD, DSC metodlari bilan).

Tribotexnik xossalari va qoplamalarning optimallashtirishi

Qoplamaning ishlash muddati va sifati quyidagi omillarga bog'liq:

Qoplama qalinligi (50–300 mikron);

Sirt bilan o'zaro ta'sir kuchi;

Ishqalanish va aşınma sinovlari (GOST, ASTM standartlari asosida);

Statik elektr va termal deformatsiyaning kamayishi.

Optimal tarkib:

70% polimer matritsa

20% organomineral to'ldiruvchi

10% mustahkamlovchi tolali komponentlar

Modifikatsiya usullari

Fizik modifikatsiya: ultratovush, radiatsiya bilan ta'sir qilish;

Kimyoviy modifikatsiya: funktsional guruhlar qo'shish, sirt faol moddalar bilan ishlov berish;

Mexanokimyoviy usullar: silliqlash-payvandlash, kompozitsion qoplamaning sinxron ravishda to'ldirish.

Ilovalar va sinov natijalari

Paxta sanoatidagi ishqalanadigan qismlar (valiklar, qoziqchali qismlar);

Nasos va kompressorlar podshipniklari;

Mashinasozlikdagi yotqizilgan shaybalar, sirpanish yuzalari.

1-jadval

Statistik natijalar (misol uchun):

Material turi	Ishqalanish koef.	Yeyilish (mg)	Statik elektr (kV)
Polimer A	0.15	18	2.5
Kompozit B	0.08	9	0.8

3. Xulosa

Olib borilgan tadqiqotlar natijasida mashinasozlik sanoati va unga tutash sohalar uchun zamonaviy talablar asosida yaratilayotgan kompozitsion polimer materiallar va ularning qoplamalari yuqori tribotexnik xossalarga ega ekanligi isbotlandi. Ayniqsa, organomineral to'ldiruvchilar (grafit, kaolin, bazalt tolasi, talk va boshqalar) bilan modifikatsiyalangan polimer asosidagi kompozitsiyalar ishqalanishga chidamlilik, yeyilishga barqarorlik, statik elektr hosil bo'lishini kamaytirish va harorat ta'siriga nisbatan mustahkamlik kabi muhim xususiyatlarga ega bo'lishi aniqlandi.

Tajribalar shuni ko'rsatdiki, to'g'ri tanlangan tarkibiy nisbatlar asosida yaratilgan kompozitsion polimer materiallar an'anaviy metall qoplamalar o'rnini bosishga qodir. Bunday materiallar yordamida ishlab chiqilgan qoplamalar va butlovchi buyumlar mashina va mexanizmlarning ishonchiligi va xizmat muddatini sezilarli darajada oshiradi. Xususan, paxtani qayta ishlash, kimyo sanoati, qishloq xo'jaligi mashinalari kabi intensiv ish sharoitlarida materiallarning yuqori samaradorlik bilan ishlashi qayd etildi. Kompozitsion polimer materiallarning tarkibini chuqur ilmiy asosda ishlab chiqish, ularni fizik-kimyoviy va mexanokimyoviy modifikatsiya qilish orqali nafaqat mahsulotning sifatini oshirish, balki texnologik jarayonlarni optimallashtirish ham mumkin bo'lishi amaliy tajribalar bilan isbotlandi.

Yakuniy natijalarga ko'ra, quyidagi xulosalar chiqarildi:

1. Kompozitsion polimer materiallar tribologik talablar asosida shakllantirilganda, ularning yeyilish qarshiligi va ishqalanish koefitsienti sezilarli darajada kamayadi.

2. Organomineral to'ldiruvchilar qo'shilishi materialning mexanik mustahkamligini oshirish bilan birga, elektr va issiqlik izolyatsiyasi xossalari ham yaxshilaydi.

3. Yangi tarkiblar asosida ishlab chiqilgan qoplamalar an'anaviy qattiq metall asosli sirtlarga nisbatan ekologik xavfsizroq, iqtisodiy jihatdan tejamlir va xizmat muddati jihatidan ustunroqdir.

4. Tadqiqot natijalari kompozitsion materiallar asosida ishlab chiqiladigan mahsulotlar spektrini kengaytirish, ularni sanoatga joriy etish bo'yicha ilmiy-texnik asos bo'lib xizmat qiladi.

Kelgusidagi izlanishlar yangi turdagi bioaktiv to'ldiruvchilar, nanozarrali komponentlar bilan modifikatsiyalash hamda additiv texnologiyalar asosida ushbu materiallarni ishlab chiqarish imkoniyatlarini chuqur o'rganishga qaratilishi lozim.

Foydalanilgan adabiyotlar / References

[1] Абед Н.С., Негматов С.С., Гулямов Г., Тухташева М.Н. Композиционные антифрикционно-износостойкие материалы и технология их получения. – Ташкент: Fan va texnologiya, 2017.-200 с.

[2] Трофимов Б.А., Комаров В.П. Трибология и материалы трения. – М.: Машиностроение, 2017. – 344 с.

[3] O'z DSt 3330: 2018. Методы определения коэффициента трения, температуры и величины электростатического заряда в зоне трения. Ташкент: Стандарт, 2018. -12 с.

[4] Гулямов Г., Негматов С.С., Тухташева М.Н., Абед Н.С. Конструкционные материалы для деталей колковых рабочих органов машин и механизмов, взаимодействующих с хлопком-сырцом // Проблемы текстиля. –Ташкент,2019.- №3.– С.35-41.

[5] Kargin V.A., Tager A.A. Structure and Properties of Polymers. – Springer, 2019. – 416 p.

[6] Ghasemi, I., et al. "Influence of nanoclay and glass fibers on the tribological behavior of epoxy-based composites." *Tribology International*, Vol. 141, 2020, pp. 105–112.

[7] Хайруллин И.Х., Залялетдинов А.М. Композиционные материалы на основе полимеров для машиностроения // Вестник Казанского технологического университета. – 2021. – №7(24). – С. 33–39.

[8] Turgunovich, Khaminov Burkhon. "A method for determining the vibration absorbing properties of polymeric materials and coatings based on them." *Galaxy International Interdisciplinary Research Journal* 10.5 (2022): 221-224.

Mualliflar to'g'risida ma'lumot / Information about authors

To'xtasheva Malohat Nafasovna
Toshkent kimyo-texnologiya instituti dotsenti, PhD, Toshkent, O'zbekiston
E-mail: nafasovnanafasovna@gmail.com

Abed Nodira Soyibjonovna
"Fan va taraqqiyot" DM direktori, DSc, professor, Toshkent, O'zbekiston
E-mail: abed.n.s@inbox.ru

Negmatov Soyibjon Sodiqovich
"Fan va taraqqiyot" DM ilmiy maslahatchisi, DSc, professor, Toshkent, O'zbekiston
E-mail: fan_va_tarakkiyot@mail.ru

Negmatova Komila Soyibjonovna
"Fan va taraqqiyot" DM laboratoriya mudiri, DSc, professor, Toshkent, O'zbekiston
E-mail: fan_va_tarakkiyot@mail.ru

Kasimov Sherzod Bohodirovich
"Fan va taraqqiyot" DM mustaqil izlanuvchisi, DSc Toshkent, Uzbekistan
E-mail: fan_va_tarakkiyot@mail.ru

Negmatov Jahongir Nosir o'gli	“Fan va taraqqiyot”DM katta ilmiy xodim izlanuvchi, DSc Tashkent, Uzbekistan E-mail: fan_va_tarakkiyot@mail.ru
Abdukaxorov Abdulaziz Abdulazizxon o'gli	“Fan va taraqqiyot”Tashkent, Uzbekistan E-mail: fan_va_tarakkiyot@mail.ru
Muradov ilxom Isokjonovich	“Fan va taraqqiyot”Tashkent, Uzbekistan E-mail: fan_va_tarakkiyot@mail.ru
Ergashev Nurbek Erkinovich	“Fan va taraqqiyot”Tashkent, Uzbekistan E-mail: fan_va_tarakkiyot@mail.ru

Investigation of the triboelectrization process of composite polymer materials depending on the type and nature of polymers and fillers

N.S. Abed¹, S.S. Negmatov¹, A.Y. Grigoriev², S.O. Aminov³, V.S. Tulyaganova¹,
B.T. Jabborov¹, S.A. Bazarbayev¹, S.S. Shamsieva¹

¹The state institution "Fan va tarakkiet", Uzbekistan

²V.A.Bely Institute of Mechanics and Metal Polymer Systems of the National Academy of Sciences of Belarus, Belarus

³Fergan State Technical University, Uzbekistan

Abstract: This paper presents theoretical and experimental studies of triboelectrification processes in composite polymer materials used as coatings in the cotton processing industry. It is shown that friction between polymers and raw cotton leads to the accumulation of electrostatic charges, deteriorating the antifriction and electrophysical properties of the materials. The influence of the chemical nature of polymers, crosslinking degree, and various fillers (kaolin, carbon black, graphite, copper oxide, etc.) on the level of electrification is investigated. The introduction of conductive fillers significantly reduces the surface charge density and improves the tribotechnical characteristics of the coatings. Thermosetting polymers epoxy oligomer (ED-16), furano-epoxy oligomer (FAED-20), and furano-epoxy-silane oligomer (FAEIS-30) are identified as the most promising for creating antistatic and wear-resistant coatings.

Keywords: triboelectrification, polymer coatings, raw cotton, antistatic properties, conductive fillers, wear resistance, carbon black, kaolin, friction interaction.

Исследование процесса трибоэлектризации композиционных полимерных материалов в зависимости от вида и природы полимеров и наполнителей

Абед Н.С.¹, Негматов С.С.¹, Григорьев А.Я.², Эминов Ш.О.³, Туляганова В.С.¹,
Джабборов Б.Т.¹, Бозорбоев Ш.А.¹, Шамсиева С.С.¹

¹Государственное учреждение «Фан ва тараккиёт», Узбекистан

²Институт механики и металлополимерных систем имени В.А.Белого НАН Беларуси, Беларусь

³Ферганский государственный технический университет, Узбекистан

Аннотация: В данной работе представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований процессов трибоэлектризации композиционных полимерных материалов, применяемых в качестве покрытий в хлопкоперерабатывающей промышленности. Установлено, что при трении полимеров с хлопком-сырцом происходит накопление электростатических зарядов, ухудшающее антифрикционные и электрофизические свойства материалов. Изучено влияние химической природы полимеров, степени сшивки, добавления различных наполнителей (каолин, сажа, графит, оксид меди и др.) на уровень электризации. Показано, что введение электропроводящих наполнителей существенно снижает плотность зарядов и улучшает триботехнические характеристики покрытий. Наиболее перспективными для создания антистатических и износостойких покрытий признаны термореактивные полимеры эпоксидный олигомер (ЭД-16), фурано-эпоксидный олигомер (ФАЭД-20) и фурано-эпоксидно-силанцевый олигомер (ФАЭИС-30).

Ключевые слова: трибоэлектризация, полимерные покрытия, хлопок-сырец, антистатические свойства, электропроводящие наполнители, износостойкость, сажа, каолин, фрикционное взаимодействие.

1. Введение

Анализ теоретических и экспериментальных исследований показал, что взаимодействие полимерных покрытий с хлопком-сырцом сопровождается

электризацией, ухудшающей электрофизические и физико-механические свойства полимеров. Это снижает их износостойкость, долговечность, повышает коэффициент трения и пожароопасность при переработке хлопка. Снижение уровня электризации улучшает антифрикционные свойства покрытий.

Результаты позволяют целенаправленно регулировать антистатические и антифрикционные характеристики полимеров. Решение проблем возможно через управление свойствами материалов и разработку эффективных композиционных составов. С целью выбора наиболее активных полимерных материалов для использования в качестве покрытий, ранее нами был проведен анализ условий работы машин и механизмов хлопкозаводов, так как в конечном итоге эффективность применения полимерных покрытий зависит от конструкции и назначения машин, материала, условий эксплуатации и т.п. Как отмечено в работах [1; с.134-142; 2; с.16-17; 3; с.17-19; 4; с.32] машины и механизмы, применяемые для переработки хлопка-сырца, имеют конструктивные, технологические и целый ряд специфических недостатков, влияющих на природные свойства хлопка-сырца, и которые сводятся к следующему:

- повреждению хлопковых волокон и семян, возникновению шума и пожароопасности;
- высокий коэффициент трения;
- острые кромки заусенцев, шероховатость и субмикронеровности;
- повышенная пожароопасность, возникающая при ударе рабочих органов машин с твердыми включениями, находящимися в хлопке-сырце.

Как отмечалось ранее, применение полимерных покрытий в рабочих органах машин позволяет устранить или минимизировать ряд недостатков. Такие покрытия работают в условиях статических и динамических нагрузок, вибраций, воздействия климатических факторов и агрессивных сред. Выбор полимерных материалов для антиэлектростатических композиций осуществлялся по следующим критериям:

1. технологичность и экономичность нанесения покрытий;
2. стабильность электрофизических и физико-механических свойств при температурах от -20 до +80 °C и влажности до 80%;
3. высокая износостойкость и низкая электризуемость при трении в диапазоне скоростей до 8 м/с (иногда до 25 м/с) и нагрузках 0,005–0,05 МПа.

Наиболее полно этим требованиям соответствуют полимеры ЭД-16, ФАЭД-20 и ФАЭИС-30, выбранные в качестве основы для функциональных антиэлектростатических материалов. Они обладают отличными антифрикционными свойствами, теплостойкостью и хорошей технологичностью при нанесении покрытий.

2. Результаты исследований

Для качественной оценки процессов электризации полимерных покрытий были выполнены исследования кинетики электризации, которые показали, что наиболее быстро электризуются полярные фурано-эпоксидные олигомеры (табл.1). При этом, отмечено, что степень электризации полимерных покрытий определяется как скоростью образования, так и скоростью утечки зарядов и зависит от природы полимера. Установлено, что после прекращения фрикционного взаимодействия полимерных покрытий с хлопком-сырцом, заряды длительное время сохраняются на поверхности покрытий (табл. 2).

Таблица 1

Динамика поверхностной плотности электростатического заряда полимерных покрытий при трении с хлопком-сырцом при $V = 6$ м/с и $P = 0,05$ МПа

Наименование	Время взаимодействия τ , кс	Поверхностная плотность заряда, $\sigma \cdot 10^6$ Кл/м ²
ФАЭИС-30	0,05	76
	0,09	79
	0,13	78
	0,17	78
ФАЭД-20	0,03	71
	0,09	76
	0,13	75
	0,17	77
ЭД-16	0,05	36
	0,09	43
	0,13	44
	0,17	44

Исследования процессов электризации показали, что под действием температуры в зоне трения полимерные покрытия на основе ЭД-16, ФАЭД-20 и ФАЭИС-30 незначительно изменяют электропроводность с увеличением температуры в контактной зоне полимер-хлопок.

Температурная зависимость электропроводности определяет равновесие между накоплением и утечкой электростатических зарядов. Объяснить электризацию полимерных покрытий только с позиций донорно-акцепторной теории невозможно, поскольку при трении покрытия приобретают положительный заряд, а хлопок-сырец — отрицательный. Также выявлена зависимость электризации от степени сшивки термореактивных полимеров: с увеличением сшивки (при повышении содержания отвердителя ПЭПА) усиливается электризация из-за роста микротвердости и уменьшения утечки зарядов. Однако при дальнейшем увеличении ПЭПА заряд уменьшается из-за пластифицирующего эффекта, который увеличивает электропроводность.

При введении пластификатора ДБФ в композиции наблюдается нелинейная зависимость: при 10–15 мас.ч. электризация возрастает, а при превышении этой концентрации — снижается из-за повышения подвижности макромолекул. Также установлено, что с увеличением активности полимера в реакциях термоокисления его электризация уменьшается. Структурные изменения в хлопковом волокне активируют химическое взаимодействие продуктов деструкции с целлюлозой, что подтверждается ИК-спектроскопией [5; с.235-243].

Таблица 2

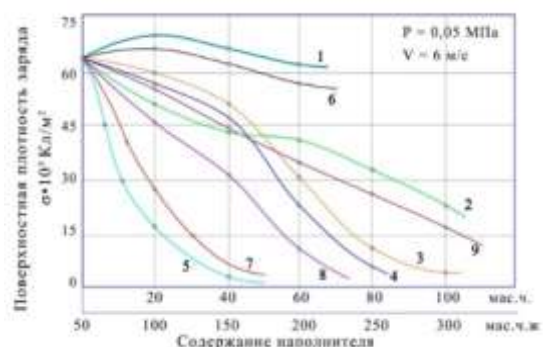
Динамика снижения поверхностного заряда полимерных покрытий после трения с хлопком-сырцом при скорости 6 м/с и давлении 0,05 МПа

Наименование	Время взаимодействия, τ , кс	Поверхностная плотность заряда, $\sigma \cdot 10^6$ Кл/м ²
ФАЭИС-30	1,3	68
	2,5	63
	3,7	48
	4,9	42
	6,1	39

ФАЭД-20	1,3	63
	2,5	50
	3,7	43
	4,9	33
	6,1	30
ЭД-16	1,3	53
	2,5	46
	3,7	33
	4,9	23
	6,1	19

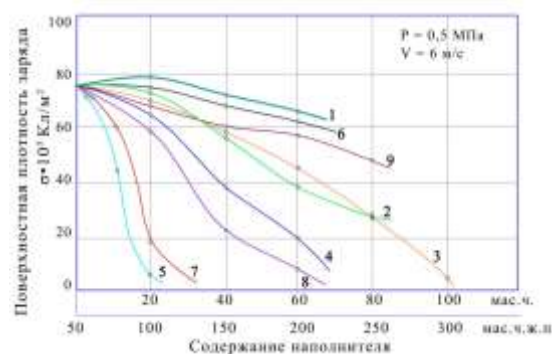
Результаты исследований позволили установить основные закономерности электризации полимерных покрытий при трении с хлопком-сырцом, в зависимости от вида и природы терморезактивных материалов. Установлено, что терморезактивные полимеры быстро электризуются ($0,04-0,06$ кс), достигая плотности заряда $64-75 \cdot 10^6$ Кл/м². Причём заряды сохраняются длительное время: например, у покрытий из ФАЭД-20, ЭД-16 и ФАЭИС-30 спустя 6,0 кс плотность составляет $10-28 \cdot 10^6$ Кл/м².

Одним из эффективных способов регулирования электрофизических, электростатических и антифрикционных свойств является введение электропроводящих и полупроводниковых органических наполнителей. Это также позволяет улучшить триботехнические свойства покрытий за счёт оптимизации их микротвердости, температуры стеклования и других характеристик. Исследование влияния природы и концентрации наполнителей показало, что полярность покрытий (положительная) и хлопка-сырца (отрицательная) сохраняется независимо от вида полимера. Эксперименты (рис. 1–3) показали, что добавление каолина в концентрации 20–40 мас.ч. увеличивает электризацию, а при более высоком содержании лишь незначительно снижает плотность зарядов на поверхности покрытий. Влияние каолина на электризацию полимерных покрытий связано с его высокими электроизоляционными свойствами (рис. 1). При содержании 20–40 мас.ч. в составах ЭД-16, ФАЭД-20 и ФАЭИС-30 каолин слабо влияет на электрофизические характеристики, но изменяет физико-механические свойства (рис. 1–3), что приводит к росту плотности зарядов. Дальнейшее увеличение его содержания снижает электризацию, что обусловлено уменьшением r_v и r_s композиций (табл. 2), поскольку проводимость наполнителя ниже, чем у связующего.



1-каолин; 2-окись меди; 3-железный порошок; 4-алюминиевая пудра; 5-сажа; 6-гальк; 7-графит; 8-бронзовая мука; 9-окись железа

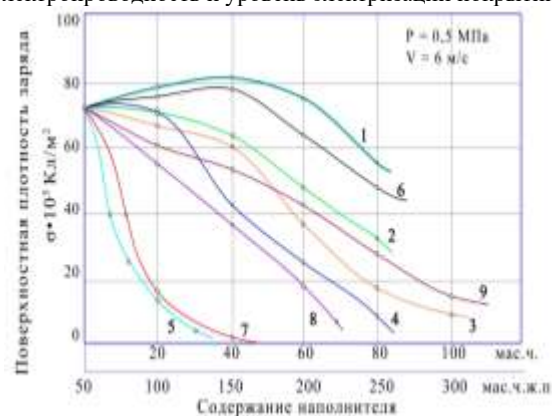
Рис. 1. Влияние типа и концентрации наполнителя на поверхностную плотность заряда полимерных покрытий на основе ЭД-16



1-каолин; 2-окись меди; 3-железный порошок; 4-алюминиевая пудра; 5-сажа; 6-гальк; 7-графит; 8-бронзовая мука; 9-окись железа

Рис. 2. Влияние типа и концентрации наполнителя на поверхностную плотность заряда полимерных покрытий на основе ФАЭИС-30

Введение каолина в эпоксидные и фурано-эпоксидные полимеры способствует образованию пространственной сетки за счёт абсорбции продуктов термодеструкции на его поверхности, что влияет на электропроводность и уровень электризации покрытий.



1-каолин; 2-окись меди; 3-железный порошок; 4-алюминиевая пудра; 5-сажа; 6-гальк; 7-графит; 8-бронзовая мука; 9-окись железа

Рис. 3. Влияние типа и концентрации наполнителя на поверхностную плотность заряда полимерных покрытий на основе ФАЭД-20

Наибольшее снижение зарядов достигается при добавлении электропроводящих наполнителей — особенно сажи и графита. Благодаря их высокой проводимости удельное сопротивление покрытий существенно снижается уже при 5 мас.ч. сажи и 10 мас.ч. в ФАЭД-20, ФАЭИС-30 и ЭД-16.

Снижение электризации покрытий при добавлении электропроводящих наполнителей связано с увеличением путей утечки зарядов и формированием цепочечной структуры в объёме полимера. В системе хлопок-сырец-полимер-наполнитель контактные участки с наполнителем увеличиваются, что способствует отводу зарядов. Сажа снижает электризацию эффективнее графита благодаря своей активной поверхности и способности образовывать химические связи с полярными полимерами, несмотря на более высокое удельное сопротивление [6; с.45-46].

Исследования показали, что сажа эффективнее снижает электризацию в покрытиях ФАЭД-20 и ФАЭИС-30 по сравнению с ЭД-16, благодаря лучшей

совместимости с ними и более равномерному распределению частиц наполнителя. Введение алюминиевой пудры снижает электризацию, но ухудшает антифрикционные свойства из-за комкования частиц и образующихся микродефектов. Меньшая активность алюминиевой пудры по сравнению с сажей объясняется её более высоким электрическим сопротивлением.

Оксид меди, являясь полупроводником, снижает электризацию, занимая промежуточное положение между каолином и алюминиевой пудрой. Железный порошок, несмотря на более высокое удельное сопротивление, незначительно увеличивает плотность электростатических зарядов, но при высоких содержаниях вызывает резкое снижение этой плотности. Это объясняется неравномерным распределением частиц в полимерном объёме. При высоких наполнениях образуется цепочечная структура, и утечка зарядов происходит как по поверхности, так и по объёму. В менее вязких фурано-эпоксидных покрытиях частицы распределяются более равномерно, что приводит к большему снижению электризации.

3. Вывод

В результате исследования установлено, что полимерные покрытия, особенно на основе ЭД-16, ФАЭД-20 и ФАЭИС-30, эффективно регулируют антифрикционные и антиэлектростатические свойства, улучшая износостойкость и снижая электризацию при трении с хлопком-сырцом. Введение электропроводящих наполнителей, таких как сажа и графит, значительно снижает уровень электризации, улучшая триботехнические характеристики покрытий. Оптимизация состава и выбор наполнителей позволяют создавать материалы с нужными электрофизическими и механическими свойствами для применения в хлопкоперерабатывающей промышленности.

Использованная литература / References

- [1] Гидротехнические сооружения. И. А. Василь Г. И Шполянский Д.М. Комплексная механизация уборки хлопка – М.: Высшая школа, 1972.- 319 с.
- [2] Раджапов У.Р. Исследование пневмотранспорта хлопковых семян в горизонтальном трубопроводе: Автореферат дис.... канд.тех. наук. - Ташкент, 1974.- 23 с.
- [3] Гулямов Г. Влияние температуры и величины заряда, возникающих при взаимодействии полимерных композиционных материалов с хлопком-сырцом, на возможность его загорания // Композиционные материалы. Ташкент, 2002. - № 1.-С.10-12.
- [4] Абед - Негматова Н.С., Гулямов Г. Влияние условий эксплуатации на работоспособность деталей из композиционных полимерных материалов рабочих органов хлопковых машин и механизмов // Композиционные материалы. -Ташкент, 2010.- №2.- С. 62-68.
- [5] Дехант И., Данц Р., Киммер В., Шмольке Р. Инфракрасная спектроскопия полимеров. –М.: Химия, 1976. -472с.

[6] Трофимова А.С., Овсянникова Т.А., Майер Э.А. Влияние дисперсных, текстурных и морфологических характеристик тальков на свойства композиционных материалов на основе полипропилена // Пластические массы. – Москва, 2011. - № 11. – С. 53-56.

Информация об авторах/ Information about the authors

Н.С. Абед	д.т.н., профессор, директор, Государственное учреждение «Фан ва тараккиёт»
С.С. Негматов	д.т.н., академик АН РУз, научный руководитель, Государственное учреждение «Фан ва тараккиёт»
А.Я. Григорьев	д.т.н., проф., директор ИММС им. В.А. Белого НАН Б
Ш.О. Эминов	PhD, преподаватель ФГТУ
В.С. Туляганова	д.т.н., с.н.с., начальник отдела, Государственное учреждение «Фан ва тараккиёт»
Б.Т. Джаббаров	докторант Государственного учреждения «Фан ва тараккиёт»
Ш.А. Бозорбоев	PhD, с.н.с., зам. директора, Государственное учреждение «Фан ва тараккиёт»
С.С. Шамсиева	докторант Государственного учреждения «Фан ва тараккиёт»

Investigation of the physico-chemical properties and flotation ability of the developed experimental batches of composite chemical flotation reagents-foamers KHF-VS-B

Zh.N. Negmatov¹, A.Kh. Khursanov¹, K.S. Negmatova¹

¹Fan va tarakkiet State Institution, Uzbekistan

Abstract: Flotation enrichment is one of the key stages in the processing technology of non-ferrous and precious metal ores. The efficiency of this process is determined by the physicochemical interactions occurring in the liquid phase and on the surface of the minerals. In the aqueous medium, where the separation of mineral particles takes place, a gaseous phase—air bubbles—exists alongside the solid phase, playing a crucial role in the flotation process. In this context, to identify the flotation capacity of the developed flotation reagents-foaming agents, it is necessary to study their physicochemical properties, which make it possible to determine their flotation performance. Accordingly, the aim of this work is to investigate the physicochemical properties and flotation capacity of the experimental batches of the composite chemical flotation reagents-foaming agents KHF-BC-B.

Keywords: composite flotation reagents, frothers, KHF-BC-B, physicochemical properties, flotation capacity, experimental batches, mineral beneficiation, flotation, chemical processing of raw materials

Исследование физико-химических свойств и флотационной способности разработанных опытных партий композиционных химических флотореагентов-вспенивателей КХФ-ВС-Б

Негматов Ж.Н.¹, Хурсанов А.Х.¹, Негматова К.С.¹

¹Фан ва тараккиёт Государственный Учреждение, Узбекистан

Аннотация: Флотационное обогащение является одной из ключевых стадий технологии переработки руд цветных и благородных металлов. Эффективность этого процесса определяется физико-химическими взаимодействиями в жидкой фазе и на поверхности минералов. В водной среде, где происходит разделение минеральных частиц, наряду с твёрдой фазой присутствует газообразная фаза – пузырьки воздуха, играющие важную роль в процессе флотации. В этом плане для выявления флотационной способности созданных флотореагентов-вспенивателей необходимо будет проведения исследование их физико-химических свойств, которое позволяет определить их флотационной способности. В связи с этим целью данной работы является исследование физико-химических свойств и флотационной способности разработанных опытных партий композиционных химических флотореагентов-вспенивателей КХФ-ВС-Б.

Ключевые слова: композиционные флотореагенты, вспениватели, КХФ-ВС-Б, физико-химические свойства, флотационная способность, опытные партии, обогащение полезных ископаемых, флотация, химическая переработка сырья

1. Объект и методика исследования

Объектами исследования являются: глицерин, этиленгликоль, ИАФ, ПАВ, карбамид, олеиновая кислота, алкил бензол, натрий лаурил сульфат, И-20, медно-молибденовая руда «Алмалыкского ГМК», окись кальция, щёлочь, касторовое масло, таловое масло и отходы спиртовых и масложировых заводов.

В стотонной работе проведено изучение состава и структуры минеральных руд и органо-неорганических

ингредиентов с использованием рентгеноструктурного анализа (дифрактометр Дрон-3/Dron 1/UM), ИК-спектроскопии и термографических исследований. Физико-химические и технологические параметры флотореагентов-вспенивателей определены методами соответствующих ГОСТ. Способность извлечения цветных металлов исследована флотационным методом на флотомашине ФМЛ 12 (247 ФЛ).

2. Результаты исследований и их анализ

Для оптимизации состава импортозамещающего композиционного химического флотореагента-вспенивателя на основе местного сырья и отходов производств были проведены исследования физико-химических свойств разработанных опытных партий флотореагентов КХФ-ВС-Б. Исследования охватывали образцы, содержащие органо-неорганические ингредиенты, полученные из различных отходов производств.[1-5]

На рисунке 1 представлена сравнительная оценка плотности опытных партий композиционных химических флотореагентов-вспенивателей КХФ-ВС-Б в зависимости от их состава по сравнению с флотореагентом Т-9.

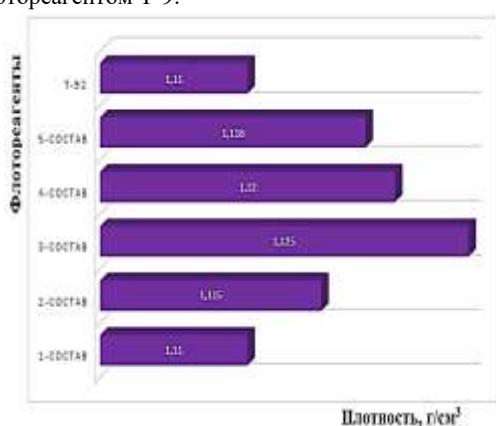


Рис. 1. Сравнительная оценка разработанных композиционных химических флотореагентов-вспенивателей по плотности в зависимости от их состава с стандартным флотореагентом Т-92

Анализ полученных экспериментальных данных показывает, что плотность разработанного образца №1 композиционного химического флотореагента-вспенивателя КХФ-ВС-Б практически идентична плотности стандартного флотореагента Т-92.

Эффективность флотационного процесса во многом определяется изменениями pH и температуры. Многие флотореагенты-вспениватели обладают высокой чувствительностью к этим параметрам. Изменение pH и температуры раствора влияет на растворимость композиционного химического флотореагента-вспенивателя и подвижность его молекул в пульпе, что, в свою очередь, отражается на скорости формирования адсорбционного слоя на поверхности пузырьков воздуха и устойчивости пены.

Для обеспечения стабильного пенообразования и повышения эффективности флотации на практике используются пенообразователи с нейтральной реакцией раствора.

На рис. 2 представлена сравнительная оценка разработанных композиционных химических флотореагентов-вспенивателей по уровню концентрации ионов водорода (pH) в зависимости от их состава по сравнению со стандартным флотореагентом Т-9.

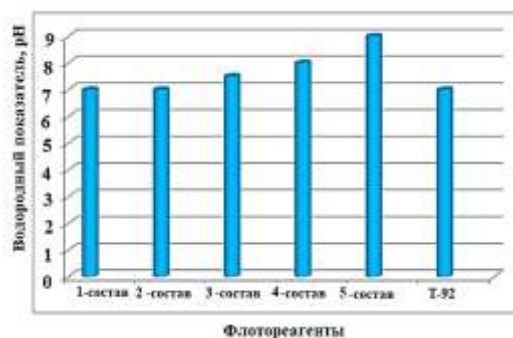


Рис. 2. Сравнительная оценка разработанных композиционных химических флотореагентов-вспенивателей по уровню pH в зависимости от их состава по сравнению со стандартным флотореагентом Т-92

Из приведённых данных на рис. 2 видно, что образцы №1 и №2 демонстрируют наибольшее сходство со стандартным флотореагентом Т-92 по показателю концентрации ионов водорода (pH), тогда как у остальных образцов этот показатель выше.

На основе комплексного анализа предварительных исследований установлено, что взаимодействие химических флотореагентов-вспенивателей с металлическими частицами определяется, прежде всего, pH и температурой раствора, а также природой и физико-химическими свойствами органо-неорганических ингредиентов, входящих в состав композиционного химического флотореагента-вспенивателя. Физико-химические свойства разработанного композиционного химического флотореагента-вспенивателя класса КХФ-ВС-Б, полученного на основе местного и вторичного сырья, представлены в таблице 1.

Таблица 1
Сравнительная характеристика физико-химических свойств композиционного химического флотореагента-вспенивателя КХФ-ВС-Б7 и стандартного Т-92

Показатели	КХФ-ВС-Б7	Флотореагент Т-92
Внешний вид	Маслянистая жидкость коричневого цв.	Маслянистая жидкость коричневого цв.
Массовая доля диметилдиоксана, %	-	-
Эфирное число, мг КОН/г	0,55-4,2	0,5-4,0
t вспышки в открытом тигле, °C, не ниже.	130	130
t застывания, °C, не выше	Минус 30	Минус 30
Плотность при 20°C, г/см³	1,02-1,1	1,04-1,12
Вязкость, при 20 °C, с	22	84
pH	7	7
Водорастворимость	Растворяется	Растворяется

Как видно из таблицы 1, оптимальный состав композиционного химического флотореагента-

вспенивателя КХФ-ВС-Б7 по своим физико-химическим свойствам сопоставим со стандартным флотореагентом Т-92, применяемым при флотационном обогащении руд цветных и благородных металлов [6].

Для обоснования механизма взаимодействия функциональных групп компонентов разработанного композиционного химического флотореагента-вспенивателя, их реакции с ксантогенатами, а также для оценки флотационной способности при извлечении металлических частиц в процессе флотации под воздействием кислорода воздуха были проведены ИК-спектроскопические исследования. Полученные спектры разработанного композиционного химического флотореагента-вспенивателя КХФ-ВС-Б и стандартного флотореагента Т-92 приведены на рис. 3 и 4. Как видно из рисунков 3 и 4, широкая полоса поглощения в диапазоне $3306\text{--}3450\text{ см}^{-1}$ соответствует валентным колебаниям О-Н групп спиртов. Наличие полос поглощения в области 1161 см^{-1} , 1087 см^{-1} , 1026 см^{-1} и 995 см^{-1} свидетельствует о присутствии ацетальных и эфирных групп, которые способствуют образованию и устойчивости пены [106; с. 21–78, 107; с. 115–186].

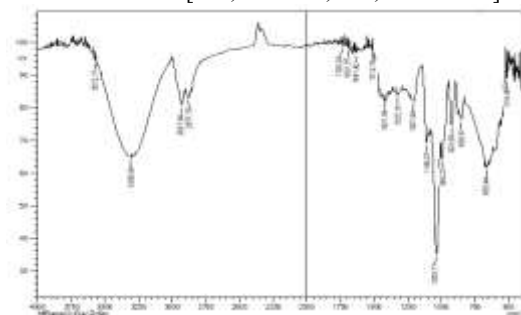


Рис. 3. ИК-спектр композиционного химического флотореагента-вспенивателя КХФ-ВС-Б7

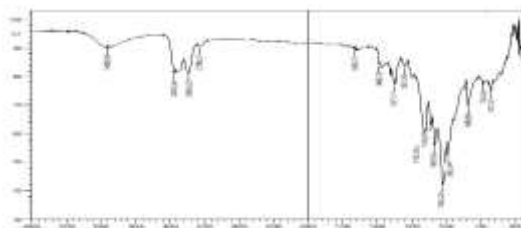


Рис. 4. ИК-спектр стандартного флотореагента-вспенивателя Т-92

Проведенные ИК-спектроскопические исследования разработанного композиционного химического флотореагента-вспенивателя КХФ-ВС-Б7 подтвердили наличие гидроксильных и ацетальных групп, аналогично спектру стандартного флотореагента Т-92. Это указывает на то, что разработанный реагент обладает схожими флотационными свойствами с Т-92.

3. Выводы

Разработанный композиционный химический флотореагент-вспениватель КХФ-ВС-Б7 обладает высокими флотационными способностями и был передан в лабораторию ООФ ЦЛНТ АО «Алмалыкский

ГМК» для проведения лабораторно-производственных и опытно-промышленных испытаний в условиях флотационного обогащения медно-молибденовых руд цветных и благородных металлов с нашим участием.

Использованная литература / References

- [1] Хурсанов А.Х., Ж.Н. Негматов, К.С. Негматова, Н.С. Абед, М.Э. Икрамова, С.С. Негматов. Исследование флотационных свойств разработанных композиционных химических флотореагентов – вспенивателей на основе местного сырья. Республиканской научно-технической конференции. «Прогрессивные технологии получения композиционных материалов на основе местного и вторичного сырья». Материалы конференции. 14-15 сентября 2023 г. г. Ташкент. -С.141-142.
- [2] Хурсанов А.Х., Негматова К.С., Негматов Ж.Н. Флотационные свойства разработанных композиционных химических флотореагентов – вспенивателей на основе местного сырья. Кончилик ва металлургия фанининг долзарб масалалари мавзусидаги республика илмий-амалий анжумани. Тезислар тўплами. 2023 йил 23 сентябр Олмалик ш. -Б.58-60.
- [3] Негматова К.С., Хурсанов А.Х., Икрамова М.Э., Негматов Ж.Н., Негматов С.С. Исследование флотационных свойств разработанных композиционных химических флотореагентов-вспенивателей класса КХФ-ВС. Республиканской научно-практической конференции «Инновационные технологии переработки минерального и техногенного сырья химической, металлургической, нефтехимической отраслей и производства строительных материалов». Институт общей и неорганической химии АН РУз. Ташкент 12-14 май 2022 года. -С.308-310.
- [4] Хурсанов А.Х., Хасанов А.С. Комплексная переработка техногенных отходов АО АГМК с извлечением ценных компонентов. Международная научно-техническая конференция «Композиционные материалы на основе техногенных отходов и местного сырья: состав, свойства и применение» Ташкент. 16-17 сентября 2021 г. 8-9 бет.
- [5] Хурсанов А.Х., Хасанов А.С. Перспективы вовлечения в переработку техногенных образований на АО «Алмалыкский ГМК». «Техника фанлари доктори, профессор М.М.Якубовнинг 70 йиллик юбилейига бағишланган республика илмий-амалий конференцияси 2021 йил 10 декабрь 56-59 бет.
- [6] Хурсанов А.Х., Абдукадыров А.А. Хасанов А.С. Исследование по переработке промпродуктов и техногенных отходов АО «Алмалыкский ГМК». Меж. научная и научно-техническая конференция «Практические и инновационные научные исследования: актуальные проблемы, достижения и новшества (посвящены памяти профессора А.А. Юсупходжаева) 2021 год. стр. 355-357

Информация об авторах / Information about authors

Негматов Жахонгир Носир угли	PhD, с.н.с., самостоятельный исследователь ГУ «Фан ва тараккиёт »

Хурсанов Абдулла Холмурадович	PhD, с.н.с., самостоятельный исследователь ГУ «Фан ва тараккиёт »

Негматова Комила Сайибжановна	к.т.н., проф., зав. лабораторией ГУ «Фан ва тараккиёт »

Creation and development of a technological line for the production of composite chemical reagents-demulsifiers used in the technology of dehydration and desalination of petroleum emulsion

D.H. Musabekov¹, K.S. Negmatova¹, D.N. Raupova¹, H.Y. Rakhimov¹

¹The state institution "Fan va tarakkiet" at TASHSTU

Abstract: The article presents a technological line for the production of composite chemical demulsifier reagents used in the dehydration and desalting processes of oil emulsions. The procedure for producing a composite chemical demulsifier reagent is described. Photographs of the technological line created for the production of composite chemical demulsifiers at the production facility of LLC "AYUKO TEKST" are shown. The development of import-substituting composite demulsifiers for the dehydration and desalting of oil at oil refineries has led to a significant reduction in costs and an increase in economic efficiency. These demulsifiers do not interact with the main components of crude oil and do not alter its composition. They possess corrosion protection properties and exhibit high demulsifying activity even at low consumption levels.

Keywords: oil, demulsifier, dehydration, desalting, physicochemical properties, emulsion, temperature, technological line, process flow diagram.

Созданные и освоение технологической линии производства композиционных химических реагентов-деэмульгаторов, применяемых в технологии обезвоживания и обессоливания нефтеэмульсии

Мусабеков Д.Х.¹, Негматова К.С.¹, Раупова Д.Н.¹, Рахимов Х.Ю.¹

¹Государственное учреждение «Фан ва тараккиёт» при ТашГТУ

Аннотация: В статье приведены технологической линии производства композиционных химических реагентов-деэмульгаторов, применяемых в технологии обезвоживания и обессоливания нефтеэмульсии. Приведены порядок работы для получения композиционного химического реагента-деэмульгатора. Показаны фотографии созданной технологической линии для производств композиционных химических реагентов-деэмульгаторов на производственной базе ООО «AYUKO TEKST». Разработка импортозамещающих композиционных деэмульгаторов для обезвоживания и обессоливания нефти в нефтеперерабатывающих заводах привела к значительному снижению затрат и повышению экономической эффективности. Данные деэмульгаторы не взаимодействуют с основным составляющим нефти и не меняют состав нефти. Они обладают защитным свойством от коррозии и высокой деэмульгирующей активностью даже при небольшом расходе деэмульгатора.

Ключевые слова: нефть, деэмульгатор, обезвоживание, обессоливание, физико-химические свойства, эмульсия, температура, технологическая линия, технологическая схема.

1. Введение

В ведущих странах мира проводятся обширные исследования по разработке технологий производства деэмульгаторов, используемых при обессоливания и обезвоживании нефти. В связи с этим налажено масштабное производство деэмульгаторов, используемых для обессоливания и обезвоживания нефти, в том числе в России, США, Китае, Германии, Японии и Азербайджане. В этом аспекте, особое внимание уделяется исследованию физико-химических и технологических свойств химических реагентов -

деэмульгаторов, используемых при обезвоживании и обессоливания нефтяных эмульсий, повышению качества и технико-экономических показателей нефтепродуктов, их очистке от вредных присадок до технологически обоснованных стандартов, разработке эффективных составов деэмульгаторов и технологии их производства [1-3].

В мире нефтяная промышленность является одной из важнейших отраслей экономики стран. Развитие нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности напрямую связано с совершенствованием технологии нефтепереработки, разработкой и внедрением прогрессивных процессов,

обеспечивающих улучшение технико-экономических показателей и качества нефтепродуктов. Немаловажное значение в решении поставленных перед нефтеперерабатывающей промышленностью задач имеет подготовка нефти к переработке, заключающаяся в очистке нефти от вредных примесей. Поэтому важное значения имеет разработка технологии производства эффективных химических реагентов для обезвоживания и обессоливания нефтеэмульсий, а также создание и усовершенствование энергосберегающей и экологически безопасной технологии переработки сырой нефти [5, 6]. В республике по развитию нефтеперерабатывающей отрасли принимается ряд мер, направленных на повышение эффективности нефтепереработки и качества нефтепродуктов. Однако разработка и создание эффективных методов очистки и технологий экстракции в соответствии с технологическими стандартами является актуальной проблемой для республики.

Исходя из этих целей, одной из актуальных задач на сегодня является разработка альтернативных условий технологических процессов производства высококачественных нефтепродуктов – разработка новых эффективных композиционных химических реагентов - деэмульгаторов на основе местного сырья и промышленных отходов для обессоливания и обезвоживания сырой нефти.

2. Объекты и методики исследования

Объектами исследования являются многоатомные спирты (глицерин), карбамид, натрий лаурелсульфат и спиртовые отходы Коканского спиртового завода.

Для определения качества разработанного композиционного химического реагента-деэмульгатора были использованы современные методы физико-химического анализа таких как, ИК-спектроскопия, методы определения электрокинетический потенциал (дзета-потенциал) частиц в коллоидных системах и другие стандартные методы исследования.

3. Полученные результаты и их обсуждение

Работа по разработке композиционных химических реагентов-деэмульгаторов была выполнена в лаборатории «Механохимическая технология композитов и химических реагентов» ГУП «Фан ва тараккиёт» [4]. На основе анализа результатов теоретических и экспериментальных исследований был разработан технологическая линия для производства созданных композиционных химических реагентов-деэмульгаторов на основе местного и вторичного сырья класса «МК-ДЭМ-4» используемых в процессе обезвоживания и обессоливания нефтеэмульсии.

Принципиальная схема разработанной технологической линии производства композиционных деэмульгаторов, разработанных на основе местного

сырья и отходов производств, представлена на рисунке 1.



Рис. 1. Схема технологической линии производства композиционного деэмульгатора

Разработана технологическая линия (рис. 1) включает в себя следующие виды оборудования: 1-ёмкость для глицерина; 2-ёмкость для карбамида; 3-ёмкость для ПАВ; 4-ёмкость для растворителя, 5-реактор для приготовления смеси с масляным теном, 6-реактор для смешивания компонентов смеси, 7-ёмкость для аммиачной воды, 8-насосы, 9-градирни, 10, 11, 12, 13, 14- дозаторы; 15-бочки тара, 16-ёмкость для готовой продукции, 17-упаковочный склад, 18-машина для готовой продукции. Сырьем для выпуска деэмульгатора марки «МК-ДЭМ-4»: является глицерин, карбамид, ПАВ и растворитель. Порядок работы следующий: в реактор загружают глицерин и карбамид, подают нагрев до 100-120⁰С и температуру доводят до 165-170⁰С. Карбамид растворяется и перемешивается в течение 1-1,5 час. Во время реакции глицерина с карбамидом выделяется аммиак. Для высасывания аммиака используется ёмкость с водой. После этого смесь загружается в ёмкость для смешивания и понижается температура до 100-120⁰С. Затем добавляют ПАВ и в течение 30 минут медленно перемешивают до получения однородной массы. После этого смесь загружается ёмкость для смешивания деэмульгатора. Далее понижается температура до 60-70⁰С и добавляется растворитель.

Готовый продукт самотеком или при помощи насоса перекачивается, проходя через дозатор в приемные ёмкости или 250 литровые полипропиленовые бочки с широким горлом. Бочки поступают на склад готовой продукции. В соответствии разработанного технологического регламента и технологии нами были создан технологическая линия для производства композиционных химических реагентов-деэмульгаторов используемых для их выработки в основном, местного и вторичного сырья.

На рисунках 2-8 показаны фотографии созданной технологической линии для производств композиционных химических реагентов-деэмульгаторов на производственной базе ООО «AYUKO TEKST».



Рис. 2. Общий вид созданной технологической линии для производства композиционных химических реагентов-деэмульгаторов



Рис. 3. Технологическая линия для производства деэмульгаторов в процессе испытания



Рис. 4. Емкость для аммиачной воды



Рис. 5. Датчик для регулирования температуры



Рис. 6. Шит автомат для регулирования температуры жидкости в реакторе



Рис. 8. Емкость для циркуляции и охлаждения воды



Рис. 7. Емкости для сырья и готовой продукции

4. Заключение

Основные данной технологии осуществлялись путем организации выпуска опытно-промышленной партии разработанного композиционного химического реагента-деэмульгатора марки «МК-ДЭМ-4» на созданной технологической линии для производства композиционных деэмульгаторов. Создание нового эффективного состава композиционных деэмульгаторов на основе местного сырья и промышленных отходов для обезвоживания и обессоливания нефти на нефтеперерабатывающих заводах основано на теоретическом обобщении и развитии научных исследований. В связи с этим можно рекомендовать созданного химического композиционного деэмульгатора на основе местного и вторичного для широкого применения в нефтепереработке нефтеперерабатывающих комбинатах республики Узбекистан и сопредельных странах Центральной Азии.

Использованная литература / References

- [1] Охлопков А.С. Свойства товарной сырой нефти, позволяющие идентифицировать источник нефтяного загрязнения окружающей природной среды. Диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук. Нижний Новгород, 2015. -130 с.
- [2] Климова Л. З. Получение, исследование свойств и применение новых деэмульгаторов водонефтяных эмульсий. Дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. – М., 2002 г. -231 с.

[3] Ситдикова С.Р. Применение химических реагентов для совершенствования процессов подготовки нефти: Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. – Уфа, 2003. – 23 с.

[4] Негматов С.С., Раупова Д.Н., Рахимов Х.Ю., Мусабеков Д.Х., Иногамова М.Х. Изучение физико-химических свойств разработанных композиционных деэмульгаторов для разрушения устойчивых, высоковязких водонефтяных эмульсий. Материалы конференции республиканская научно-техническая конференция перспективы развития композиционных материалов. 19-20 сентября 2024 г. С. 64-65.

[5] Филимонова Е.И. Основы технологии переработки нефти: Учебное пособие / Е.И. Филимонова. – Ярославль: издательство ЯГТУ, 2010. – 171 с.

[6] Хуторянский Ф.М. Избранные труды. 1977-2011гг. Разработка и внедрение эффективных технологи подготовки нефти к переработке на электрообессоливающих установках (ЭЛОУ). Химико-технологическая защита от коррозии конденсационно-холодильного оборудования АТ (АВТ) НПЗ. Уфа, издательство ГУП ИНХП РБ, 2013 - с.672.

Информация об авторах/ Information about the authors

Мусабеков докторант Государственного
Дилшод учреждения «Фан ва тараккиёт»
Хакимович

Негматова	Зав. лаб. д.т.н., проф.
Комила	Государственного учреждения
Сайибжановна	«Фан ва тараккиёт» ТашГТУ,

Раупова	PhD, научный сотрудник
Дилфуза	Государственного учреждения
Нуруллаевна	«Фан ва тараккиёт» ТашГТУ

Рахимов	старший научный сотрудник,
Хуршид	PhD, Государственного
Юлдашович	учреждения «Фан ва тараккиёт»
	ТашГТУ

Investigation of physico-chemical processes forming the structure of water-resistant composite materials based on modified gypsum binders

M.M. Ulugova¹, S.S. Negmatov¹, N.H. Talipov¹

¹The State Enterprise “Fan va Taraqqiyot”, Tashkent, Uzbekistan

Abstract:

The article presents the results of studies of the physico-chemical processes of forming the structure of the material and the development of effective compositions of modified gypsum-carbonate composite gypsum materials based on gypsum binder, microcalcite and modifying polymer additives, contributing to the improvement of their rheological and physico-mechanical properties and, accordingly, to increase the bending strength of building decorative ceiling suspended gypsum boards based on them. As a result, it became possible to organize the production of ceiling-mounted suspended composite gypsum boards with high water resistance and physico-mechanical properties and low cost, as well as the widespread use of this board in the construction of residential buildings and construction structures in the republic structure, rheological properties, micro filler, microcalcite, superplasticizer, modifying additives, composition, gypsum, ceiling tiles, composition, technology, products.

Keywords:

1. Introduction

Today, the use of modern technologies in the production of industrial products, the production of competitive and environmentally friendly materials obtained using resource- and energy-saving technologies, and the solution of environmental problems are becoming increasingly relevant in the world. Currently, one of the priority tasks of building materials production is to increase the volume of production of building materials based on gypsum materials [1-11]. In this regard, conducting research in the field of physico-chemical modification and technological processes that make it possible to develop effective formulations and optimal production modes for cheap modified composite gypsum materials and building products and improving the environmental situation is of particular importance.

2. The object and methods of research

The object of the study is calcium sulfate semihydrate; a highly dispersed carbonate micronutrient and chemical additives used to reduce the water:binder ratio and increase the water resistance and performance properties of composite gypsum materials. In the dissertation work, the physico-chemical properties and structure of the ingredients were studied by chemical, X-ray, and differential thermal analysis methods. The construction, technical and physico-mechanical properties of the developed modified water-resistant composite gypsum materials were determined by methods in accordance with the requirements of GOST standards.

3. The results of the study and their discussion

For the development of gypsum materials, calcium sulfate semihydrate obtained from natural gypsum stone from the Karnab deposit in the Samarkand region was used

by dehydration in a digester, and microcalcite obtained from marble waste by grinding and separation was used as a highly dispersed carbonate filler, and Melment F10 superplasticizer was used as a water-reducing additive.

At the same time, we selected three samples of gypsum binder β -modifications obtained at different temperatures and studied their phase composition, physical and mechanical properties in accordance with GOST 23789-1018. The results of the determination of the chemical and phase composition of the samples are shown in Tables 1 and 2. The table shows that with increasing dehydration temperature, the content of calcium sulfate semihydrate decreases.

Table 1

Phase composition of gypsum binder β -modification

№	Binder number	T-ure of dehydration	Phase composition, mass. %				The amount
			CaSO ₄ 0,5H ₂ O	CaSO ₄	CaSO ₄ 2H ₂ O	impurities	
1	№ 1	180	90	5,6	2,10	2,30	100
2	№ 2	175	93	2,1	2,80	2,10	100
3	№ 3	170	91,7	1,9	4,20	2,20	100

The chemical analysis of gypsum binders obtained by cooking in digesters was carried out in accordance with GOST 23981.1 – 23981.14-79 “Methods of chemical analysis”. In terms of the content of semi-aqueous calcium sulfate, the samples meet the requirements of GOST 125-2018 for gypsum binders. The results of the chemical analysis of gypsum binders are shown in Table 2.

Table 2

Chemical composition of the starting materials

№	Material	Content of oxides, mass%								The amount
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	R ₂ O	II II II	
1	gypsum binder №1	1,61	0,38	0,20	37,63	0,62	53,49	0,05	6,02	100,0
2	gypsum binder №2	1,56	0,30	0,20	38,16	0,49	53,64	0,05	5,60	99,96

3	gypsum binder №3	1,62	0,40	0,21	37,6 6	0,60	53,6 6	0,0 5	5,5 0	99,9 6

To determine the grade of the selected gypsum binder samples, the normal density, setting time, and strength characteristics were determined. The results of the study are shown in Table 3.

Table 3

Physico-mechanical characteristics of gypsum binder β -modification

Name of the parameters	The value of the parameters		
	Test №1	Test №2	Test №3
Degree of grinding: the remainder on the sieve No. 02, %	5,2	5,1	5,2
Water/astringent ratio	0,59	0,60	0,60
Setting time, min-seconds			
– start	8–00	8,0	6–30
– the end	14–30	11–30	9,30
Compressive strength, aged 2 hours, MPa	5,7	6,2	5,8
Flexural strength, MPa	2,9	3,2	3,0
Compressive strength, dry, MPa	12,8	12,9	12,6
Flexural strength, dry, MPa	5,6	5,7	5,6

The results of physico-mechanical studies have shown that calcium sulfate semihydrate has a G-6 II grade and a water resistance coefficient of 0.49.

The highly dispersed filler was obtained by grinding carbonate rock (white marble waste) from the Kitab deposit. The chemical composition is shown in Table 4. On the X-ray of a highly dispersed carbonate filler, all the main reflections belong to calcite CaCO_3 , the presence of which is confirmed by the d/n lines. = 0,383; 0,305; 0,304; 0,281; 0,248; 0,226; 0,207; 0,189; 0,185; 0,162; 0,159 nm.

Table 4

Chemical composition of highly dispersed carbonate micron filler

Content of oxides, mass. %										
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	MnO	SO_3	R_2O	P_2O_5	III II	The amount
0,43	0,56	0,45	53,58	0,42	0,05	0,07	0,14	0,06	13,20	98,96

Physico-chemical studies have shown that the structure of carbonate components varies from fine (0.1–10 microns) to medium crystalline (20–30 microns). The main component of carbonate rocks is calcite, but its properties vary significantly depending on the type of rock, and on the other hand, carbonate rocks, even belonging to the same class of minerals, can differ significantly in their structure.

During the experimental studies on the preparation of gypsum-carbonate compositions, nine compositions of a gypsum-carbonate mixture were prepared (Table 5).

Table 5

The composition of the mixture for the production of gypsum-carbonate composite material

№ Components		Ratio of components, mass. %								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Gypsum binder	100	97,5	95	92,5	90,0	87,5	85	82,5	80
2	Microcalcite	-	2,5	5,0	7,5	10,0	12,5	15	17,5	20

The results of the study showed that during the homogenization of components in a ball mill, the residue on the sieve No. 02 (900 rem/cm²) decreases sharply with increasing mixing time.

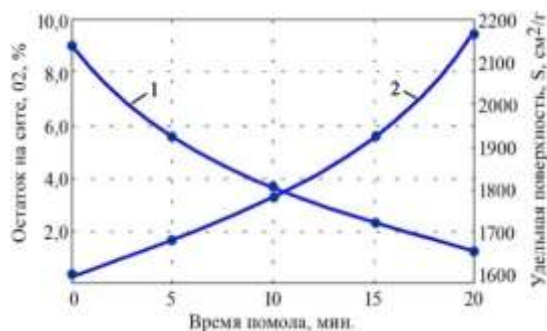


Fig. 1. Dependence of the fineness of the grinding (1) and the specific surface area of the gypsum composition (2) on the grinding time

Based on the conducted studies, it was found that mixing of the starting materials in a laboratory ball mill leads to mechanical destruction of the components and elements of their structure, partially disperses the grains of calcium carbonate. Due to this, additional grinding of calcium sulfate semihydrate took place, which led to an increase in the fineness of the grinding and the specific surface area of the gypsum-carbonate composition. This contributes to a significant increase in the number of active centers per unit volume of the material. This releases a significant amount of energy, which helps to increase the activity of the highly dispersed micro-filler.

Based on the conducted studies, it was found that the specific surface area of the composition increases with fine grinding of the gypsum-carbonate composition. The phase composition of the gypsum-carbonate composition was studied using X-ray phase analysis. The diffractogram of the gypsum-carbonate composition is shown in Figure 2.

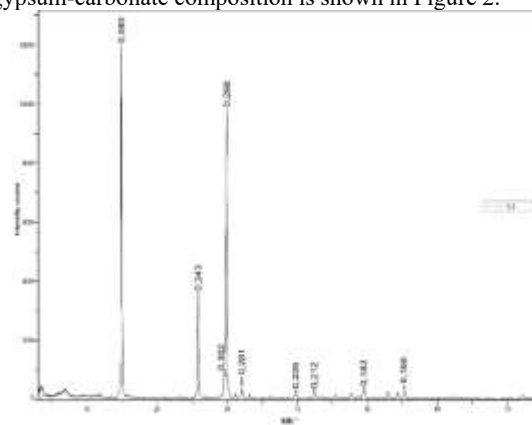


Fig. 2. Diffractogram of a gypsum-carbonate composition consisting of 80% calcium sulfate dihydrate and 20% highly dispersed carbonate filler microcalcite

It can be seen from the diffractogram (Fig.2) that the main phase is calcium sulfate semihydrate ($d/n = 0,590; 0,343; 0,3297; 0,278; 0,166$ nm) and calcium carbonate ($d/n = 0,281; 0,248; 0,226; 0,1853; 0,162; 0,159$ nm).

Next, we will consider the properties of the developed composite gypsum materials obtained by carefully mixing gypsum binder and finely dispersed microcalcite. Table 6 shows the results of studies of rheological and physico-mechanical properties of gypsum-carbonate composite materials.

Table 6
Influence of highly dispersed filler on rheological and physico-mechanical properties of gypsum-carbonate composite

№	Composition , mass. %		Normal density	Setting time, min-sec		Strength, MPa	
	gypsum	micro calcit e		start	the end	R _{нз}	R _{сж}
1	100,	-	0,61	4-00	6-00	3,0	6,1
2	97,5	2,5	0,61	4-00	6-00	3,1	6,4
3	95,0	5,0	0,62	4-30	6-30	3,3	6,9
4	92,5	7,5	0,62	5-30	7-00	3,5	7,5
5	90,0	10,0	0,63	6-00	8-00	3,6	7,6
6	87,5	12,5	0,64	7-00	9-00	3,7	7,6
7	85,0	15,0	0,65	7-00	9-00	3,9	6,0
8	82,5	17,5	0,67	7-00	10-00	4,0	5,8
9	80,0	20,0	0,67	8-00	11-00	4,0	5,6

Laboratory studies of the physico-mechanical properties of the gypsum carbonate composition have shown that a finely dispersed carbonate filler in the amount of 10-15% acts as a plasticizer. With a higher degree of filling (20%), the water consumption of the binder increases slightly, and the strength characteristics of the gypsum-carbonate composition improve by 15-18%. The increase in strength is explained by the fact that highly dispersed microcalcite particles fill the voids between coarser grains during the formation of the calcium sulfate dihydrate structure.

The use of fast-setting composite gypsum materials in construction is largely due to a combination of positive properties. First of all, it is the absence of shrinkage deformations, high adhesive strength and water resistance. As shown by the results of studies on the use of gypsum-carbonate compositions for the manufacture of building finishing products, the structure of calcium sulfate dihydrate is formed during the hydration process for 120 minutes.

Further, to improve the physico-chemical properties and water resistance of sulfate-containing composite modified gypsum-carbonate materials, we used a polymer additive - superplasticizer Melment F10. The mixtures were prepared by mixing a polymer additive with a gypsum-carbonate composition in a laboratory mixer for 15 minutes. The superplasticizer content was 0.0; 0.25; 0.50; 0.75 and 1.0% by weight of gypsum binder. In the prepared mixtures, the normal density was determined according to GOST u 23789-2018.

From the data obtained in Table 7, it can be seen that with an increase in the content of the superplasticizer additive to 0.75%, the water consumption of the gypsum-carbonate composition decreases sharply. At the same time, the softening coefficient of the gypsum-carbonate composition was estimated by the water resistance of standard samples measuring 4x4x16 cm made on the basis of a mortar mixture of normal gypsum material density, and it ranges from 0.59 to 0.74 with a content of SP "Melment F10" from 0.0 to 1.0%.

Table 7 shows the technological characteristics of the modified composite gypsum materials.

Table 7
The effect of the Melment F10 joint venture on the technological characteristics of the gypsum-carbonate composition

№	Content Joint Venture Melment F10, %	B /T	Setting time, min		Softening coefficient (Cr)
			start	the end	
	0,0	0,61	4-00	6-00	0,59
	0,25	0,51	4-00	6-00	0,62
	0,50	0,42	5-00	7-00	0,66
	0,75	0,40	5-00	8-00	0,73
	1,0	0,37	6-00	8-00	0,74

The study found that reducing the water gypsum ratio from 0.7 to 0.4 makes it possible to increase the strength of gypsum products by 2.5-3.0 times. The compressive and flexural strength of the hardened gypsum binder and products made from it largely depends on their moisture content. In particular, even sorption humidification to 0.5-1% of a dry gypsum sample in air with a relative water vapor content of 80-100% reduces its strength to 60-70% of the strength in the dried state.

It has been established that the plasticizing effect in solution mixtures makes it possible to reduce the water-gypsum ratio (V/G) while maintaining the required mobility, which can be explained by the action of electrostatic and spatial stabilization.

Thus, based on the conducted studies of the superplasticizer on the physico-mechanical properties of the gypsum-carbonate composition, it was found that the strength characteristics increase. The introduction of water-reducing additives into the gypsum-carbonate composition helps to increase the bending strength and increase the water resistance of products made on the basis of a modified gypsum-carbonate composition.

4. Conclusion

Based on the conducted research, it has been established that the principle of action of the superplasticizer is to create conditions for the formation of waterproof compounds, the formation of a more dense structure of the solidified material in the system with a low water content.

Thus, the effectiveness of increasing water resistance and improving the strength characteristics of composite gypsum materials by modification using highly dispersed fillers and a polymer modifier has been scientifically substantiated and experimentally confirmed.

References

- [1] Петропавловская В.Б., Бурьянов А.Ф., Новиченкова Т.Б. Малоэнергоёмкие гипсовые материалы и изделия на основе отходов промышленности //Строительные материалы, 2006. - № 7. - С. 8.
- [2] Гипсовые материалы и изделия (производство и применение): Справочник/ Под общей редакцией А.В. Ферронской. – М.:АСВ, 2004. – 488
- [3] Полак А.Ф., Бабков В.В., Капитонов С.М., Анваров Р.А. Структурирование и прочность

водо-вяжущих комбинированных гипсовых систем // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – М., 1991. – № 8.

[4] Иваницкий В.В., Клыкова Л.Я., Байканов Ж.П., Плетнев В.П. Гипсовые вяжущие повышенной прочности и водостойкости из фосфогипса // Строительные материалы, 1983. – № 9. – С. 12-14.

[5] Гордашевский П.Ф., Плетнев В.П., Данилов В.И., Лаврова Т.А. Фосфогипсовое вяжущее повышенной водостойкости и области его применения // Строительные материалы, 1980. – № 2. – С. 12-13.

[6] Сучков В.П. Гипсовые строительные материалы и изделия, полученные механохимической активацией техногенного сырья: Автореф..... д.т.н. – Санкт-Петербург, 2009. – 42 с.

[7] Г.И. Яковлев, А.Ф. Гордина, И.С. Полянских, Х.-Б. Фишер, Н.С. Рузина, Е.В. Шамеева, М.Е. Холмогоров. Гипсовые вяжущие композиции, модифицированные портландцементом и металлургической пылью // Строительные материалы. – 2017. – № 6. – С. 76-79

[8] ГОСТ 125-2018 «Вяжущие гипсовые. Технические условия» - М.: Стандартинформ, 2018. – 8 с. <http://uzsti.uz/shop/16819>

[9] Lessowik, W.S. Zusammengesetzte Gips binde mittel unter Anwendung vom technogenen Rohstoff / W.S. Lessowik, N.W. Tschernyschewa // 1. WEIMARER GIPSTAGUNG, Weimar Gypsum Conference, 30-31 Marz 2011. – Weimar, 2011. – С. 407-416.

[10] Lesovik, V. Gipskompositim System 'Mensch – Werkstoff – Lebensraum' / V. Lesovik, H.-B. Fischer, N. Tschernyschova // 2. WEIMARER GIPSTAGUNG, Weimar Gypsum Conference, 26-27 Marz 2014. – Weimar, 2014. – С. 39-44.

Information about the authors

Ulugova M.M. doctoral student at the State Enterprise "Fan va Taraqqiyot"

Negmatov S.S. Scientific director of GP "Fan va Taraqqiyot", Doctor of Technical Sciences, Professor. Academician of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan

Talipov N.H. Head of the laboratory. NIL "Inorganic composite materials and products" GP "Fan va tarakkiet", Doctor of Technical Sciences, professor.

Research and development of effective dye composition formulations for use in the dyeing process of cotton fabric

M.N. Kasimova¹, K.S. Negmatova¹

¹The State Enterprise "Fan va Taraqqiyot", Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This article presents the results of studies of the process of modifying cotton fabric with fibroin oligomers, the influence of pH, temperature, concentration of polyvalent metal salts, sodium nitrite and resorcinol on the formation of metal complexes in the structure of cotton fiber, as well as the established optimal compositions of the developed powder composite dyes for the production of composite dyes and for dyeing textile cotton and viscose fabrics.

Keywords: dye composition, cotton fiber, metal complexes, textile materials, polyvalent metals, fibroin oligomers.

1. Introduction

Globally, the demand for textile industry products, especially for multi-colored materials made from cotton, viscose and their blends, is increasing from year to year. Expensive imported synthetic dyes are used to dye these textile materials [1-3]. However, existing synthetic dyes have certain disadvantages, in particular, they are very expensive, scarce, and have relatively low strength characteristics. In connection with this, the development of new compositions of relatively cheap compositions based on polyvalent metal salts and local raw materials with high strength characteristics for dyeing cotton textile materials is important [4-5].

The republic is conducting scientific research on the development of the textile industry, searching for ways to intensify the process of dyeing textile fabrics based on cotton, viscose and their mixtures, on the basis of which the competitiveness of finished products increases, and certain results are achieved [6].

Based on the analysis of modern literary sources, it should be noted that in the development of dyeing materials for dyeing textile materials, including cotton and viscose and their mixtures, insufficient research has been carried out on the development of optimal compositions of dyeing materials, including composite dyes based on local raw materials. It should also be noted that when developing and obtaining effective compositions of dyeing compositions based on salts of polyvalent metals and organomineral ingredients, the process of dyeing cotton and viscose fabrics and their mixtures in the presence of various types and concentrations of acid and salts of polyvalent metals is not sufficiently taken into account [8].

In this regard, the development of more effective powder compositions based on local raw materials, making it possible to obtain colors in a wide range of colors that are resistant to various physical and chemical influences such as light, washing, friction, and the action of organic solvents, is an urgent problem.

Object and research methods. The objects of research are cotton (chintz), viscose fabric and their mixtures, fibroin oligomers, salts of alkali and polyvalent metals, aromatic hydroxy compounds (resorcinol and pyrocatechin) and others.

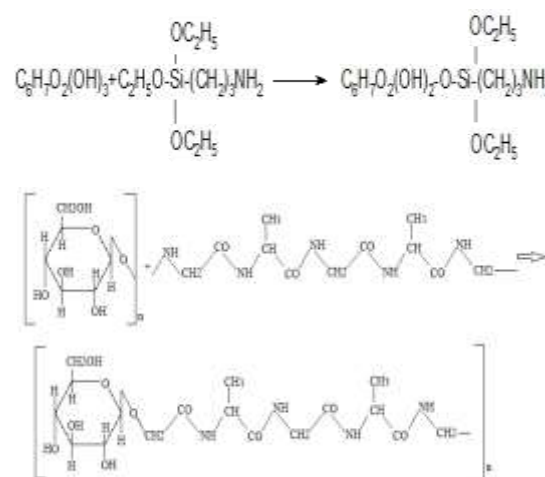
Research methods. The dissertation work used modern physico-chemical methods of analysis, including IR spectroscopy, thermal methods (DTA, TGA), photocalorimetry, complexometry, pH-metry and other

physico-chemical methods of analysis, as well as other standard methods of analysis permitted for CIS countries.

2. Research results and their analysis

In this regard, we conducted research on the formation of metal complexes in the structure of cotton fiber and developed optimal compositions for dyeing textile materials.

First of all, we studied, with the aim of introducing functional groups into fibers, the process of amination of cotton fabric with γ -aminopropyltriethoxysilane (a) and fibroin oligomers (b):



To substantiate the process of amination of cotton cellulose with γ -aminopropyltriethoxysilane and fibroin oligomers, IR spectra of the original and aminated cotton fabric were taken. The results of the IR spectra are shown in Fig. 1. It is known that the hydroxyl groups of cotton cellulose are characterized by absorption bands in the region of 3650-3100 cm^{-1} . Modification of cotton fabric with fibroin oligomers helps to increase the intensity of the absorption band at 3000-3600 cm^{-1} (Fig. 1), which is evidence of amination of cotton fabric, since the absorption of the primary amino group is located in the range of 3300-2500 cm^{-1} (stretching vibrations) and 1640 -1535 cm^{-1} (deformation vibrations).

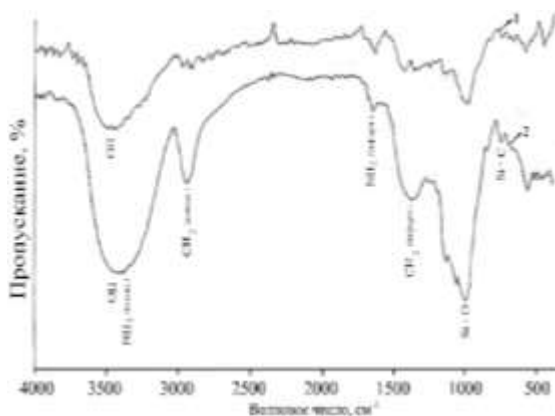


Fig.1. IR spectra of original (1) and aminated (2) cotton fabric

The modification of cotton fabric by fibroin oligomers is also evidenced by the absorption band at 2930 cm^{-1} , responsible for the deformation vibrations of $-\text{CH}_2$ groups, the absorption band at 1000 cm^{-1} , responsible for the Si-O siloxane groups (stretching vibrations) and the absorption bands at $820\text{--}850\text{ cm}^{-1}$ in the spectrum of aminated cotton fabric are responsible for Si-C (stretching vibrations).

It was found that the tensile strength of cotton fabric containing fibroin oligomer is slightly higher than that of the original fabric.

According to the basic law of color theory, almost any color can be represented as the sum of three linearly independent colors. Red (R), green (G) and blue (B) are used as primary colors, i.e. three monochromatic radiations with a wavelength of 700.0 ; 546.1 and 435.8 nm , respectively.

The influence of the pH value of the processing medium in the dye bath on the formation of metal complexes of iron (III) and cobalt (II) was studied. It has been established that when cotton fabric is treated in a dye bath with a complexing solution with a pH of 3.6 to 4.2 , the fabric acquires the most intense color, which indicates the formation of the maximum number of metal complexes in the structure of the cotton fiber.

Consequently, the least bright channel turned out to be blue (B) and the brightest red (R). Thus, the optimal pH range of a complexing solution with iron and cobalt when dyeing cotton fabric is $3.6\text{--}4.2$.

The influence of temperature on the process of formation of metal complexes in the structure of aminated cotton fiber was studied. The processing process was carried out at temperatures of 20 , 50 , 80 and 98°C . With increasing temperature, the rate of formation of metal complexes in the structure of cotton fiber is achieved at a temperature of 98°C for $5\text{--}7$ minutes.

In order to develop optimal compositions of complexing compositions and solutions based on them in a dye bath, we conducted studies of the influence of the concentration of polyvalent metal salts on the formation of the optimal amount of metal complexes in the structure of cotton fiber based on nickel chloride, cobalt chloride, iron and copper sulfite.

As an example in Fig. 2 (a, b) shows the dependence of the optimal formation of metal complexes in the structure of cotton fiber on the concentration of the polyvalent metal nickel chloride, which is observed at 0.5 g/l , and for cobalt chloride 0.25 g/l , which has an extreme character, passing through minimum.

Similar results are observed with complexing solutions containing iron and copper sulfate.

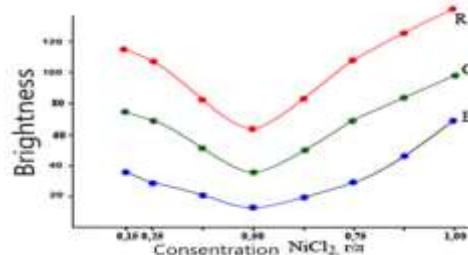
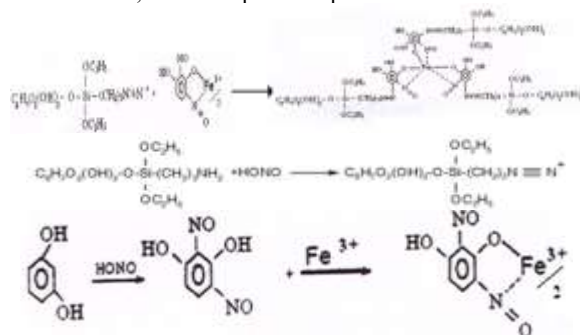


Fig. 2. Dependence of R-, G-, B- components of the color of cotton fabric containing metal complexes of nickel chloride (a) and cobalt chloride (b) in a complexing solution

From the data obtained it follows that under the influence of nitrous acid, the amino groups of the fibers are transferred to the azo group, which, when interacting with metal cations, form complex compounds.



In the IR spectra of dyed cotton textile materials, there is a shift of the absorption band at 1360 cm^{-1} , which belongs to the amino group, to 1600 cm^{-1} , indicating the formation of a Me-N coordination bond, and a peak appears in the region of $550\text{--}560\text{ cm}^{-1}$, responsible for the valence bonds vibrations of the Me-N bond (Fig. 3). The data obtained allow us to conclude that coordination occurs through nitrogen atoms in the diazo compound. The presence of an aromatic azo group in cotton fiber complexes is confirmed by absorption bands at 1550 cm^{-1} and $1046\text{--}1060\text{ cm}^{-1}$. From the data obtained it follows that under the influence of nitrous acid, the amino group of the fiber transforms into an azo group, which, when interacting with metal cations, form complex compounds.

It should be noted that with an increase in polyvalent metal cations in the processing dye bath to a certain stage for each type of cation, the number of metal complexes in the structure of cotton fiber increases, which is associated with the concentration factor.

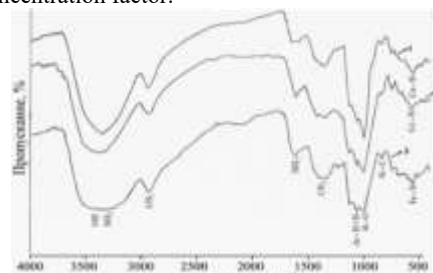
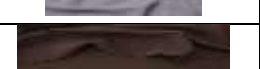
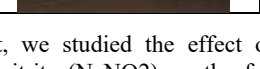


Fig. 3. IR spectra of cotton fabric containing metal complexes Cu^{2+} (1), Co^{2+} (2), Fe^{3+} (3)

Thus, the optimal concentration of polyvalent metal salts that promote the formation of the maximum amount of metal complexes in the structure of cotton fiber is: for iron sulfate and nickel chloride 0.5 g/l, for cobalt chloride - 0.25 g/l, for copper sulfate – 0.1 g/l. The choice of metal salt and dyeing conditions depends on the desired color and the desired effect. Table 1 shows samples of dyed cotton fabrics based on polyvalent metal salts.

Table 1
Samples of cotton fabrics dyed with dye compositions based on polyvalent metal salts

№	Dyed fabric samples	Formula of polyvalent metal salts used
1.		$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$
2.		CoCl_2
3.		CuSO_4
4.		NiCl_2

Next, we studied the effect of the concentration of sodium nitrite (NaNO_2) on the formation of the optimal amount of metal complexes in the structure of cotton fiber, which NaNO_2 in an acidic environment transforms into nitrous acid, which promotes the production of dinitrosoresorcinol and the transition of the amino groups of fibroin oligomers into a diazotized amine.

In Fig. 4 shows the dependence of R-, G-, B-, components of the coloring of cotton fabric containing metal complexes of nickel, cobalt, iron and copper, on the concentration of NaNO_2 in the complexing dye solution. The studies also showed the interaction of polyvalent metal cations with the formation of complex compounds of various compositions, corresponding strength with increasing concentration of sodium nitrite in the complexing dye bath. In this case, the color intensity increases and reaches its maximum value at a sodium nitrite concentration of 0.4-0.5 g/l.

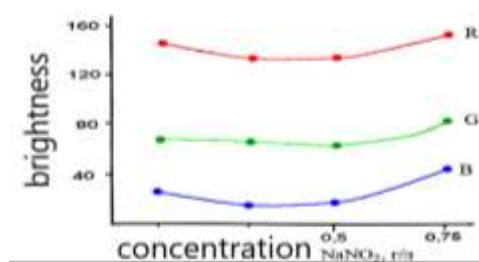


Fig. 4. Dependence of R-, G-, B- components of the color of cotton fabric containing metal complexes a) nickel chloride (NiCl_2), b) cobalt chloride (CoCl_2) on the concentration of NaNO_2 in the complexing solution

The influence of resorcinol concentration on the formation of the optimal amount of metal complexes in the structure of aminated cotton fiber was studied. Research results have shown that the most optimal concentration of resorcinol in a complexing bath is 0.5-0.6 g/l.

Based on the analysis of the results of the above studies, optimal compositions and ratios of organomineral ingredients have been developed that contribute to obtaining the maximum amount of metal complexes in the structure of cotton fiber, ensuring high-quality dyeing of cotton and viscose fabrics.

These are the following compositions: for the

composition of the composition, ferrous sulfate, sodium nitrite, resorcinol 1:1:1; for the composition nickel chloride, sodium nitrite, resorcinol 1:1:2; for the composition of cobalt chloride, sodium nitrite, resorcinol 1:1:2; for the composition copper sulfate, sodium nitrite, resorcinol 1:5:7.5.

Based on the research carried out, we can conclude that in order to obtain the most saturated colors, the dye bath should have the following composition: NiCl_2 -0.5 g/l; resorcinol-0.75 g/l; NaNO_2 -0.5 g/l. Composition: NiCl_2 -29%, NaNO_2 -29%, resorcinol -42%.

3. Conclusion

Based on the research results, rational compositions of composite dyeing materials for dyeing cotton, viscose fabrics and their mixtures, based on polyvalent metal salts and organomineral ingredients, were developed. It has been established that the introduction of fibroin oligomers into cotton fiber significantly affects the physicochemical, mechanical and technological parameters of cotton fabric, helping to improve its processing and the physical, mechanical and technological characteristics of the fabric; a mechanism for the process of dyeing aminated cotton fabrics with polyvalent metals (sulfate) has also been proposed iron, nickel chloride, cobalt chloride and copper sulfate), coloring compositions based on sodium nitrite and resorcinol salts. It has been established that the optimal amount of metal complexes in the structure of cotton fiber is obtained at a temperature of 980C at a pH of 3.6-4.2. It was revealed that the formation of metal complexes in the structure of cotton and viscose fiber helps to improve the physical and mechanical properties and polishing of textile materials based on cotton, viscose and their mixtures.

The possibility of replacing synthetic dyes with created coloring compositions is substantiated, where the dyeing speed increases by 2.5-3 times and thereby reduces their cost by 1.3-2.0 times.

References

- [1] Stepanov B.I. Introduction to the chemistry and technology of organic dyes M.: Khimiya, 1984. - 582 p.
- [2] Abdurakhmanova Sh.G., Negmatov S.S., Rakhimova Z.M. Dyeing of textile materials by synthesizing dye on fiber // National Chemical Congress. Kars, Türkiye. 2004
- [3] Mamazhanov U.M. Chemical technologies for dyeing fabric at a textile enterprise // Universum: technical sciences: electron. scientific magazine 2021 No. 5 (86).
- [4] Abdurakhmanova Sh.G., Rasulova Sh.N., Abdukadirova N.M., Negmatov S.S. A new method of dyeing cellulose materials // Current problems in the chemistry of macromolecular compounds: Materials of the Republic. scientific – prak. conf. Abstracts of reports. Navoi, 2010. – P. 332.
- [5] Rasulova Sh.N., Negmatova (Kasimova) M.N., Majidova Sh.G., Negmatov S.S. The use of information technologies in the study of the formation of metal chelates in the structure of cotton fiber // Composite materials, Tashkent 2015, No. 2, - P. 66-70.
- [6] Madadlimov A.T., Negmatova (Kasimova) M.N., Mukhtarova F.A., Zokirov A.S., Adkhamov A.N. and others. Modified nanostructured cotton and protein

fibers//Resp. scientific-technical. Conference. Tashkent. 2015 - pp. 20-21.

[7] Sayibjan Negmatov, Shokhista Rasulova, Won Cheol Lee, Valeriy Kim, Jakhongir Negmatov, Malika Negmatova (Kasimova), Shirin Abed. Research and development of new powder colorific compositions based on polyvalent metals for dyeing the natural and synthetic fibers and textile materials on their bases. International porous powder materials, PPM 2013, 3-6 September, Izmir. Turkey.

[8] Negmatova K.S., Ikramova M.E., Negmatova (Kasimova) M.N., Rasulova Sh.N., Nabieva I.A. Study of the process of dyeing protein fibers with composite dyes based on polyvalent metal salts / Composite materials. – Tashkent, 2022, No. 3, - P. 81-84

Information about the authors

Kasymova Malika PhD student at the State Unitary Enterprise “Science and Development”, Tashkent State Technical University, Republic of Uzbekistan, Tashkent

E-mail: sanjar.sultanov.89@inbox.ru

Negmatova Kamila Head of the Laboratory at the State Unitary Enterprise “Science and Development”, Tashkent State Technical University, Republic of Uzbekistan, Tashkent



Analysis of technological properties of heat-insulating aerated concrete

B.G. Kodirov¹, S.S. Shaumarov¹, S.I. Kandakhorov¹

¹Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

Annotation: The article briefly describes the historical development of aerated concrete production technology, modern methods and the contribution of Uzbek scientists to this field, and also theoretically analyzes the relationship between the thermal insulation properties of autoclaved aerated concrete and its composition, porous structure and density. The study compared aerated concrete samples with different compositions (standard, slag and sand waste variants), analyzed their thermal conductivity coefficient (λ), density (ρ) and strength. According to the results, the thermal insulation capacity of aerated concrete improved by 12–15% by adding industrial waste, and the combination of slag and sand waste gave especially optimal indicators. In addition, the fact that the λ value of aerated concrete is linearly dependent on its density was expressed through the mathematical model ($\lambda = f(\rho)$).

Keywords: aerated concrete, thermal insulation, autoclave, porosity, density, thermal conductivity coefficient, industrial waste

Sanoat chiqindilari asosidagi konstruksion gazobetonning texnologik xususiyatlarini tahlili

Kodirov B.G.¹, Shaumarov S.S.¹, Kandahorov S.I.¹

¹Tashkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekistan

Annotatsiya: Maqolada gazobeton ishlab chiqarish texnologiyasining tarixiy rivoji, zamonaviy usullar va O'zbekiston olimlarining ushbu sohadagi hissasi qisqacha yoritilgan bo'lib shu bilan birgalikda avtoklavli gazobetonning issiqlik izolyatsion xususiyatlari uning tarkibi, poroz tuzilishi va zichligi bilan bog'liqligi nazariy jihatdan tahlil qilingan. Tadqiqotda turli tarkibli gazobeton namunalari (standart, shlak va qumli chiqindilar qo'shilgan variantlar) solishtirilgan, ularning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti (λ), zichligi (ρ) va mustahkamligi analiz qilingan. Natijalarga ko'ra, sanoat chiqindilarini qo'shish orqali gazobetonning issiqlik izolyatsion qobiliyati 12–15% yaxshilanganligi, ayniqsa shlak va qumli chiqindilarning kombinatsiyasi optimal ko'rsatkichlar bergan yoritilgan. Bundan tashqari, gazobetonning λ qiymati uning zichligiga chiziqli bog'liq ekanligi matematik model ($\lambda = f(\rho)$) orqali o'z ifodasini topgan.

Kalit so'zlar: gazobeton, issiqlik izolyatsiyasi, avtoklav, porozlik, zichlik, issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti, sanoat chiqindilari.

1. Kirish

Bugungi kunda butun dunyoda energiya tejaydigan binolarni loyihalash va qurish jadal rivojlanib borayotganligi sababli, tejamkor va energiya tejovchi qurilish materiallariga bo'lgan talab muttasil ortib bormoqda. Mamlakatimiz qurilish sohasida amalga oshirilayotgan ijobiy o'zgarishlar, atrofimizda kuzatilayotgan keng ko'lamli bunyodkorlik ishlari nafaqat yangi texnika va texnologiyalarni ishlab chiqish va joriy etishni taqozo etadi, balki qurilish va binolarni ekspluatatsiya qilish xarajatlarining oshishiga ham xizmat qilmoqda.

Shu nuqtai nazardan, energiya tejovchi binolarni loyihalash va qurishda tashqi devorlar uchun samarali issiqlik izolyatsiyalash materiallarini qo'llash yoki ularning ekspluatatsiya samaradorligini ta'minlash uchun devor konstruksiyalarini zamonaviy issiqlik izolyatsiyasi standartlariga moslashtirishga alohida ahamiyat beriladi.

Hozirgi vaqtda rivojlangan mamlakatlarda energiya tejamkor va ekologik toza materiallar sifatida tan olingan gazbetondan tashqi o'rab turuvchi konstruksiyalarni

yaratishga qaratilgan keng ko'lamli tadqiqotlar olib borilmoqda. Shu munosabat bilan, gazbetonda issiqlik muhofazasi va mexanik mustahkamlik talablarini bir vaqtning o'zida qondirish uchun optimal g'ovakli konstruksiyalarni ishlab chiqish, aralashmalarga maxsus kimyoviy qo'shimchalar kiritish orqali betonning xususiyatlarini oshirish va energiya tejamkor tashqi devor konstruksiyalari uchun asosli talablarni shakllantirish dolzarb ilmiy vazifalardan biridir. Bundan tashqari, yuqori issiqlik qarshiligi va chidamliligi bilan tashqi devor tizimlarini ishlab chiqarishni ta'minlash uchun texnologik echimlar ishlab chiqilishi kerak.

Zamonaviy qurilishda energiya tejamkor va ekologik xavfsiz qurilish materiallariga ehtiyoj ortib bormoqda. Shu kontekstda yengil va issiqlikni yaxshi saqlovchi gazobetonlar alohida e'tiborga loyiq. Gazobetonning asosiy afzalliklari – uning past issiqlik o'tkazuvchanligi, yengilligi, qurilish tezligini oshirishi va ekologik tozaligidir. Biroq, uning issiqlik izolyatsion xususiyatlari tarkibiy komponentlar, poroz tuzilish va ishlab chiqarish texnologiyasiga qarab sezilarli farq qiladi. Mazkur tadqiqot gazobetonning texnologik xususiyatlarini o'rganishga,

tarkibiy modifikatsiya orqali uning issiqlik-izolyatsion samaradorligini oshirishga qaratilgan. Avvalgi tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, zichlikning oshishi issiqlik o'tkazuvchanlik ko'effitsiyentining oshishiga olib keladi, chunki materialdagi pasaytiradi. Biroq, zichlikning juda past darajasi esa materialning mexanik mustahkamligini kamaytiradi, bu esa qurilish jarayonida qo'shimcha muammolarni keltirib chiqaradi. Shunday ekan, optimal issiqlik izolyatsiya va mexanik mustahkamlikni ta'minlaydigan gazobeton parametrlarini aniqlash dolzarb vazifadir. Ushbu tadqiqot davomida tsement, silikat qum, alyuminiy kukuni va sanoat chiqindilari asosida ishlab chiqarilgan gazobeton namunalari zichlik va issiqlik o'tkazuvchanlik ko'rsatkichlari laboratoriya sharoitlarida tajribaviy tarzda o'lchandi va matematik bog'liqliklar ishlab chiqildi. Natijada gazobetonning amaliy ekspluatatsiya sharoitlaridagi samarali foydalanish sohalari belgilandi va konstruktiv tavsiyalar berildi.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Gazobeton namunalariga tsement, silikatli qum, alyuminiy kukuni va sanoat chiqindilari turli nisbatlarda qo'shilgan. Gazobeton namunalarini tayyorlashda portlandsement, silikatli qum, alyuminiy kukuni va sanoat chiqindilari (po'lat shlaki, chiqindi qum) ma'lum nisbatlarda aralashtirildi. Suv-sement nisbati 0,5 miqdorda saqlanib, yuqori g'ovaklik va bir xillik ta'minlandi. Sinovlar laboratoriya sharoitida, quyidagi parametrlar asosida o'tkazilgan ya'ni tayyorlangan aralashma 180°C haroratda va 1,2 MPa bosim ostida 8 soat davomida avtoklavlangan. Bu jarayon gazobetonning mexanik va issiqlik texnik xossalari barqarorlashtirish uchun amalga oshirildi.

O'rta zichlik (kg/m^3) – quritilgan namunalar yordamida GOST 12730.1-78 standarti asosida aniqlandi. Issiqlik o'tkazuvchanlik ko'effitsiyenti ($\text{W/m} \cdot \text{K}$) – ITP-MG "Zond" qurilmasidan foydalanilgan holda, GOST 30256-94 talablariga binoan o'lchandi. Mustahkamlik (MPa) – siqish kuchiga sinovlar o'tkazildi.

1-jadval

Gazobeton tarkibi va uning asosiy texnik xususiyatlari

Tarkibiy variant	Zichlik (kg/m^3)	Issiqlik o'tkazuvchanlik ($\text{W/m} \cdot \text{°C}$)	Mustahkamlik (MPa)
Standart	600	0.165	2.0
Shlak qo'shilgan	670	0.143	1.68
Qumli chiqindi	665	0.144	1.66
Ikkala birgalikda	652	0.132	1.675

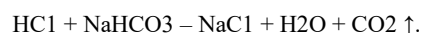
Sanoat chiqindilari qo'shilishi orqali gazobetonning ichki tuzilmasida g'ovaklarning teng taqsimlanishi ta'minlangan. Bu esa materialning issiqlik izolyatsiyasini 12-15% yaxshilagan. Ayniqsa, po'lat shlaki va chiqindi qumning birgalikdagi qo'llanilishi optimal natija bergan.

3. Natija va muhokamalar

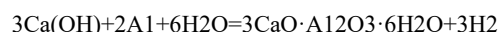
Gazbeton-gazbeton agregatlari va suv bilan to'ldirilishi

mumkin bo'lgan agregatlardan tashkil topgan gidravlik beton (tsement, beton) turi. U eng keng tarqalgan zamonaviy qurilish materiallaridan biri bo'lib, yengil, issiqlikni yaxshi ushlab turuvchi va mustahkamlik jihatidan ishonchli bo'lishi bilan ajralib turadi. Gazbeton betonning umumiy hajmining taxminan 60% ni tashkil qiladi. Misol uchun, zichligi 500 kg/m^3 bo'lgan betonda 70-75% loy mavjud. Beton tarkibidagi o'zgarish unga maxsus gaz aralashmalarining kiritilishi natijasida yuzaga keladi. Gazbetonning tasnifi fizik, mexanik va ekspluatatsion xususiyatlari bilan farq qiluvchi gazbeton va ko'pikli betonga bo'linadi. Gidrotermik ishlov berish usuliga ko'ra g'ovakbetonlar ikkita asosiy guruhga bo'linadi: avtoklav va avtoklavsiz.

Avtoklavli gazobetonlarning sifati sezilarli darajada farq qiladi, chunki ularning mineralogik tarkibi juda o'zgaruvchan. Avtoklav gazobeton ishlab chiqarish XIX asr oxirida rivojlana boshlagan. 1880 yilda Mixaylis 9-10 soat davomida 0,75-0,85 MPa bosim ostida ohak-qum aralashmasidan avtoklav usulida ishlangan gazobeton uchun patent olgan. Mixaylisning tadqiqotlari shuni ko'rsatadiki, gazobeton ishlab chiqarishda avtoklavli gazobetonlardan foydalanish texnologik jihatdan ancha murakkab hisoblanadi. Ushbu texnologiyaning tarqalishi ko'p sonli aholi uchun mo'ljallangan ko'p qavatli uylarini qurishda katta ahamiyatga ega. Biroq, avtoklavli gazobetonlar nisbatan qimmat hisoblanadi, bu esa uy-joy narxining oshishiga olib keladi. 1889 yilda Chexiya Respublikasining Praga shahrida Gofman tomonidan karbonat ангидрид gazi (CO_2) asosida gazobeton ishlab chiqarishda xlorid kislotasi va bikarbonat natriy (NaHCO_3) bilan reaksiyaga kirishishidan hosil qilingan tadqiqot olib borilgan:

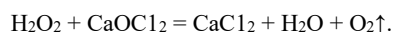


Ushbu kashfiyot asosida xonalarni ajratuvchi pardadevor uchun gazogipsli blok plitalar ishlab chiqarilgan. Ammo, ushbu plitalar suvga bardoshligi pastligi sababli xonaning namligi ortgan sari uning izolyatsiya va mustahkamligini pasaytirishiga olib keladi. Bu esa konstruktivni xizmat muddatini kamayishiga olib kelgan. Gazobeton portlandtsement, qumtuproqli tashkil qiluvchi, gaz hosil qiluvchi modda va qo'shimcha sifatida ohak qo'shib tayyorlanadi. Gaz hosil qiluvchi modda sifatida ko'pincha alyuminiy kukuni ishlatiladi. Bunda alyuminiy kukuni portlandtsementning gidratlanishidan hosil bo'lgan kaltsiy gidroksidi bilan o'zaro reaksiyasi natijasida vodorod gazi ajralib chiqadi:



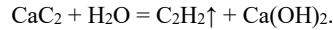
Ma'lum quyuqlikdagi gazobeton qorishmasidagi vodorod gazi chiqish jarayonida to'siqlarga uchrab, betonlarda g'ovaklarni hosil qiladi [18].

Gazobeton uchun keyingi ilmiy tadqiqot 1917 yilda Gollandiyalik olimlar tomonidan taklif etilib, unga ko'ra gazobeton ko'pirtirish vositasi sifatida organik qo'shimcha (xamirturush) ishlatilgan. Biroq, organik qo'shimchalarning betonga zararli ta'siri tufayli ixtiro keng qo'llanilmagan. Bir qator patentlarda g'ovakbetonning gazlanishi va ko'pchishi uchun kaltsiy gipoxlorit (CaOCl_2) bilan vodorod peroksidi (H_2O_2) dan foydalanishni tavsiya qilingan bo'lib, bunda kimyoviy aralashmaning ko'pchishi reaksiya paytida kislorodning ajralib chiqishi tufayli amalga oshiriladi:

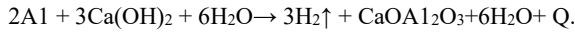


G'ovakbetonni kaltsiy karbid (CaC_2) va atsetilen gazi (C_2H_2) chiqishi bilan parchalanish reaksiyasi natijasida

ham olinishi mumkin:



1919 yilda Germaniyaning Berlin shahrida nemis olimi Grosh tomonidan gazobetonlab chiqarishda gaz hosil qilish uchun metall kukunidan foydalanishni birinchi bo'lib taklif qildi. Ma'lumki, alyuminiy va kaltsiy gidrat oksidi o'rtasida quyidagi kimyoviy reaksiya sodir bo'ladi:



Reaksiya jarayonida ko'p miqdorda gaz (vodorod) hosil bo'ladi va issiqlik ajralishi natijasida gazobetonaralashmasining ko'piklanishi kuzatiladi hamda suv bug'lanishi natijasida qotish jarayoni tezlashadi. Alyuminiy kukuni aralashma tarkibiga kiritilganda, bir xil tuzilishga ega bo'lgan g'ovaklar hosil bo'ladi. Alyuminiy kukuni gazobetonkonstruksiya sifatini va binolar ekspluatatsiya jarayonida ularning chidamliligini oshirish uchun xizmat qiladi.

Keyingi paytlarda gazobeton ishlab chiqarish rivojlanib bormoqda. Shuni ta'kidlash kerakki, gazobeton tarkibidagi g'ovaklarni bir xillikka olib kelish uchun aralashma tarkibiga alyuminiy kukuni bilan kerakli suv miqdorini qo'shish kerak bo'ladi, gazobeton penobetonidan farqli o'laroq zarralari bir xil bo'lgan bloklar faqat suv miqdori ko'proq bo'lgan aralashmalarda hosil bo'ladi. Bundan tashqari, barcha tavsiya etilgan usullarda gaz hosil qilish uchun noorganik moddalardan foydalanish orqali amalga oshiriladi. Gazobeton ishlab chiqarishda barcha MDH mamlakatlarida aralashmalarni qoliplarga quyish yo'li bilan, ya'ni "qoliplash texnologiyasi" orqali bloklarni ishlab chiqarish ommalashtirilgan yo'l hisoblanadi [1].

XX asrning 90 yillarida gazobeton konstruksiyalarni ishlab chiqarish texnologiyasi temirbeton konstruksiyalar texnologiyasidan sezilarli darajada farq qiluvchi bir qator xususiyatlarga ega bo'lgan.

Bu xususiyatlar:

- belgilangan parametrlar gazobeton aralashmasini tayyorlash uchun zarralari mayda o'lchamli to'ldirgichlar hosil qilish;
- ohak asosiy xom ashyo komponenti bo'lib, bu aralashmani kengayish xususiyatini belgilab beradi va o'ning yengillashiga olib keladi;
- tarkibida 40-60 foiz suv bo'lgan qorishmalardan iborat gazobeton mahsulotlaridan tashkil topgan aralashma tayyorlash;
- gazobeton aralashmasini qoliplarga joylash;
- avtoklav gazobetonning qotish jarayoni gidratlangan birikmalarda 170-180 °C haroratda sintezlanishi natijasida sodir bo'ladi [2].

Avtoklav gazobeton bu muayyan miqdordagi g'ovaklarga ega bo'lgan, namlikka, yong'inga va sovuqqa chidamliligi yuqori bo'lgan ekologik toza material hisoblanadi. Gazobeton konstruksiyalaridan foydalanishda, bloklarning vazni yengilligi sababli poydevorga tushadigan yukni deyarli 5 baravargacha kamaytirishi sababli qurilish jarayonlarini 10 barobargacha tezlashtirish imkonini beradi [3].

MDH mamlakatlardagi bir qator yirik tashkilot va korxonalarda tebranma texnologiyasi usulidan foydalangan holda komponentlarni aralashtirish va hosil bo'lgan qorishmani qoliplash orqali gazobetonlarni ishlab chiqarishni yo'lga qo'yilgan bo'lib, ushbu texnologiyaning afzalligi barcha komponentlar bir tekisda aralashtirishi, shu bilan birga qorishmaning ko'pchilik jarayoni sekinlashadi [4].

Betonning g'ovaklilik tuzilishi - hosil bo'lgan gazning hajmi va aralashmaning zichligi, donadorligi, suv harorati hamda to'ldiruvchi va bog'lovchilarning miqdori kabi xususiyatlari xususiyatlari bilan tavsiflanadi. Gazobetonlarni qoliplarga quyish texnologiyasida aralashmani ko'pchilik jarayoni faqat boshlang'ich komponentlarning sifati va miqdori bilan belgilanadi. Tebranma ta'sirlardan foydalanish aralashmaning tarkibiy tuzilishi, moddalarining o'zaro birikishi, aralashmaning betonga nisbatan o'zgarishini hisobga olgan holda ushbu jarayonni tartibga solish imkonini beradi. Ma'lumki, gazobeton aralashmasining qovushqoqligi yetarli darajada bo'lmaganda gaz hosil bo'lishi fazasining muvozanati buziladi, gaz hosil qiluvchi moddalar to'liq reaksiyaga kirishmasa aralashmaning yetarli darajada ko'tarilmasligi, bu esa ma'lum vaqt o'tgandan so'ng ajralib betonlarda nuqsonlar paydo bo'lishiga olib keladi. Agar qovushqoqlik juda yuqori darajada bo'lsa, mahsulotlarning ko'pchilik sekinlashadi va gazobeton aralashmasi kutilgan darajada ko'tarilmaydi, bu esa gazobetonning vazni og'irlashishiga olib keladi. Shu bilan birga, gaz hosil qiluvchi moddalar ko'p miqdorda reaksiya berishi natijasida, gazobeton strukturasi yoriqlar paydo bo'lishiga va betonning ekspluatatsiya muddati kamayishiga olib keladi. Qorishmaning qovushqoqlik xususiyati kamayishi yoki ortib ketishi har ikkala holatda ham beton mikrostrukturasi buzilishiga va sifati pasayishiga olib keladi. Shuning uchun, qorishmaning ko'pchilik uchun normal holatda qovushishini ta'minlash kerak, buning uchun esa aralashmani suyuqlashtirish orqali va turli xildagi qo'shimchalar kiritish mumkin. Gazobeton aralashmalarining ko'pchilik va strukturasi shakllantirish jarayonida gazning qorishma tarkibidan chiqish tezligi normal holatda bo'lishi talab etiladi [5].

Gazobetonlarni qoliplarga quygan holda bloklarni hosil qilishda avtoklavsiz g'ovakbeton tayyorlash texnologiyasi bir qator kamchiliklarga ega:

- texnik jihatdan nomukammal;
- tsementning ko'p miqdorda sarf bo'lishi;
- konstruksiya hosil bo'lishida past miqdorda bosim berilishi;
- og'irligi bo'yicha 20 – 30 foizgacha bo'lgan yuqori namlik;
- avtoklav betonning xususiyatlariga nisbatan yoriqbardoshligi past darajada bo'lganligi bilan tavsiflanadi.

Bu sanoat ishlab chiqarilishida miqyosida avtoklavsiz gazobeton olishda ushbu kamchiliklarni bartaraf etishga asos bo'ladi [6].

Avtoklav gazobetonlarga ishlov berish jarayonida betonning strukturasi mikrodefektlar paydo bo'lishi, bu mahsulot va konstruksiyalarning chidamliligini pasayishiga olib kelishi hamda ularni tayyorlash texnologiyasi avtoklavsiz gazobetonlarga qaraganda ancha murakkab va narxi ancha qimmat bo'lganligi sababli avtoklav bo'lmagan betonlardan foydalanish anchagina iqtisodiy samaradorlikka olib keladi [7].

Bu borada A.D. Dikun va G.P. Saxarovning olib borgan tadqiqot natijalariga ko'ra shimolda barpo etilgan binolarda o'rtacha zichligi 1000 kg/m³ bo'lgan avtoklav gazobetonlarni 17 yil ekspluatatsiya qilingandan so'ng gazobeton strukturasi salbiy o'zgarishlar: muzlash va yemirilish, turli xildagi yoriqlar, mog'orlashlar kuzatilgan. Ushbu konstruksiyalarning kamchiligi xizmat muddatining kamayishi va issiqlik o'tkazuvchanligining yuqori ekanligidir [8-9].

Bundan tashqari B.P. Danilov va A.A. Bogdanov tomonidan gazobeton bloklarining ekspluatatsiya jarayonida

yemirilishini oldini olish uchun betonning g'ovakli strukturasi turli ta'sirlarga chidamliligini oshirish bo'yicha bir qator ijobiy natijalarga erishilgan [10-11].

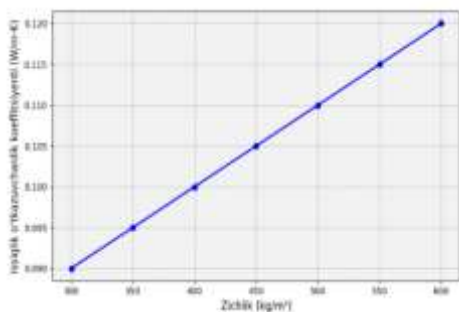
Shu bilan bir qatorda gazobeton ishlab chiqarish nazariyasi va texnologiyasining asoslari bo'yicha V.A. Kitaytsev, K.E. Goryaynov va keyinchalik Yu.M. Bazgenov, Yu.P. Gorlov, A.P. Merkin, E.V. Gladkix va boshqa atqli olimlar tomonidan ilmiy izlanishlar olib borilgan va ommalashtirilgan. Gazobeton olish texnologiyasining rivojlantirish va takomillashtirishning hozirgi bosqichida X.S. Vorob'ev, A.A. Axundova, I.B. Udachkina, U.X. Magdeeva, Yu.P. Trifonova, V.G. Suxova, E.V. Silaenkova, G.Ya. Axmaniskiy tomonidan olib borilgan. Ushbu tadqiqotlarda 300-500 kg/m³ zichlikdagi gazobetonlar ishlab chiqarishga mo'ljallangan bo'lib, asosan bino ichki parda devorlarida foydalanishga mo'ljallangan. Ammo, ushbu bloklarning kamchiligi gazobeton konstruksiyalarning mustahkamligi yetarli darajada emasligi sababli ularning katta kamchiligi hisoblanadi [1, 12, 13].

O'zbekiston olimlari A.I. Adilxodjaev, Ye.V. Shipacheva va boshqalar tomonidan olib borilgan ilmiy tadqiqotlarida oldindan belgilangan xossalarga ega bo'lgan gazobeton strukturasi g'ovaklar kubik va geksagonal tartibda joylashtirish orqali uning mustahkamligining oshishi ilmiy isbotlangan [14-15].

Gazobeton tarkibiga chiqindilarni qo'llash bo'yicha mahalliy olimlardan A.X. Alinazarov o'zining ilmiy tadqiqotlarida Farg'ona IES kulini kul-tsementli kompozitsiyasida qo'llash masalasiga qaratilgan [15]. Olim kulning 40-80 foiz miqdorida kiritilishi kul-tsementli kompozitsiyaning issiqlik o'tkazuvchanligi yaxshilanishiga olib kelishi ilmiy isbotlangan. Bu esa sanoat chiqindilarini gazobetongakiritish samaradorligini hamda kulning kichik gidravlik aktivligi bilan tushuntiriladi. Kompozitsiya tarkibida kul miqdorining 80 foizgacha kiritishda mustahkamlik kinetikasining sekinlashuvi aniqlandi. Shuni ta'kidlash kerakki, mayda to'ldiruvchilarni iqtisod qilish va mustahkamligini oshirish uchun xizmat qiladi [16-17].

Gazobeton bloklarining yaxshilangan issiqlik texnik xossalari binoning issiqlik tejamlilik va energiyasamaradorlik ko'rsatkichlarini, shuningdek, uzoq muddat ekspluatatsiya qilishga yordam beradi. Shuning uchun ushbu xossalarni yaxshilash uchun xizmat qiladigan materiallar xom ashyo bazasining mavjudligi muhim hisoblanadi. Shu boisdan ham gazobeton xom ashyosi materiallari xossalarni ko'rib chiqamiz.

Issiqlik izolyatsiyalovchi gazobetonning issiqlik-texnik xossalarni tahlil qilishda materialning zichligi muhim rol o'ynaydi. Quyidagi grafikda gazobetonning zichligi ortishi bilan issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti qanday o'zgarishi ko'rsatilgan.



1-rasm. Zichlik va issiqlik o'tkazuvchanlik bog'liqligi

Grafikdan ko'rinib turibdiki, zichlik 300 kg/m³ dan 600 kg/m³ gacha oshganda, issiqlik o'tkazuvchanlik

koeffitsiyenti ham mos ravishda 0.09 W/m·K dan 0.12 W/m·K gacha ortmoqda. Bu hodisa fizika jihatdan tushunarli: zichlik ortgani sari materialdagi g'ovaklik darajasi kamayadi, ya'ni issiqlikni tutib turuvchi havo yostiqchalari soni qisqaradi. Natijada issiqlik energiyasi materialdan tezroq o'ta boshlaydi.

Gazobetonning asosiy issiqlik izolyatsiyalovchi xususiyati — uning g'ovakli (poroz) tuzilmasi bilan bog'liq. Material ichida millionlab mayda havo yostiqchalari mavjud bo'lib, aynan havo (yoki gaz) issiqlikni juda sust o'tkazadi. Bu shuni anglatadiki:

G'ovaklar qancha ko'p va mayda bo'lsa, materialning issiqlik o'tkazuvchanligi shuncha past bo'ladi. Shunday qilib, tashqarisi issiq bo'lsa — ichki qism sovuq qoladi, va aksincha, sovuq havoda esa bino ichidagi issiqlik uzoq saqlanadi.

Bu fizik jihatdan "issiqlik inertsiyasi" va "issiqlik qarshiligi" deb ataladigan xususiyatlarga bog'liq. Ya'ni, gazobeton issiqlik oqimini sekinlashtiradi, uni to'liq o'tkazib yubormaydi, natijada uy ichida barqaror, qulay mikroiklim saqlanadi. Shu bilangina gazobetonning "nafas oluvchi issiqlik qalqoni": u na issiqlikni tez o'tkazmaydi, na sovuqni, shu sababli uydagi harorat uzoq muddat davomida barqaror bo'lishini ta'minlaydi.

Gazobetonning zichligi (ρ) uning hajm birlik massasini anglatadi va odatda kg/m³ birlikda ifodalanadi. Ko'pincha gazobeton quyidagi zichlik oraliqlarida ishlab chiqariladi: 300–400 kg/m³ — juda yengil (izolyatsion gazobeton), 500–600 kg/m³ — konstruktiv-izolyatsion gazobeton, 700–900 kg/m³ — ko'proq konstruktiv yuk ko'taruvchi gazobeton.

Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti — materialning issiqlikni o'tkazish xususiyatini ifodalovchi asosiy ko'rsatkich bo'lib, W/(m·K) bilan o'lchanadi. Qiymat qanchalik kichik bo'lsa, material shuncha yaxshi issiqlik izolyatoridir. Bunga misol sifatida quyidagi jadvalni keltirish mumkin:

2-jadval

Gazobetonning zichligi va issiqlik o'tkazuvchanligi bog'liqligi

Gazobetonning zichligi, kg/m ³	Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti λ , W/(m·K)
300	0,07–0,09
400	0,09–0,12
500	0,12–0,14
600	0,14–0,17
700	0,17–0,20
800	0,20–0,24

Gazobetonning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti faqat uning zichligiga bog'liq ekanligi asoslangan. Quyidagi tenglama orqali ifodalanadi:

$$\lambda_g = \frac{\rho_g}{\rho_k} \lambda_k + (1 - \frac{\rho_g}{\rho_k}) \lambda_v \quad (1)$$

bu yerda:

λ_g — gazobetonning issiqlik o'tkazuvchanligi;

ρ_g — gazobeton zichligi;

ρ_k — mikroporali tsement toshi (MKT) zichligi;

λ_k — MKT ning issiqlik o'tkazuvchanligi;

λ_v — havoning issiqlik o'tkazuvchanligi (20°C da 0,02 W/(m·°C) ga teng).

Yuqoridagi tahlillar shuni ko'rsatadiki, eng yuqori issiqlik izolyatsiyasi 300–400 kg/m³ zichlikdagi gazobetonlarda kuzatiladi. Shu sababli energiya tejamlor qurilishlarda aynan shu diapazondagi materiallardan foydalanish tavsiya etiladi. Bundan tashqari, yuqori zichlikka ega gazobetonlar (500–600 kg/m³) konstruksion

yuk ko'tarish xususiyatlari bilan ajralib turadi, ammo ularning issiqlik o'tkazuvchanligi nisbatan yuqori bo'ladi. Shu bois, ularni tashqi devorlar emas, balki yuk ko'taruvchi devorlar yoki ichki devorlar uchun ishlatish maqsadga muvofiqdir. Ushbu tahlil material tanlashda muvozanatli yondashuv zarurligini ko'rsatadi: issiqlik izolyatsiyasi va mexanik mustahkamlik o'rtasidagi optimal nisbat loyihaning maqsadiga qarab aniqlanishi lozim.

4. Xulosa

Gazobetonning zichligi kamayishi bilan uning tarkibidagi havo miqdori ko'payib, issiqlik izolyatsiya xossalari yaxshilanadi, ammo mexanik mustahkamlik kamayadi. Shu sababli gazobetonni tanlashda qurilishning maqsadi va ekspluatatsiya sharoitlariga qarab optimal zichlik va issiqlik koeffitsiyentini tanlash zarur bo'ladi.

O'tkazilgan tadqiqotlar natijasida gazobetonning zichligi va issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti o'rtasidagi aniq bog'liqlik ilmiy asosda tasdiqlandi. Zichlik ortgani sari issiqlik o'tkazuvchanligi ortadi, bu esa g'ovaklar sonining kamayishi bilan izohlanadi. Zichligi 300–400 kg/m³ oralig'idagi gazobeton namunalari eng yaxshi issiqlik izolyatsiyasini ko'rsatdi, ammo konstruktiv mustahkamligi past bo'lishi sababli faqat ichki issiqlik izolyatsion element sifatida tavsiya etiladi.

Zichligi 500–600 kg/m³ oralig'idagi gazobeton optimal mustahkamlik va issiqlik izolyatsiyasini ta'minlaydi, shuning uchun ham tashqi va ichki konstruktiv elementlarda keng qo'llanilishi mumkin. 700 kg/m³ va undan yuqori zichlikdagi gazobetonlar esa yuk ko'taruvchi konstruksiyalar uchun mo'ljallangan, ammo issiqlik izolyatsiya ko'rsatkichlari ancha past bo'ladi.

Xulosa qilib aytganda, gazobeton parametrlarini tanlashda loyihaning ekspluatatsion talablarini hisobga olish muhim. Energiya tejamkor qurilishlarda past zichlikdagi gazobetonni ishlatish samaraliroq, ammo konstruktiv mustahkamlik talab etilganda o'rta zichlikdagi materiallardan foydalanish tavsiya etiladi. Bu tadqiqot natijalari gazobeton ishlab chiqarishda optimal parametrlarni tanlashga ilmiy asos yaratadi va qurilish sanoatida energiya tejamkor, samarali yechimlar yaratishga xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar / References

- [1] Сажнев Н.П. Производство ячеистобетонных изделий: теория и практика [Текст] / [Н.П. Сажнев, В.Н. Гончарик, Г.С. Гарнашевич и др.]-Мн.:Стринко, 2009.-С 22-24
- [2] Федин А.А. Ячеистые бетоны на основе местного и попутного сырья [Текст] / А.А. Федин.- М.: ВНИИТТИЭПМС, 2009.-С-8.
- [3] Ахундов А.А. Состояние и направления развития производства легких бетонов в России [Текст] / А.А. Ахундов, Ю.В. Гудков // Бетон и железобетон в третьем тысячелетии. Материалы международной научно-практической конференции. - Ростов-на-Дону. - 2000. - С. 50 - 55.
- [4] Воробев Х.С. Бескрановая конвейерная линия "Виброблок" для производства стеновых блоков из

ячеистого бетона [Текст] / Х.С. Воробев // Строительные материалы. - 2003. - № 7. - С. 2 - 4.

[5] Горлов Ю.П. Технология теплоизоляционных и акустических материалов и изделий [Текст] / Ю.П. Горлов.- М.: Выс. шк., 1989. С. 77—89.

[6] Волженский А.В. Изготовление изделий из неавтоклавного газобетона [Текст] / А.В. Волженский // Стр.матер. - 2003. - № 8. - С. 12-13.

[7] Паплавскис Я.М. Предпосылки дальнейшего развития производства и применения ячеистого бетона в современных условиях [Текст] / Я.М. Паплавскис и др. // Строительные материалы. - 2006. - № 3. - С. 2 - 6.

[8] Дикун А.Д. Дилатометрические исследования газозобетона [Текст] / А.Д. Дикун, Т.В. Златинская // Долговечность конструкций из автоклавных бетонов: Тез. докл. 6-ой Республ. конф. - Таллин, 2007. ч. 1-79 с.

[9] Сахаров Г.П. Сравнительная оценка надежности газобетона разных видов и структуры [Текст] / Г.П. Сахаров, Б.Н. Виноградов, С.В. Кропивницкий // Бетон и железобетон. - 2007. -№3,- С. 6-8.

[10] Гладков Д.И. Баротехнология ячеистобетонных изделий [Текст] / Д.И. Гладков, Л.А. Сулейманова, А.Б. Мананов // Бетон и железобетон в третьем тысячелетии. Материалы международной научно-практической конференции. - Ростов-на-Дону. - 2000. - С. 125 - 127.

[11] Данилов Б.П., Богданов А.А. Ограждающие конструкции из ячеистого бетона переменной плотности [Текст] / Б.П. Данилов, А.А. Богданов.- М.: Стройиздат, 2004. - 102 с.

[12] Hebei. Technical Handbook / Edition 5 / CSR Hebei (Australia) - Ptyltd ACN 003.392.621.2003.220 c.

[13] Меркин А.П. Формирование макроструктуры ячеистых бетонов [Текст] / А.П. Меркин и др. // Строительные материалы. - 1963-№ 12- С. 16-17.

[14] Shaumarov, S., Kandakhorov, S., Umarov, K. Development of the Optimal Composition of Aerated Concrete Materials on the Basis of Industrial Waste. AIP Conference Proceedings, 2022, 2432, 030087

[15] Shaumarov, S., Adilkhodjaev, A., Kondrazhenko, V. Experimental research of structural organization of heat-insulating structural building materials for energy efficient buildings. E3S Web of Conferences, 2019, 97, 02009

[16] Газиев У.А., Ризаев Х.А. К проблеме эффективности использования отходов промышленного производства. Журнал «Общественные науки в Узбекистане» Ташкент-2000. Стр. 55-56.

[17] Газиев У.А. «Отходи промышленности в производстве строительных материалов и изделий». Учебник-Ташкент-2015. Стр. 232-242.

[18] www.som.pu.ru интернет тармоғи.

Mualiflar haqida ma'lumot/ Information about the authors

B.G'. Kodirov	Tashkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekistan
S.S. Shaumarov	Tashkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekistan
S.I. Kandahorov	Tashkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekistan

Evaluation of spatial-structural properties and thermal technical indicators of autoclave-free aerated concrete produced from industrial waste

B.G. Kodirov¹, S.S. Shaumarov¹, S.I. Kandakhorov¹

¹Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

Annotation: This article explores the phase-structural properties and thermal specifications of autoclaved gazobeton samples using industrial waste, including quartz sand and steel smelting slag. The size, shape, and distribution of pores in Gazobeton have been estimated using electron microscopy and radiofascial analysis methods. Based on the results of the experiment conducted, the thermal conductivity coefficient was determined in the range 0.138–0.147 W/(m·°C) in gazobeton samples enriched with industrial waste. The results of the study showed that the optimal size and distribution of pores significantly improves the thermal insulating and mechanical properties of the material. The microstructure and analysis of the mineral phase composition of gazobeton determined its potential to increase energy efficiency and strength indicators.

Keywords: gasobeton, industrial waste, autoclave-free technology, porous structure, thermal conductivity coefficient, X-ray analysis, electron microscopy, physical and mechanical properties, phase composition.

Sanoat chiqindilari asosidagi konstruksion gazobetonning fizik-mexanik xossalarni baholash

Kodirov B.G.¹, Shaumarov S.S.¹, Kandahorov S.I.¹

¹Tashkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekistan

Annotatsiya: Ushbu maqolada sanoat chiqindilaridan, jumladan kvarts qumi va po'lat eritish shlakidan foydalanilgan avtoklavsiz gazobeton namunalari fazaviy-strukturaviy xususiyatlari va issiqlik texnik ko'rsatkichlari tadqiq qilingan. Gazobeton tarkibidagi g'ovaklarning o'lchami, shakli va taqsimoti elektron mikroskopiya va rentgenofazaviy analiz usullari yordamida baholangan. Olib borilgan tajriba natijalariga ko'ra, sanoat chiqindilari bilan boyitilgan gazobeton namunalarda issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti 0,138–0,147 W/(m·°C) oraliqda aniqlangan. Tadqiqot natijalari g'ovaklarning optimal o'lchami va taqsimoti materialning issiqlik izolyatsion va mexanik xossalarni sezilarli darajada yaxshilashini ko'rsatdi. Gazobetonning mikrostrukturalari va mineral faza tarkibining tahlili uning energiya samaradorligi va mustahkamlik ko'rsatkichlarini oshirish imkoniyatlarini belgilab berdi.

Kalit so'zlar: gazobeton, sanoat chiqindilari, avtoklavsiz texnologiya, g'ovak struktura, issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti, rentgenofazaviy tahlil, elektron mikroskopiya, fizik-mexanik xossalari, fazaviy tarkib.

1. Kirish

Qurilish materiallarining energiya tejamlorligi va ekologik tozaligiga bo'lgan talablar ortib borayotgan bir paytda, energiya samarador texnologiyalar asosida gazobeton bloklari ishlab chiqarish alohida ahamiyat kasb etmoqda. Gazobeton — bu kam zichlikka, yuqori issiqlik izolyatsiyasi xususiyatiga va yetarli darajadagi mustahkamlikka ega hujayraviy beton turidir. Bunday xossalari tufayli gazobeton kam qavatli va energiya samarali qurilishda ajralmas material hisoblanadi.

Zamonaviy gazobeton ishlab chiqarish texnologiyalari faqatgina tayyor mahsulotlarning fizik-mexanik xususiyatlarini yaxshilashni emas, balki ishlab chiqarishning barcha bosqichlarida — xom ashyo aralashmasini tayyorlashdan boshlab avtoklavli ishlov berishgacha — energiya sarfini kamaytirishni maqsad qilgan. Komponentlarni avtomatlashtirilgan tarzda dozalastirish tizimlari joriy etish, avtoklav rejimlarini optimallashtirish,

texnologik issiqlik va suvni qayta foydalanish, muqobil bog'lovchi materiallardan foydalanish kabi choralar energiya sarfini sezilarli darajada kamaytirish va mahsulot tannarxini sifatni yo'qotmagan holda pasaytirishga imkon beradi.

Bundan tashqari, barqaror rivojlanish va yopiq ishlab chiqarish sikli konsepsiyasiga mos ravishda ikkilamchi resurslardan — masalan, uchuvchi kul, mikrosilika va qurilish chiqindilaridan — foydalanishga ham alohida e'tibor qaratilmoqda. Gazobeton mahsulotlarini ishlab chiqarish texnologiyasi beton aralashmasining tarkibiga bevosita bog'liq bo'lib, beton massasida hosil bo'ladigan g'ovakli struktura, uning shakllanish usullari, gazobetonning mustahkamligi va boshqa ko'plab o'ziga xos xususiyatlar bilan belgilanadi.

Beton aralashmasining asosiy komponentlaridan biri gaz hosil qiluvchi modda (odatda alyuminiy kukuni) va gidratlangan kaltsiy oksidi bilan o'zaro ta'sirga kirishganda vodorod ajraladi. Suvda yomon eriydigan ushbu gaz beton aralashmasida ko'plab gazsimon g'ovaklar hosil qiladi, natijada gazobetonning o'ziga xos hujayraviy tuzilmasi

shakllanadi. Zamonaviy qurilish sanoatida energiya samaradorligi va ekologik tozalikka bo'lgan talabning ortishi natijasida yengil vaznga va past issiqlik o'tkazuvchanlik xususiyatiga ega qurilish materiallariga ehtiyoj oshmoqda. Gazobeton bunday talablarni qondira oladigan muhim qurilish materiali sifatida keng qo'llanilmoqda. Uning asosiy afzalliklari g'ovakli tuzilma natijasida yuzaga keluvchi past issiqlik o'tkazuvchanlik va yengil vazn hisoblanadi.

Ayni vaqtda, sanoat chiqindilaridan, xususan, kvarts qumi va po'lat eritish shlakidan foydalanib, gazobeton ishlab chiqarishni takomillashtirish imkoniyatlari keng tahlil qilinmoqda. Ushbu tadqiqotda gazobeton tarkibida sanoat chiqindilarini qo'llashning issiqlik texnik va fazaviy xususiyatlarga ta'siri o'rganildi. Maqola sanoat chiqindilari asosida tayyorlangan gazobetonning rentgenofazaviy tahlili, elektron mikroskopik tasviri va issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentini o'lchash natijalariga asoslangan holda materialning optimal tarkibiy va strukturaviy parametrlarini aniqlashga qaratilgan.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Tadqiqot ishining asosiy maqsadi — sanoat chiqindilari asosida ishlab chiqarilgan avtoklavsiz gazobetonning fazaviy va struktura xususiyatlarini, shuningdek, issiqlik texnik ko'rsatkichlarini tajribaviy va analitik usullarda o'rganishdan iborat. Tadqiqot quyidagi bosqichlarda olib borildi:

Namuna tayyorlash: Gazobeton namunalarini tayyorlashda sanoat chiqindilari — kvarts qumi va po'lat eritish shlaki — asosiy xom ashyo sifatida ishlatildi. Tayyorlangan qorishma $100 \times 100 \times 100$ mm o'lchamdagi kub shaklida quyildi va tabiiy sharoitda qattiqlashtirildi. (1-rasm).



1-rasm. Tayyorlangan namunaning umumiy ko'rinishi

Rentgenofazaviy tahlil: Gazobeton namunalari fazaviy tarkibi rentgen difraksiyasi (XRD) usuli bilan o'rganildi. Rentgenogrammalar yordamida kremniy oksidi, kalsiy oksidi, temir oksidi, kalsiy silikatlar, alyuminiy va magniy oksidlarining mavjudligi aniqlanib, ularning kristall strukturalari tasdiqlandi.

Elektron mikroskopiya: Namunalarning mikrostrukturasi aniqlash uchun elektron mikroskopik tasvirlar olindi. G'ovaklarning o'lchami, shakli va taqsimoti tahlil qilindi. G'ovaklarning o'rtacha o'lchami 400–600 mkm oralig'ida ekanligi aniqlangan. Fizik-mexanik xossalarni baholash: Namunalarning zichligi GOST talablari asosida aniqlandi. Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti nazariy hisob-kitoblar asosida va eksperimental yo'l bilan

o'lchandi.

Natijalarni tahlil qilish: Olingan rentgenogrammalar, mikroskopik tasvirlar va issiqlik o'tkazuvchanlik ko'rsatkichlari asosida gazobetonning fazaviy va struktura xususiyatlari baholandi va ularning issiqlik texnik ko'rsatkichlarga ta'siri tahlil qilindi. Metodologiya asosida olib borilgan tajribalar sanoat chiqindilaridan foydalanish orqali gazobetonning energiya samaradorligi va ekologik ustunliklarini tasdiqladi hamda ishlab chiqarish texnologiyasini optimallashtirish uchun ilmiy asos yaratdi.

3. Natija va muhokamalar

Yengil vazn va past issiqlik o'tkazuvchanlik — gazobetonning asosiy afzalliklaridan hisoblanadi. Bunday xususiyatlarga bu qurilish materiali uning g'ovakli tuzilishi tufayli ega bo'ladi. Ushbu maqolada gazobeton va boshqa hujayraviy beton turlarida g'ovaklarning qanday hosil bo'lishi va ular material xossalari qanday ta'sir ko'rsatishi batafsil yoritib beriladi.

Issiqlik izolyatsiyalovchi materiallarning o'ziga xos xususiyati ularning issiqlik o'tkazuvchanligini sezilarli darajada kamaytiradigan yuqori miqdordagi g'ovakli strukturasini hisoblanadi.



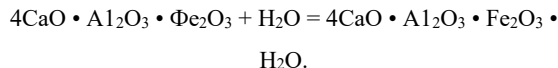
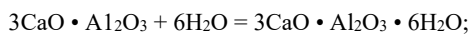
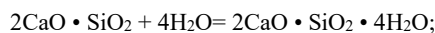
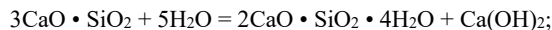
2-rasm. Gazobetonlardagi g'ovaklarning ko'rinishi

Bunda issiqlik o'tkazuvchanligiga materialning g'ovaklari miqdori, g'ovak o'lchamlari va shakli katta ta'sir ko'rsatadi. Yopiq sharsimon shaklga ega g'ovaklari ko'p bo'lgan materiallar eng yaxshi issiqlik izolyatsiyasi qobiliyatiga ega hisoblanadi [1].

Qorishma tarkibidagi xom ashyo sifatini baholashdan maqsad sanoat chiqindisi asosidagi gazobetonning kimyoviy va mineralogik tarkibiga e'tibor qaratish va strukturani shakllantiruvchi omillarni o'rganish hamda zararli oksidlari, minerallarning ko'p miqdordagi turli foizlarda mavjudligi, fizik-mexanik xususiyatlarini ta'sirini aniqlashdan iborat.

Olib borilgan eksperimental tadqiqotlar natijasiga ko'ra sanoat chiqindilari tarkibida CaO , MgO , SiO_2 , MnO , Al_2O_3 , P_2O_5 , va $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ oksidlari mavjudligi aniqlandi. Ushbu xom ashyo tarkibidagi oksidlar qotish jarayoniga va normal sharoitda biriktiruvchi xususiyatlarining namoyon bo'lishiga o'z ta'sirini o'tkazadi. Oksidlarning faollik koeffitsienti materialning sifatini bog'lovchi moddalar ishlab chiqarish uchun xom ashyo sifatida foydalanishga yaroqliligi haqida aniq baho berishga imkon beradi. Portland sementning qotish jarayoni bu alyuminatlar va kalsiy alyuminiyatlar hamda ferritlarni gidratsiyalanishini o'z ichiga olgan murakkab fizik-kimyoviy jarayondir. Sement suv bilan reaksiyaga kirishganda, unda eriydigan asosiy minerallar quyidagi tenglamalar bo'yicha

gidratlanadi:

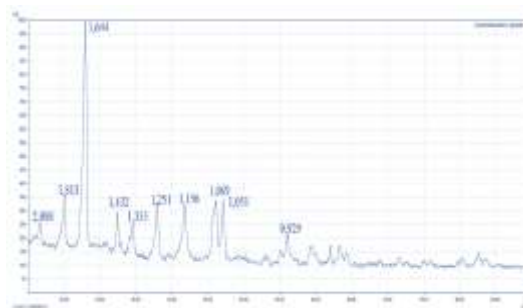


Bunda xom ashyo turiga, atrof-muhit ta'siriga, haroratga, bog'lovchi moddalarning qotish vaqti va qotish sharoitlariga qarab, g'ovakbetonning tarkibi, tuzilishi va bog'lash xususiyatlaridan farq qiluvchi turli xil neoplazmalar paydo bo'lishi mumkin. Avtoklavsiz gazobeton tarkibida mavjud bo'lgan sanoat chiqindilari qo'llanilgan kvarts qumining mayda zarralari sementning strukturasi shakllantirish jarayonida faol ishtirok etib, hosil bo'lgan bloklarning g'ovak devorlarining zichligini oshirish hisobiga mustahkamligini oshirishga yordam beradi [2-3]. Portlandsement zarralari suv bilan reaksiyaga kirilganda, karbonat kaltsiy bilan bog'lovchi moddalarning mayda donalari bilan birgalikda yaxlit bo'lgan zarralar hosil bo'ladi. Bu ta'sir natijasida kontakt zonalarida mustahkam bo'g'inlar paydo bo'lishiga olib keladi [4]. Avtoklavsiz gazobeton namunalarning g'ovakliligi va uning tarkibini aniqlash hamda g'ovaklarining strukturasi to'liq tadqiq etish uchun rentgenogramma tahlili usulidan foydalanildi. Sementning fazaviy tarkibida paydo bo'lgan o'zgarishlarni aniqlash uchun rentgenogrammalar tahlili o'tkazildi (3-rasm).



3-rasm. Sanoat chiqindi kvarts qumi yordamida hosil qilingan gazobetonning rentgenogrammasi

Olingan rentgen tahlillari shuni ko'rsatdiki, gazobeton tarkibida tegishli kimyoviy moddalar quyidagi fazalarda mavjudligi aniqlandi: kremniy oksidi (d, nm = 1,669; 1,512 Å) SiO_2 ; temir dioksidi (d, nm = 1,440 Å) Fe_2O_3 ; oltingugurt (VI) oksidi (d, nm = 1,584; 0,945 Å) CO_3 ; kalsiy oksidi (d, nm = 1,207; 1,002 Å) CaO ; natriy oksidi hamda alyuminiy oksidi (d, nm = 0,880 Å) $\text{Na}_2\text{OAl}_2\text{O}_3$. Ushbu fazalar bog'lovchining reaksiyaga kirishuviga, fizik-mexanik xossalriga ijobiy ta'sir etib, tashqi ta'sirlarga chidamliligini oshirishga xizmat qiladi. Sementning kimyoviy tarkibiga o'xshash bo'lgan po'lat eritish shlakining kimyoviy tarkibi rentgenogrammalarning tahlili asosida aniqlandi (4-rasm).



4-rasm. Po'lat eritish shlaki yordamida tayyorlangan gazobetonning kimyoviy o'zgarishning rentgen-strukturaviy tahlili

Po'lat eritish shlaki qo'llanilgan gazobetonning tarkibi kalsiy silikat gidratasiya mahsulotlarini o'z ichiga oladi: $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (d, nm = 2,088 Å), gidrolit $2\text{CaO} \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (d, nm = 1,432 Å). Kristallardan iborat bo'lgan kimyoviy andraditlar $\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)_2$ (d, nm = 1,644 Å) va $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ (d, nm = 1,156 Å) oksid fazalari aniqlandi.

Shuningdek, quyidagi kimyoviy oksid fazalari ham mavjud:

Kalsiy CaCO_3 (d, nm = 1,35 Å);

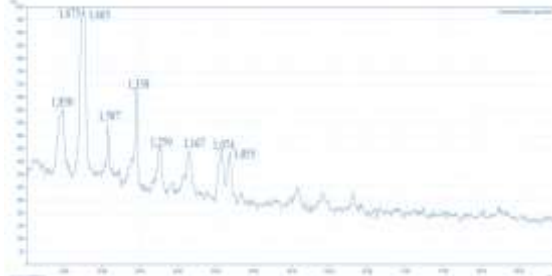
Glaukonit ($\text{K}, \text{H}_2\text{O}$) ($\text{Fe}_3, \text{Al}, \text{Fe}_2, \text{Mg}_2$) $[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}](\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (d, nm = 1,251 Å);

Brusterit $\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16}) \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (d, nm = 1,069 Å);

Analsim $\text{Na}(\text{AlSi}_2\text{O}_6) \cdot \text{H}_2\text{O}$ (d, nm = 1,051 Å);

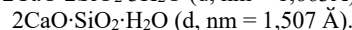
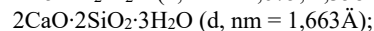
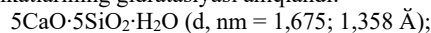
Marganesli kalsiy (Ca, Mn) SO_3 (d, nm = 0,929 Å).

Aniqlangan ushbu fazalar po'lat eritish shlaki qo'llanilgan gazobeton bloklarining fizik-mexanik xossalari yaxshilanishiga yordam beradi. Sanoat chiqindi kvarts qumi va po'lat eritish shlaki yordamida hosil qilingan gazobeton kompozitsiyalarining rentgenogrammalari 5-rasmga keltirilgan.

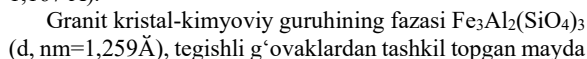
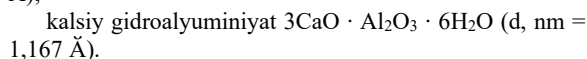
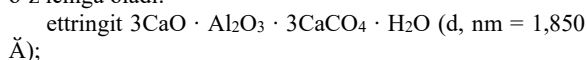


5-rasm. Sanoat chiqindi kvarts qumi va po'lat eritish shlaki yordamida hosil qilingan gazobetonning rentgenogrammasi

5-rasmidagi rentgenogramma natijalari shuni ko'rsatadiki sanoat chiqindi kvarts qumi asosidagi gazobeton namunalarda mikrostrukturaviy g'ovaklarga ega bo'lgan kalsiy silikatlarining gidratasiyasi aniqlandi:



Kalsiy alyuminatlar va alyuminoferitlari gidratasiyasidan hosil bo'lgan gazobeton quyidagi fazalarni o'z ichiga oladi:



fazalarini quyidagilardan iborat:

monomorillonit $\text{Al}_2[\text{OH}]_2 \cdot (\text{Si}_4\text{O}_{10}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ($d, \text{nm} = 1,074 \text{ \AA}$);

kaolinit $\text{Al}_2(\text{OH})_4 \cdot (\text{Si}_2\text{O}_5)$ ($d, \text{nm} = 1,055 \text{ \AA}$).

Ushbu kimyoviy tarkiblar orqali gazobetonning kimyoviy xossalari o'zining fizik-mexanik xususiyatlarini yaxshilanishiga xizmat qiladi hamda uning umrboqiyiligi, olovbardoshligi, muzlashga chidamligi kabi xususiyatlarini yaxshilanishiga olib keladi. Sanoat chiqindilari qo'llanilgan barcha namunalar strukturasi tahlili shuni ko'rsatdiki, chiqindi kvarts qumi qo'shilgan gazobeton bir tekis taqsimlangan g'ovakli tuzilishga ega bo'lib, bu esa o'z navbatida issiqlik o'tkazuvchanligiga ijobiy ta'sir ko'rsatadi. Shuning uchun tadqiqot ishining keyingi bosqichida ushbu gazobeton tarkibining issiqlik o'tkazuvchanligini tadqiq etishdan iborat.

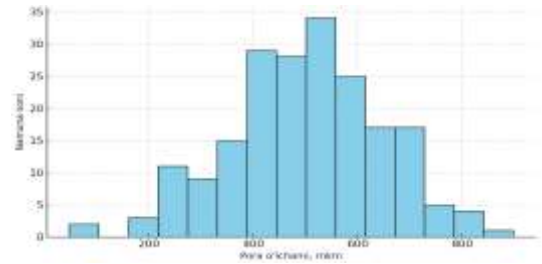
Issiqlik o'tkazuvchanligini aniqlash uchun avtoklavsiz gazobeton 100x100x100 mm o'lchamdagi namunalar tayyorlandi. So'ng issiqlik o'tkazuvchanligi "Qurilish issiqlik texnikasi" me'yoriy qoidalariga asosida nazariy hisob-kitoblarga bo'yicha aniqlangan. Sanoat chiqindisi asosidagi gazobetonning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti natijalari 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti

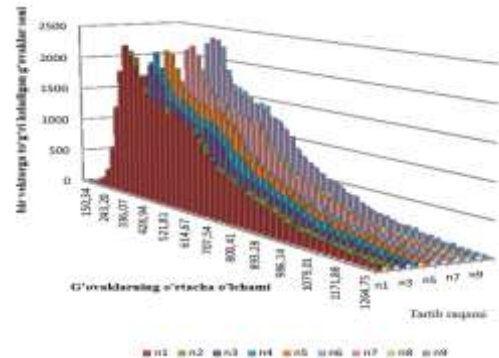
Gazobeton tarkibi	Zichligi, kg/m^3	$\lambda, \text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ 1 namuna	$\lambda, \text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ 2 namuna	$\lambda, \text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ 3 namuna
Ishlab chiqarish tashkiloti	667	0,1415	0,1395	0,144
tarkibi bo'yicha tayyorlangan gazobeton	656	0,143	0,143	0,1415
	662	0,145	0,144	0,1435
	652	0,139	0,138	0,142
Sanoat chiqindi kvarts qumi asosidagi gazobeton	658	0,141	0,139	0,141
	660	0,1425	0,142	0,145
	650	0,14	0,143	0,142
Po'lat eritish shlaki asosidagi gazobeton	648	0,142	0,145	0,144
	646	0,1435	0,146	0,145
	662	0,141	0,145	0,143
Sanoat chiqindi kvarts qumi va shlaki asosidagi gazobeton	664	0,143	0,141	0,142
	663	0,1445	0,146	0,147

Birinchi (chiqindi qumi), ikkinchi (po'lat eritish shlaki) va uchinchi (chiqindi kvarts qumi va shlaki) namunalar (D600 markali) 650-664 kg/m^3 zichlik ko'rsatkichlariga ega bo'lgan gazobeton olindi. Ushbu namunalarning issiqlik o'tkazuvchanligi 0,142-0,169 $\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ ni tashkil etdi. Bu esa GOST 10180-2012 talablariga to'la javob beradi. Olib borilgan tadqiqotlar Davidyuk A.N. [5] nazariyasiga ham to'liq mos kelib, unga ko'ra materialning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti uning o'rtacha zichligiga va strukturasi bog'liq bo'lib, materialning xususiyatiga qarab 60-70 foizgacha o'zgarishi mumkin. Shuningdek, g'ovakbetonning mineralogik tarkibini tanlashda, gazobetonning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti, o'rtacha zichligi, material strukturasi eng maqbul echimini topish muhim ahamiyat kasb etadi. Gazobetonida g'ovaklar hajmining ortishi hamda ularning bir-biri bilan o'zaro ochiq kanallar hosil qilishi issiqlikdan himoya xossalari yomonlashishiga olib keladi. Shuning uchun g'ovakbetonlarni ishlab chiqarishda imkon qadar bir xil shakldagi g'ovak tuzilishga ega bo'lgan issiqlik izolyatsion materiallarni yaratishga harakat qilinadi. Bu struktura nafaqat issiqlik xususiyatlarini yaxshilaydi, balki mustahkamlik xususiyatlarini ham oshiradi [6]. Shuni inobatga olgan holda keyingi bo'limda gazobeton strukturasi uning mustahkamligi va issiqlik o'tkazuvchanligiga ta'siri batafsil ko'rib chiqamiz.



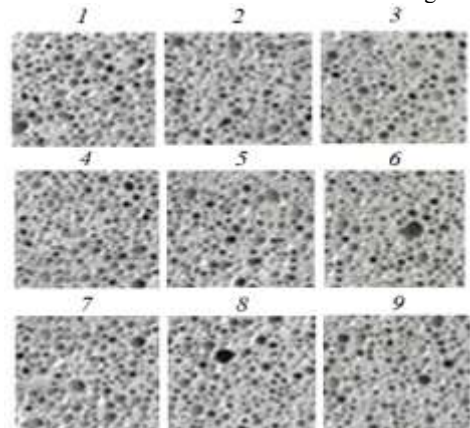
6-rasm. Pora o'lchamlari bo'yicha taqsimot gistogrammasi

6-rasmga gazobeton namunasidagi pora o'lchamlarining taqsimotiga oid gistogramma tasvirlangan. Gistogrammada pora o'lchamlari mikrometr (mkm) birligida gorizontal o'qda, ularning takrorlanish chastotasi esa vertikal o'qda ko'rsatilgan. Taqsimotning shakli g'ovak strukturaning nisbatan bir xil va tarqoq xususiyatiga ega ekanligini ko'rsatadi. Pora o'lchamlari asosan 400-600 mkm diapazonida jamlangan bo'lib, bu gazobetonning past zichlik va yuqori issiqlik izolyatsiya xususiyatlarini ta'minlaydi. Eng ko'p uchraydigan pora diametri 500 mkm atrofida qayd etilgan. G'ovaklarning o'lcham oralig'i va ularning taqsimoti materialning issiqlik o'tkazuvchanligi, mustahkamligi hamda suv shimish xususiyatlariga sezilarli ta'sir ko'rsatadi.



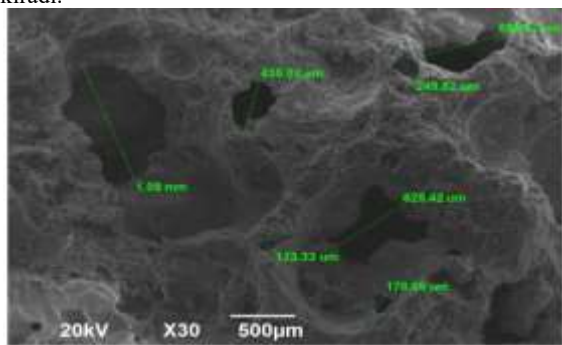
7-rasm. G'ovaklarning o'lcham bo'yicha taqsimlanish gistogrammasi

Ushbu taqsimot tahlili gazobetonning optimal fazaviy va struktura xususiyatlarini shakllantirish imkonini beradi, bu esa uning energiya samaradorligini va uzoq muddatli ishlash barqarorligini ta'minlashga xizmat qiladi. Tahlil natijalari Akimova A.V. [7] tomonidan ishlab chiqilgan metodikaga asoslanib, avtoklavlangan hujayraviy betonlarda g'ovak o'lchamlarining taqsimotini va ularning fazoviy rivojlanishini baholash uslubi doirasida olib borilgan.



8-rasm. Gazobeton namunalari kesim yuzasining tabiiy ko'rinishi

G'ovaklarning tarqalish gistogrammalari tahlilidan ko'rinib turibdiki, aralashmaning tekis harakatchanligi saqlangan va bir xil gaz hosil qiluvchi qo'llanilganda, modifikatsiyalovchi kremnezemli komponent va mikroaromatizatsiyalovchi tolaning ta'siri ahamiyatsiz xarakterga ega. G'ovaklar massivining asosiy o'lchami 250 dan 700 mkm gacha oraliqda o'zgarib turadi, bu esa minimal issiqlik o'tkazuvchanlikni ta'minlaydi, optimal sovuqqa chidamlilikda, chunki o'lchami 200 mkm dan yuqori bo'lgan g'ovaklar xavfsiz hisoblanadi. Mikroskopik tadqiqotlar oldindan tayyorlangan yassi siniqlar va kukunsimon preparatlar ko'rinishidagi namunalarda, ularni chinni hovonchada maydalash yo'li bilan 25-56 marta ishchi kattalashtirish bilan MIN-8 qutblangan mikroskopda o'tkazildi. Usul kristallar va shisha massasining miqdorini hisoblashdan iborat. Mikroskopning o'tuvchi yorug'ligida tayyorlangan namunaning barcha donalari kulrang bo'ladi. Analizator va polyarizator yoqilganda (ayqash nikollarda) kristall hosilalar ko'rinadi va shisha massasi qora rangga kiradi.



9-rasm. Tekshirilayotgan namunaning elektron mikroskopiysi

Donalarni hisoblashda kristall shakllanishlar o'rganilayotgan preparatning umumiy hajmining taxminan 8-10% ni tashkil qiladi, bunda kristall faza tarkibining minimal qiymati ilgari tasvirlangan qarayishga ega bo'lgan yacheykali beton massivi zonasidan olingan namunaga to'g'ri keladi. Olingan natijalar ma'lum ma'lumotlarga zid kelmaydi. O'tkazilgan rentgenografik tadqiqotlar va petrografiya natijasida zarba texnologiyasi bo'yicha tayyorlangan o'rganilayotgan gazobeton strukturasi tobermorit fazasining fazaviy tarkibi aniqlandi va miqdori baholandi.

4. Xulosa

Olib borilgan tadqiqotlar natijasida sanoat chiqindilari asosida tayyorlangan avtoklavsiz gazobetonning mikrostrukturasi va fazaviy tarkibi aniqlanib, materialning fizik-mexanik va issiqlik texnik ko'rsatkichlariga ijobiy ta'siri tasdiqlandi. Gazobeton namunalari 400–600 mkm diapazondagi g'ovak o'lchamiga ega bo'lib, bu issiqlik o'tkazuvchanlik ko'effitsiyentining 0,138–0,147 W/(m·°C) oralig'ida saqlanishiga imkon berdi. Aniqlangan fazaviy tarkib — tobermorite, xonotlite va boshqa gidrosilikat birikmalari — materialning mustahkamligini va uzoq muddatli ishlash xususiyatlarini yaxshilashda muhim rol o'ynaydi. Shuningdek, sanoat chiqindilaridan foydalanish nafaqat gazobetonning sifatini oshirdi, balki atrof-muhit uchun iqtisodiy va ekologik jihatdan ham foydali yechimlar taklif etdi. Ushbu tadqiqot natijalari kelgusida energiya tejankor va yuqori sifatli gazobeton mahsulotlarini ishlab chiqarish uchun ilmiy asos yaratadi.

Foydalanilgan adabiyotlar / Reference

- [1] Горлов Ю.П. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы [Текст] / Ю.П. Горлов, И.Ф. Еремин, Б.У. Седунов. -М.:Стройиздат, 2006.-192 с.
- [2] Миронов С.А. Бетоны автоклавного твердения [Текст] / [С.А. Миронов, М.Я. Кривицкий, Л.А. Малинина и др.]- Стройиздат, 2008.
- [3] Федоркин С.И. Механохимическая активация известняков при высокоскоростном измельчении и ее роль в формировании свойств карбонатных материалов на силикат-натриевом вяжущем [Текст] / С.И. Федоркин, М.А. Лукьяненко // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Сб. научн. тр. «Инновационные технологии диагностики, ремонта и восстановления объектов строительства и транспорта». – Днепропетровск: ПГАСА. – 2004. – Вып. 30. – С. 10 – 15.
- [4] Бондар А. В. Использование карбонатных пород как микронаполнителей в сухих строительных смесях пористой структуры [Текст] / А. В. Бондар, В. П. Ковалский, В. П. Очеретний // Сборник материалов международной научно-практической конференции "Актуальные проблемы архитектуры, строительства, энергоэффективности и экологии – 2016", Тюмен, 27-29 апреля 2016 г. – Тюмен : РИО ФГБОУ ВО ТИУ, 2016. – Т. II. – С. 207-213.
- [5] Давидюк А.Н. Конструкционно-теплоизоляционные легкие бетоны на стекловидных пористых заполнителях [Текст]: Дис. на соиск. уч. степ. докт. техн. наук/ А.Н. Давидюк Ростов-на-Дону. - 2009. - 284 с.
- [6] Дятлов Е.М., Гайлевич С.А., Миненкова Г.Я., Радченко С.Л. Тугоплавкие теплоизоляционные материалы, полученные способами пено- и газообразования [Текст] / [Дятлов Е.М., Гайлевич С.А., Миненкова Г.Я., Радченко С.Л.] // Стекло и керамика.- 2002.-№2, с.20-23.
- [7] Акимов А. В. Разработка ячеистого дисперсно-армированного бетона автоклавного твердения модифицированного активными минеральными добавками : дис. – –Электронная библиотека диссертаций [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://dslib.net> (дата обращения: 14.06. 2016), 2016.
- [8] Еременок П.Л. Известняковые бетоны и бетониты [Текст] / П.Л. Еременок, Ю.В. Измайлов, В.Е. Ящук // К.: Бюро техн. информации НИИСК АС и АН УССР. – 2008. – С. 18 – 23.
- [9] Shaumarov, S., Kandakhorov, S., Umarov, K. Development of the Optimal Composition of Aerated Concrete Materials on the Basis of Industrial Waste. AIP Conference Proceedings, 2022, 2432, 030087
- [10] Adilkhodjaev, A., Tsoy, V., Khodzhaev, S., Shaumarov, S., Umarov, K. Research of the influence of silicon-organic hydrophobizer on the basic properties of cement stone and mortar. International Journal of Advanced Science and Technology, 2020, 29(5), стр. 1918–1921
- [11] Shaumarov, S., Adilkhodjaev, A., Kondrazhenko, V. Experimental research of structural organization of heat-insulating structural building materials for energy efficient buildings. E3S Web of Conferences, 2019, 97, 02009
- [12] Галицков К. С., Баранова М. Н., Болховецкий А. С. Исследование влияния структурно-фазового состава ячеистого бетона на внутреннее

тепловыделение в процессе его автоклавной обработки
//Градостроительство и архитектура. – 2023. – Т. 13. – №.
2. – С. 51.

[13] Газиев У.А. «Отходи промышленности в
производстве строительных материалов и изделий». Учебник-Ташкент-2015. Стр. 232-242.

[14] Микелини Э. и др. Автоклавная ячеистая
бетонная кладка для энергоэффективных зданий:
современное состояние и перспективы развития
//Строительство и строительные материалы. – 2023. – Т.
402. – С. 132996.

Mualiflar haqida ma'lumot / Information about the authors

B.G'. Kodirov	Tashkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekistan
S.S. Shaumarov	Tashkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekistan
S.I. Kandahorov	Tashkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekistan

Study of physicochemical properties and sorption capacity of developed composite sorbents KHR-OKS for use in the process of cyanidation and sorption

S.S. Negmatov¹, N.B. Erniezov¹, K.S. Negmatova¹, Zh.N. Negmatov¹, S.A. Saidkulov¹,
G.G. Gulmurodova¹, Sh.N. Tursunov¹, G.R. Toshpulatova¹, T.N. Ibodullaev¹,
D.E. Kholbozorova¹

¹State Establishment "Fan va tarakkiyot", Tashkent, Republic of Uzbekistan

Annotation: Currently, the basic matrix structures for chemical modification and production of ion exchangers are styrene and acrylic copolymers cross-linked with divinylbenzene. By adjusting the copolymerization conditions, it is possible to obtain not only a given size, but also other parameters of the initial polymer granules important for the synthesis of ion exchangers, primarily porosity. Copolymers of styrene with divinylbenzene are a universal matrix for obtaining both main classes of ion exchangers - cation exchangers and anion exchangers. In this regard, the search for new ion exchangers with a set of valuable indicators is of great practical interest. Therefore, recent research in the field of creating competitive products is aimed at effective methods for modifying existing ion exchangers in order to impart to them improved indicators of such basic properties as increased thermal and chemical resistance, fairly good indicators of kinetic, sorption, and selective characteristics. This, in turn, is solved by using a modern approach to obtaining products and issues of rational use of available initial resources and secondary products of production.

Keywords: Ion exchange sorbent, physicochemical properties, sorption capacity, extraction of precious metals, selectivity, functional groups, composite chemical sorbent.

Исследование физико-химических свойств и сорбционной способности разработанных композиционных сорбентов КХР-ОКс для применение в процессе цианирование и сорбции

Негматов С.С.¹, Эрниезов Н.Б.¹, Негматова К.С.¹, Негматов Ж.Н.¹, Саидкулов С.А.¹,
Гулмуродова Г.Г.¹, Турсунов Ш.Н.¹, Тошпулатова Г.Р.¹, Ибодуллаев Т.Н.¹,
Холбозорова Д.Э.¹

¹Государственное предприятие "Фан ва Тараккиёт", Ташкент, Узбекистан

Аннотация: В настоящее время базовыми матричными структурами для химической модификации и получения ионитов являются сшитые дивинилбензолом стирольные и акриловые сополимеры. Регулируя условия сополимеризации, можно получить не только заданный размер, но и другие важные для синтеза ионитов параметры гранул исходного полимера, прежде всего пористость. Сополимеры стирола с дивинилбензолом являются универсальной матрицей для получения обоих основных классов ионитов катионитов и анионитов. В этой связи большой практический интерес представляет поиск новых ионитов, обладающих комплексом ценных показателей. Поэтому исследования последних лет в области создания конкурентно способной продукции направлены на эффективные способы модификации существующих ионитов с целью придания им улучшенных показателей таких основных свойств, как повышенная термо-химическая стойкость, достаточно хорошие показатели кинетических, сорбционных, и избирательных характеристик. Это в свою очередь решается применением современного подхода при получении продуктов и вопросов рационального использования доступных исходных ресурсов и вторичных продуктов производств.

Ключевые слова: Ионообменный сорбент, физико-химические свойства, сорбционная способность, извлечение благородных металлов, селективность, функциональные группы, композиционный химический сорбент

1. Введение

В настоящее время сорбции и цианирования как основной процесс, широко применяется в металлургии благородных металлов. Качественно новым этапом развития цианистого процесса явилась разработка и

внедрение в промышленную практику методов извлечения золота непосредственно из цианистых рудных пульп (без их предварительного обезвоживания: сгущения, фильтрации) с помощью искусственных гранулированных сорбентов. В этом варианте растворенное в цианиде золото выделяется из пульпы на

гранулах сорбента, размер которых значительно превышает крупность частиц измельчаемой руды. Нагруженный золотом ионообменный сорбент затем отделяют от пульпы на специальных дренажных устройствах и обрабатывают в отдельном цикле до получения товарного золотосодержащего продукта. В металлургии благородных металлов метод цианирования вот уже на протяжении более 110 лет прочно занимает главное место в технологии производства золота. С его помощью за последние 20 лет в мире добыто более 90% металла.

2. Объектами и методика исследования

Объектами исследования является: акрилонитрил, стирол, дивинилбензол, перекис бензоила, гидроксипропилцеллюлоза, алкил бензол, диметиламин, триэтиламин, этиленгликоль, алкил бензол, изопропиловый спирт, хлорид аммония, хлорид цинка, золотосодержащая руда ГМЗ-4 АО «Навоийский ГМК».

Для сорбции золота и серебра в цианистом процессе могут быть использованы аниониты следующих типов: 1) сильноосновные (отечественные марки АМ, АВ-17, АМП) с функциональными группами в виде четвертичных аммониевых $=N^+$ или пиридиновых R-N оснований с высокой степенью диссоциации в кислых и щелочных средах ($pH \leq 2$) следовательно, проявляющие активные ионообменные свойства в широком диапазоне значений pH среды; 2) слабоосновные (марки АН-18, АН-21, АН-31 и др.) с функциональными группами в виде первичных $-NH_3^+$, вторичных $=NH_2^+$ и третичных $=NH^+$ аминогрупп, слабо диссоциирующих ($pH \geq 4-9$) в нейтральных и щелочных средах; 3) аниониты смешанной основности - полифункциональные (марки АМ-2Б, АП-2, АП-3 и др.), содержащие сильноосновные ($=N^+$) и слабоосновные ($-NH_3^+$, $=NH_2^+$, $=NH^+$) функциональные группы в различных соотношениях, проявляющие свойства сильного и слабого оснований с

изменяющейся ионообменной активностью в зависимости от величины pH раствора [1, 2].

3. Результаты исследований и их анализ

На основе комплексного анализа результатов предварительно проведенных исследований, выявлено, что взаимодействие композиционных химических ионообменных сорбентов с ионами металлов в основном зависит от избирательной сорбционной способности сорбента, от вида и количества фиксированных ионов и водородного показателя (pH) раствора или пульпы. Разработанное нами композиционный химический ионообменный сорбент содержит сильноосновные ($=N^+$) и слабоосновные ($-NH_3^+$, $=NH_2^+$, $=NH^+$) функциональные группы в различных соотношениях, в виде четвертичных аммониевых $=N^+$ или пиридиновых R-N оснований с высокой степенью диссоциации в кислых и щелочных средах ($pH \leq 2$), которые проявляет активные ионообменные свойства в широком диапазоне значений pH среды. [3, 4].

Необходимо отметить, что состав композиционного ионообменного сорбента зависит от природы, вида, состава, и физико-химических свойств органических ингредиентов.

Основные факторы, влияющие на эффективность сорбционного извлечения благородных металлов, это избирательная сорбционная способность и механическая прочность композиционных ионообменных сорбентов. Особое внимание уделялось при синтезе композиционных ионообменных сорбентов, аминированую с вторичными и третичными аминами, что, привело к закреплению каркаса ионита функциональных групп смешанной основности, придающую ионообменным сорбентам избирательной сорбционной способности к ионам благородных металлов (золото и серебро).

В таблице 1 приведены физико-химические свойства модульного композиционного ионообменного сорбента.

Таблица 1

Физико-химические свойства модельного композиционного ионообменного сорбента

Внешний вид	непрозрачные сферические гранулы белого-желтого цвета
Функциональные группы	Вторичные и третичные аминогруппы.
Ионная форма	хлоридная
Размер зерен в набухшем состоянии, мм	0,8-2,2
Объемная доля рабочей фракции, %	98
Полная обменная емкость по хлор-иону, не менее, мг-экв/г	3,3
Емкость по низкоосновным группам, не менее, мг-экв/г	2,4
Массовая доля влаги, %	48-53
Удельный объем, см ³ /г	3,0-3,1
Механическая прочность, %	98
Максимально допустимая рабочая температура, °C	70

Как видно из таблицы 1, что оптимальный состав композиционного ионообменного сорбента по своим физико-химическим свойствам аналогичен

ионообменному сорбенту АМ-2Б, применяемые при сорбционном извлечении благородных металлов из пульпы и растворов золотосодержащих руд.

Таблица 2

Сравнительные данные по емкости и селективности по золоту образцов композиционных ионообменных сорбентов, полученных предлагаемым способом, и анионита АМ-2Б

№ примера	Состав сополимера, %				Емкость по золоту		Емкость по примесям, мг/г	Селективность по золоту
	НАК	ДВБ	ЭС	Стирол	мг/г	мг/мл		
1	75	15	10	-	2,04	0,72	6,17	0,32
2	45	21	14	20	3,90	1,46	5,65	0,69
3	46	15	10	29	4,17	1,62	3,56	1,17
4	42	15	8,7	36,3	4,5	1,75	3,27	1,37
5	34	12	8	46	4,8	1,88	1,14	4,21
АМ-2Б	-	8	5	87	7,5	2,34	18,3	0,41

Композиционные ионообменные сорбенты, полученные предлагаемым способом, имеет селективность по золоту ионитов, выше чем селективности АМ-2Б. Для исследования физико-химических свойств и сорбционной способности разработанных композиционных ионообменных

сорбентов класса КХР-ОКс была изучена зависимость избирательной сорбционной способности разработанных ионообменных сорбентов от содержания стирола и акрилонитрила в структуре трехмерного каркаса ионита, с сравнением с ионообменным сорбентом АМ-2Б на рисунке. 1.

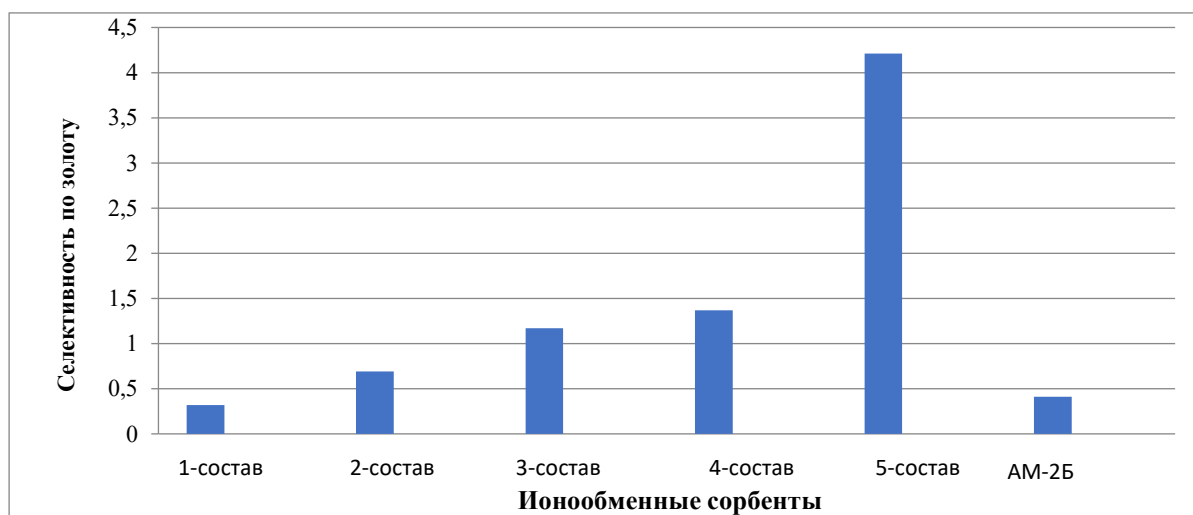
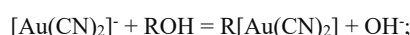


Рис. 1. Зависимость избирательной сорбционной способности разработанных ионообменных сорбентов от содержание стирола и акрилонитрила в структуре трехмерного каркаса ионита

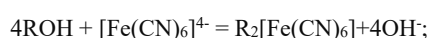
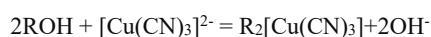
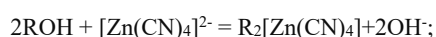
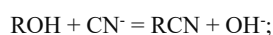
Из полученных данных видно, что разработанные новые образцы композиционных ионообменных сорбентов №4 и №5 селективностью по золоту несколько раз превышает с сравнением к известному ионообменному сорбенту АМ-2Б [5]. В основе анализа выявленных результатов и механизмов взаимодействия компонентов композиции с ионами благородных металлов показана возможность разработки более эффективных составов композиционных химических реагентов – ионообменных сорбентов, обеспечивающих высокую степень извлечения благородных металлов. Для цианистого комплекса золота в качестве ионита используется ионообменные сорбенты смещенной основности. Расход смолы составляет 10...20 г/т. Противоионом в смоле является гидроксильный ион OH^- , который легко обменивается на золото-цианистый комплекс.

Взаимодействие цианистого комплекса со смолой происходит по реакции



где R - каркас ионита.

Извлечение золота из раствора определяется равновесной концентрации его в растворе. Кроме золота на смоле собираются свободный цианид и цианистые комплексы других металлов.



Проведенные реакции снижают емкость смолы по золоту. На смоле также собираются анионы Cl^- , SO_4^{2-} . Механизм ионообменного процесса имеет три стадии:

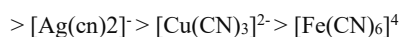
- диффузия поглощаемых ионов из раствора к зерну смолы;

- диффузия поглощаемых ионов в объем смолы от поверхности зерна ионита вглубь и вытесняемых ионов во встречном направлении;

- диффузия вытесняемых ионов от поверхности ионита в объем раствора.

Скорость процесса определяется либо скоростью диффузии в зерне ионита, либо скоростью диффузии через пленку раствора у поверхности зерна ионита. В реальных условиях скорость невелика, а продолжительность измеряется десятками часов. Вначале сорбируются анионные комплексы металлов, обладающие малым сродством к иониту (Fe, Cu, Ag); с увеличением продолжительности контакта они вытесняются анионными комплексами Au, Zn, Ni.

Для большинства анионитов порядок сорбции комплексных анионов металлов следующий:



Основной фактор, определяющий место аниона в этом ряду, величина энергии гидратации иона: с ее уменьшением сродство аниона возрастает. Энергия гидратации зависит от заряда и радиуса иона: с уменьшением заряда и увеличением радиуса она уменьшается. Ряд сродства анионов металлов такой же, как и ряд сорбции [6-10]. Таким образом, разработанного композиционного сорбента можно успешно применять в процессе цианирование и сорбции металлургической промышленности.

4. Выводы

Разработан эффективной состав и исследован их физико-химические и технологические свойства. Композиционного ионообменного сорбентов класса КХР-ОКС, применяемых для извлечения благородных металлов из пульпы золотосодержащих руд металлургической промышленности.

Использованная литература / References

[1] Негматов С.С., Эрниеков Н.Б., Бозоров А.Н., Негматова К.С., Икрамова М.Э., Абед Н.С., Субанова З.А., Раупова О проблеме создания композиционных сорбентов для извлечения благородных и редких металлов. «Resource and energy-saving innovative technologies in the field of foundry» ГУП «Фан ва тараккиёт» при ТашГТУ им. И. Каримова, Узбекистан.

[2] Негматов С.С., Эрниеков Н.Б., Негматова К.С., Абед Н.С., Икрамова М.Э., Бозоров А.Н., Раупова Д.Н. Сорбенты и их применение в процессе извлечения благородных и редких металлов из пульпы в металлургии. Международная научная и научно-техническая конференция «Ресурсо и энергосберегающие инновационные технологии в литейном производстве». ГУП «Фан ва тараккиёт» при ТашГТУ им. И. Каримова, Узбекистан. с. 348-349.

[3] С.С. Негматов, А.Н. Бозоров, Н.Б. Эрниеков, З.А. Субанова Разработка технология получения товарной продукции из отходов и полупродуктов АО «АГМК». Актуальные проблемы и инновационные технологии в области естественных наук. Международная научно-практическая конференция. ГУП «Фан ва тараккиёт» при ТашГТУ им. И. Каримова, г. Ташкент. с. 153-154.

[4] С.С. Негматов, Н.Б. Эрниеков, Н.С. Абед, К.С. Негматова, М.Э. Икрамова, Д.Н. Раупова Создание композиционных сорбентов для извлечения благородных и редких металлов. Материалы конференции республиканская научно-техническая конференция перспективы развития композиционных материалов. ГУП «Фан ва тараккиёт» при ТашГТУ им. И. Каримова, г. Ташкент. 19-20 сентября 2024 г. С. 4-5.

[5] С.С. Негматов., Н.Б. Эрниеков., К.С.Негматова., Н.С. Абед., М.Э. Икрамова, Ж.Н. Негматов Д.Н. Раупова Перспективы развития металлургической промышленности и извлечения цветных, благородных и редких металлов. // Композиционные материалы. 2024 с. 143-145.

[6] С.С. Негматов., Н.Б. Эрниеков., К.С.Негматова., Н.С. Абед., М.Э. Икрамова, Ж.Н. Негматов Д.Н. Раупова Влияния увеличение сорбционной способности ионообменных сорбентов на извлечению благородных металлов. // Композиционные материалы. 2024. С. 153-154.

[7] Bozorov, A. N., Negmatov, S. S., Erniyozov, N. B., Subanova, Z. A., & Sultonova, I. Q. (2023). Investigation of the sorption method of processing molybdenum-containing raw materials to extract rare metals. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 401, p. 03045). EDP Sciences.

[8] Sharipov, H., Khoshimkhanova, M., Kamolov, T., Bozorov, A., & Kiyamova, D. (2022). Technogenic waste from enterprises of the thermoelectric power stations and metallurgical industries, analysis and development of technology for their processing. *Journal of Optoelectronics Laser*, 41(6), 742-749.

[9] Bozorov, A., Ernazarov, M. T., Negmatov, S., Sharipov, H., & Kholmurodova, D. (2022). Development of an Environmentally Friendly Technology for Producing Ammonium Molybdenum Acid from Copper-Molybdenum Industrial Product. *Journal of Optoelectronics Laser*, 41(6), 734-741.

[10] Bozorov, A., Abed, N., Kamalov, T., & Negmatov, J. (2023). Research of Technology of Processing Man-Made Waste of Molybdenum Production. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 449, p. 06010). EDP Sciences

Информация об авторах / Information about the authors

Негматов С.С	Научный консультант ГУ «Фан ва тараккиёт», д.т.н., профессор, Ташкент, Узбекистан
	Электронная почта: fan_va_tarakkiyot@mail.ru
Эрниеков Н.Б	Докторант ГУ «Фан ва тараккиёт», Ташкент, Узбекистан
	Электронная почта: fan_va_tarakkiyot@mail.ru

Негматова К.С	Заведующий лабораторией «Наука и развитие», д.т.н., профессор, Ташкент, Узбекистан Электронная почта: fan_va_tarakkiyot@mail.ru
Негматов Ж.Н	Старший научный сотрудник ГУ «Фан ва тараккиёт», Ташкент, Узбекистан Электронная почта: fan_va_tarakkiyot@mail.ru
Саидкулов С.А.	Докторант ГУ «Фан ва тараккиёт», Ташкент, Узбекистан Электронная почта: fan_va_tarakkiyot@mail.ru
Гулмуродова Г.Ғ.	Докторант ГУ «Фан ва тараккиёт», Ташкент, Узбекистан Электронная почта: fan_va_tarakkiyot@mail.ru
Турсунов Ш.Н.	Докторант ГУ «Фан ва тараккиёт», Ташкент, Узбекистан Электронная почта: fan_va_tarakkiyot@mail.ru
Тошпулатова Г.Р.	Докторант ГУ «Фан ва тараккиёт», Ташкент, Узбекистан Электронная почта: fan_va_tarakkiyot@mail.ru
Ибодуллаев Т. Н	Докторант ГУ «Фан ва тараккиёт», Ташкент, Узбекистан Электронная почта: fan_va_tarakkiyot@mail.ru
Холбозорова Д.Э.	Докторант ГУ «Фан ва тараккиёт», Ташкент, Узбекистан Электронная почта: fan_va_tarakkiyot@mail.ru



VI-SHO‘BA. MUHANDISLIK MASALALARINI YECHISHDA MATEMATIKANING ROLI

Determination of the constructive sizes of cavitation mixers

Sh. Kasimov¹, O. Anorov¹, N. Shomurodov¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: Studies have shown that the mixing device uses hydrodynamic cavitation principle of the greatest interest from the point of view of obtaining a highly dispersed finished product, with large – scale production of low – power consumption and high reliability of operation of the mixing device. Implemented definition of physical modeling and mathematical model of the process. Defined the optimal basic geometric characteristics of the hydrodynamic jet dispersants – cavitators.

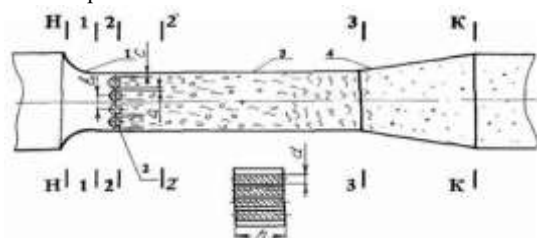
Keywords: cavitation technologies, emulsion, suspension, dispersion, enzyme, flow hydrodynamics, two-phase flow, lattice mixer, schematic diagram, turbulent, vapor condensation, subsonic flow, minimum energy.

1. Introduction

At present, cavitation technologies provide excellent results of transformation of gaseous, solid and liquid media. These technologies are used to prepare mixtures resistant to stratification (also for mixing difficult-to-mix or immiscible media), homogeneous solutions, emulsions, suspensions and dispersions from various products, to activate enzymes and accelerate processes by maintaining catalytic reactions, for sewage treatment, and for purification of water in water treatment systems [1].

2. Methods

The working process of the cavitation mixer is based on the phenomena occurring during the combined flow of the liquid and vapor-gas phases, and in general the velocities of the fluid and vapor (gas) are different [2-4]. Consequently, data on the flow rate of the medium, the geometry of the channel, and the physical properties of the liquid and gas (vapor) do not yet give a sufficiently complete idea of the hydrodynamics of the flow. Therefore, in order to characterize the two-phase flow, it is necessary to introduce quantities that take into account the particular motion of the individual phases.



1 – confusor; 2 - lattice; 3 - working chamber (neck); 4 - diffuser

Fig. 1. Schematic diagram of a mixer with a hydrodynamic cavitation grating

The mathematical model of the working process, compiled on the basis of the material, energy and heat balance of the flow in continuous mixers is a closed [3]. It makes it possible to calculate the transverse dimensions of mixers with cavitation stimulators in the flow in the form of a multi-jet nozzle or hydrodynamic cavitation grating, and also to determine the coordinates of the mixing jump and, thus, the longitudinal dimensions of the mixer. Providing operating modes of an emulsifier with a high slip coefficient will increase the efficiency of the mixing process. This can be achieved by using a multi-jet nozzle device, which will ensure uniform formation of the components of a two-phase flow in a living section. The fluid and vapor velocities can be assumed to be approximately the same, since, firstly, vapor evolution occurs from a moving fluid without additional heat input, and it is obvious that the rates of the vapor and liquid phases are close. Secondly, the interaction surfaces of liquid jets with evolved vapor are numerous. Therefore, both phases are uniformly distributed over the flow cross-section and are in thermal and mechanical equilibrium with each other. Under these conditions, a two-phase flow can be regarded as a flow of a quasihomogeneous isothermal (homogeneous) medium with an average density [2]. The task of calculating the mixer is as follows: with known physical properties of the components of the mixture (carrier medium and liquid additive), their content in the mixture stream, initial pressure and temperature, the regime and geometric parameters of the mixer are determined, realizing the flow of the working process with minimal energy consumption. Calculation of the mixer with minimum energy consumption and optimal workflow is performed by the method of successive approximations. In each approximation, the optimal transverse dimensions of the cavitation and working chamber drivers, corresponding to the minimum losses in the mixer, are determined from the initial data and the selected hydraulic cavity resistance coefficients (the nozzle or hydrodynamic grid) and the elements of the flowing part of the working chamber, then the steam flow and then the flow temperature are calculated mixture in the initial section of the working chamber T_2

3. Results and Discussion

The calculation is considered reliable if the flow parameters of the mixture of components in the last two approximations differ by not more than (2 – 5) %. After finding the temperature of the mixture in the initial section working chamber T_2 and vapor content in the flow, the longitudinal dimensions of the flow part of the mixer are determined. In this case, the total axial length of the working chamber is composed of sections:

- Formation of supersonic vapor-gas-liquid flow l_{form} ;
- Turbulent supersonic flow l_{course} ;
- Hopping mixing l_{trans} , where there is a jump like transition from supersonic to subsonic flow and condensation of vapors of liquid additive;
- Soothing flow l_{establ} ;

$$L_{friction} = l_{form} + l_{course} + l_{trans} + l_{establ} \quad (1)$$

According to the recommendations [5], the region of formation supersonic vapor-liquid flow

$l_{form} = (1...2) D_3$, where D_3 - diameter of the working chamber.

The length of the zone of supersonic flow l_{course} is determined by the critical length l_k of the section with a turbulent two-phase flow, at which the critical state of the flow ($P = P_k$) is reached at the end section and is determined according to [6], that is $l_{course} = l_k$.

The length of the mixing jump is $l_{trans} = (2...4) D_3$. The soothing zone can be recommended in the range $l_{establ} = (2...3) D_3$. On the basis of the obtained mathematical model [3] and the method calculation, we perform the calculation of a mixer with a multi-jet nozzle, which serves to create a water-oil emulsion (WOF). Let's take the absolute value of the pressure before the mixer $P_{absolut} = 1000$ kPa, volumetric flow rate of the mixture flow (carrier medium + liquid additive) $Q_{carrier} = 120 \text{ m}^3/\text{hour} = 3,33 \text{ m}^3/\text{s}$, temperature of the water-oil mixture (WOM) $T_1 = 100^\circ \text{C}$, volume content of water in the water-oil flow (WOF) - 15%. In accordance with the tabular data [6] at $T_1 = 100^\circ \text{C}$ we have : water vapor density $\rho_{density} = 0,598 \text{ kg/m}^3$, density of liquid additive (water) - $\rho_{trans} = 958,4 \text{ kg/m}^3$, saturated vapor pressure $P_{sat.press} = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Pa}$, density of the carrier medium (fuel oil) - $\rho_{s.h} = 949 \text{ kg/m}^3$, specific heat of liquid additive - $C_{trans} = 4220 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$, specific heat of the carrier medium - $C_{s.h} = 2008,32 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$, latent heat of vaporization $r = 2256,8 \text{ kJ/kg}$. Let us determine the density of the mixture:

$$\rho_s V_s = \rho_{trans} V_{trans} + \rho_{s.h} V_{s.h}$$

Here $V_s = 1$ - volume WOF;

$V_{s.h} = 0,85$ - volume of fuel oil in the WOF;

$V_{trans} = 0,15$ - volume of water in the WOF.

$$\begin{aligned} \rho_c &= 0,15 \cdot \rho_{trans} + 0,85 \cdot \rho_{s.h} = \\ &= 0,15 \cdot 958,5 + 0,85 \cdot 949 = 950 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Calculation of the emulsifier is carried out by the method of successive approximations. As a first approximation, we take the following values of hydraulic drag coefficients:

$$\xi_{konfuser} = 0,15;$$

$$\xi_{resistance} = 0,10;$$

$$\xi_{diffuser} = 0,25;$$

$$\xi_r = 0,2$$

The minimum relative pressure drop for the selected hydraulic resistance coefficients, and therefore the minimum loss in the mixer corresponds to $\Omega = 0,64$. With the relative nozzle area $\Omega = 0,64$, the cavitation number will be $\sigma = 0,41$. The minimum of the function corresponds to the minimum pressure loss in the mixer $\Delta P_{pressure loss} = P_{pressure} - P_k$.

At absolute pressure in the initial section $P_{pressure} = 1000$ kPa and saturated vapor pressure $P_{s.p} = 101$ kPa, the minimum pressure loss $\Delta P_{pressure loss} = P_{pressure} - P_k = 272 \text{ kPa}$.

Now determine the rate of IUD expiration from the nozzle V_{c2} :

$$V_{c2} = \sqrt{\frac{2(P_H - P_{H,\Pi})}{\rho_c (1 + \sigma + \xi_{KAB} + \xi_{KOH} \Omega^2)}}$$

Substituting in the last expression the received values of the coefficients resistance, the cavitation number σ , and also $\Omega = 0,64$, we find that in the first approximation, the exhaust velocity $V_{c2} = 34,71 \text{ m/s}$.

Then the speed Flow mixture in sections 1 -1 and 3-3

$$V_{c1} = V_{c3} = \Omega V_{c2} = 0,64 \cdot 34,71 = 22,21 \text{ m/s}$$

Perform a check of the pressure losses in the mixer:

$$\begin{aligned} \Delta P_{pressure loss} &= \xi_{cav.grat} \frac{\rho_c V_{c2}^2}{2} + \\ &+ (\xi_{konfuser} + \xi_{diffuser} + \xi_r) \frac{\rho_c V_{c3}^2}{2} + \\ &+ \frac{(V_{c2} - V_{c3})^2}{2} \rho_c = 0,1 \frac{950 \cdot 34,71^2}{2} + \\ &+ (0,15 + 0,25 + 0,2) \frac{950 \cdot 22,21^2}{2} + \\ &+ \frac{(34,71 - 22,21)^2}{2} 950 = \\ &= 2,7206 \cdot 10^5 \text{ Pa.} \end{aligned}$$

Comparing the result with the one calculated earlier, we find that they are close. This indicates that the velocities V_{c2}

and V_{c3} found correctly. Knowing the velocity V_{c3} of the emulsion flow in the throat, determine its area A_3 and diameter D_3 in the first approximation.

The area of the normal section of the working chamber

$$A_3 = \frac{Q_c}{V_{c2}} = \frac{3,33 \cdot 10^{-2}}{22,21} = 1,50 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$D_3 = \sqrt{\frac{4A_3}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,50 \cdot 10^{-2}}{\pi}} = 4,37 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 44 \text{ mm} \cdot$$

and the diameter

Area of jets

$$A = \Omega \cdot A_3 = 0,64 \cdot 1,50 \cdot 10^{-3} = 0,96 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot$$

Determine the amount of the released vapor, taking the value Slip coefficient $\psi = 0,9$ and assuming that the steam occupies all The space free from jets in the initial section of the working chamber.

The velocity of the steam at $\psi = 0,9$

$$V_{\text{speed}} = \psi \cdot V_{c2} = 0,9 \cdot 34,71 = 31,24 \text{ m/s}$$

Then the amount of steam

$$m_{\text{speed 2}} = \rho_{\text{speed}} V_{\text{speed}} (A_3 - A_2) =$$

$$= 0,598 \cdot 31,24 (1,50 \cdot 10^{-3} - 0,96 \cdot 10^{-3}) \cong$$

$$\cong 10^{-2} \text{ kg/s}$$

Taking into account expression (1) and accepted recommendations, we define the length of the mixing chamber:

$$L_{\text{friction}} = L_{\text{form}} + L_{\text{course}} + L_{\text{trans}} + L_{\text{establ}} =$$

$$= 2D_3 + L_k + 4D_3 + 3D_3 =$$

$$= 2 \cdot 0,044 + 0,074 + 4 \cdot 0,044 + 3 \cdot 0,044 \cong$$

$$\cong 0,47 \text{ m}.$$

The remaining dimensions of the mixer are defined and presented in the table. The number of jets is assumed to be $m = 5$. To achieve minimum energy losses in the diffuser, it is assumed that the diffuser's opening angle is $\alpha = 7^\circ$, and the degree of its expansion is $n = 6$. Then the diameter of the outlet section of the diffuser is determined from expression $D_4 = D_3 \sqrt{n}$.

And the axial length of the diffuser –

$$L_{\text{diffuser}} = 0,5 \frac{(D_4 - D_3)}{\text{tg} \frac{\alpha}{2}}.$$

Basic geometric dimensions of the mixer

Square,		Diameter, m			Length, m	
A_2	A_3	D_2	D_3	D_4	L_{friction}	L_{diffuser}
$9,6 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	0,0156	0,044	0,108	0,47	0,523

Here D_2 is the diameter of the nozzle opening.

4. Conclusion

According to the proposed method, resource-saving industrial samples of cavitation mixers for various volume flows of water-oil mixtures of a new generation will be calculated in the future.

References

- [1]. Кнэпп Р., Дейли Дж., Хэммит Ф. Кавитация. - М: Мир, 1994. -687 с.
- [2]. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. Т.2, М.: Наука, 450 с., 2007.
- [3]. Ходжаев Я.Д., Касимов Ш.А., Тохтахунов К.А. Основные соотношения рабочего процесса гидродинамических кавитаторов. Журнал ВЕСТНИК ТашИИТ, 2016г., № 2 /3 , с.70-74.
- [4]. Уоллис Г. Одномерные двухфазные течения. - М. Мир, 1992. - 440 с.
- [5]. Зысин В.А., Баранов Г.А., Барилевич В.А., Парфенова Т.Н. Вскипающие адиабатные потоки. - М. : Атом.издат, 1976. - 152 с.
- [6]. Спиридонов Е.К. Теоретические основы расчета и проектирования жидкостногазовых струйных насосов. М.: НПО "Гидромаш".-1996.

Information about the authors

Kasimov Shuxrat Abdusamatovich	Associate Professor (PhD), Tashkent State University of Transport
Anorov Obidjon Umaraliyevich	Acting Associate Professor, Tashkent State University of Transport
Shomurodov Nozimbek Anvar o'g'li	Assistant, Tashkent State University of Transport

Quadratic stochastic operators as operators describing Fisher's generalized model

O. Anorov¹, F. Sultanova¹

¹Tashkent State transport University, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This article explores the modeling of biological processes using dynamic models. In particular, it highlights the importance of dynamic models in population genetics. To enable a more precise mathematical analysis, the use of quadratic stochastic operators (QSO) is introduced. The paper also examines the role of QSO in the generalized Fisher model and analyzes their mathematical properties. It is demonstrated that QSO serve as a well-founded tool for the stable mathematical modeling of genetic processes within populations. Special attention is given to the fundamental definitions of QSO, their properties, and their application within the model.

Keywords: population, genetics, dynamic model, Fisher model, genotype, quadratic stochastic operator, distribution vector, vector space, fixed point.

Kvadratik stoxastik operatorlar Fisherning umumlashgan modelini tavsiflovchi operatorlar sifatida

Anorov O.¹, Sultanova F.¹

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Ushbu maqolada dinamik modellar orqali biologik jarayonlarni tasvirlangan. Aynan dinamik modellarni populyatsiya genetikasidagi ahamiyati haqida ma'lumotlar berilgan. Matematik jihatdan aniqroq tahlil qilish maqsadida kvadratik stoxastik operatorlardan foydalanish tartibi kiritilgan. Shuningdek, maqolada kvadratik stoxastik operatorlarning umumlashgan Fisher modelidagi roli ko'rib chiqilgan, ularning matematik xususiyatlari tahlil qilingan. Kvadratik stoxastik operatorlarni populyatsiyadagi genetik jarayonlarni matematik jihatdan barqaror tarzda modellash imkonini beruvchi asosli operatorligi ko'rsatib o'tilgan. Maqolada kvadratik stoxastik operator (k.s.o.)larning asosiy ta'riflari, matematik xususiyatlari va modelda qo'llanilishi tahlil qilingan.

Kalit so'zlar: populyatsiya, genetika, dinamik model, Fisher modeli, genotip, kvadratik stoxastik operator, taqsimot vektori, vektor fazo, qo'zg'almas nuqta.

1. Kirish

Biologiya va matematik modellashda turli jarayonlarni tasvirlash uchun dinamik modellar muhim ahamiyat kasb etadi. Ushbu modellar populyatsiya genetikasida, ayniqsa Fisherning mashhur modelida keng qo'llaniladi. Bu model populyatsiyada allellar proporsiyasining vaqt davomida o'zgarishini tasvirlaydi. Bunday modellarni kengaytirish va ularni matematik jihatdan aniqroq tahlil qilish maqsadida kvadratik stoxastik operatorlardan foydalanish samarali hisoblanadi. Mazkur maqolada kvadratik stoxastik operatorlarning umumlashgan Fisher modelidagi rolini ko'rib chiqamiz, ularning matematik xususiyatlari tahlil qilinadi hamda modelni qanday tavsiflashini ko'rsatuvchi misollar keltiriladi. **Kvadratik stoxastik operatorlar haqida umumiy ma'lumot.** Ta'rif: Kvadratik stoxastik operatorlar (k.s.o.) – bu shunday operatorlarki, ular vektor fazosidagi har qanday vektorni boshqa vektorga moslab, ayrim shartlarga rioya qilgan holda o'zgartiradi. Aholida m ta genotip mavjud deb olamiz va ularning taqsimoti vektor orqali quyidagicha ifodalanadi: $x = (x_1, x_2, \dots, x_m)$, bunda

$x_i \geq 0$ va $\sum x_i = 1$. Kvadratik stoxastik operator (k.s.o.) quyidagicha aniqlanadi: $V(x)_k = \sum_{ij} P_{ij,k} x_i x_j$, bunda har qanday i, j uchun $P_{ij,k} \geq 0$ va $\sum_k P_{ij,k} = 1$.

Biologiyada qo'llanilishi. Kvadratik stoxastik operatorlar (k.s.o.) populyatsiya genetikasida turli juftliklar orqali avlodda qaysi genotip qancha ehtimol bilan paydo bo'lishini modeli sifatida qo'llaniladi. Ular orqali populyatsiyadagi genetik tarkibning vaqtinchalik dinamikasi tahlil qilinadi. **Fisher modelining umumlashmasi va (k.s.o.) kvadratik stoxastik operator.** Fisherning modeliga ko'ra, populyatsiyada eng ko'p moslashgan individlar ko'proq ko'payishga moyil bo'ladi. Umumlashgan modelda nafaqat genotiplar, balki ularning juftlikdagi o'zaro ta'siri ham hisobga olinadi. Bu esa kvadratik stoxastik operatorlar orqali ifodalanadi. Masalan, agar $f_i - i$ -genotipning fitnesi bo'lsa, u holda yangi taqsimot: $x'_i = \frac{x_i f_i}{\sum x_j f_j}$ shaklida bo'ladi.

Umumlashtirilganda, juftlik fitneslari ham qo'shilib, dinamika kvadratik stoxastik operator (k.s.o.) orqali berilgan formaga o'tadi.

2. Matematik tahlil va misollar

Teorema: Agar $P_{ij,k}$ matritsasi simmetrik va stoxastik bo'lsa, u holda kvadratik stoxastik operator (k.s.o.) populyatsiyadagi umumiy taqsimotni saqlaydi.

Isbot: Har qanday $x \in S^{n-1}$ uchun:

$$V(x)_k = \sum_i \sum_j P_{ij,k} x_i x_j = \sum_{ij} x_i x_j \sum_k P_{ij,k} = \sum_{ij} x_i x_j = 1.$$

Misol. Uchta genotip: $(A; B; C)$. Operator matritsalarini: $P_{ij,k} = 1$, agar juftlik (i, j) faqat k ni beradi; aks holda 0. Uchta genotip $(A; B; C)$ mavjud bo'lgan holatda kvadratik stoxastik operatorni ko'rib chiqamiz.

Operator matritsasi quyidagicha bo'ladi:

$$\begin{aligned} P_{\{AA\}} &= (1; 0; 0) \\ P_{\{AB\}} &= (0,5; 0,5; 0) \\ P_{\{AC\}} &= (0,3; 0,4; 0,3) \\ P_{\{BB\}} &= (0; 1; 0) \\ P_{\{BC\}} &= (0,2; 0,3; 0,5) \\ P_{\{CC\}} &= (0; 0; 1) \end{aligned}$$

Boshlang'ich taqsimot: $x = (0,4; 0,4; 0,2)$ bo'lsin.

Kvadratik stoxastik operator (k.s.o.)ni

$x'_k = \sum_{ij} P_{ij,k} x_i x_j$ (simmetriya hisobga olingan holda) formula yordamida hisoblaymiz:

$$\begin{aligned} x'_1 &= x_1^2 \cdot 1 + 2 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot 0,5 + 2 \cdot x_1 \cdot x_3 \cdot 0,3 + \\ &+ x_2^2 \cdot 0 + 2 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot 0,2 + x_3^2 \cdot 0 = \\ &= 0,16 + 0,16 + 0,048 + 0 + 0,032 + 0 = 0,4 \\ x'_2 &= x_1^2 \cdot 0 + 2 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot 0,5 + 2 \cdot x_1 \cdot x_3 \cdot 0,4 + \\ &+ x_2^2 \cdot 1 + 2 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot 0,3 + x_3^2 \cdot 0 = \\ &= 0 + 0,16 + 0,064 + 0,16 + 0,048 + 0 = 0,432 \\ x'_3 &= 1 - x'_1 - x'_2 = 1 - 0,4 - 0,432 = 0,168 \end{aligned}$$

Barcha juftlik uchun koeffitsientlar shu tarzda tanlanadiki, har bir (i, j) juftlik uchun $P_{\{ij,1\}} + P_{\{ij,2\}} + P_{\{ij,3\}} = 1$. Agar operator to'g'ri qurilsa, quyidagi kabi nuqtalarda qo'zg'almas holatlar yuzaga keladi: $x = (x_1; x_2; x_3)$ qo'zg'almas nuqta bo'lsa, bu nuqtada $V(x) = x$ bo'ladi. Masalan, $x = (0; 0; 1)$ bo'lsa, $P_{\{CC\}} = (0; 0; 1)$ bo'lgani uchun, shu nuqta qo'zg'almas nuqtadir. Shuningdek, $x = (1; 0; 0)$ yoki $x = (0; 1; 0)$ nuqtalar ham shunday bo'lishi mumkin. Agar $x = (0,4; 0,3; 0,3)$, u holda yangi taqsimot $x' = V(x)$ formula orqali hisoblanadi. To'rtta genotip $(A; B; C; D)$ mavjud bo'lgan holatda kvadratik stoxastik operatorni ko'rib chiqamiz. Ularning taqsimoti vektor orqali quyidagicha ifodalanadi: $x = (x_1, x_2, x_3, x_4)$.

Operator matritsasi quyidagicha bo'ladi:

$$\begin{aligned} P_{\{11\}} &= (1; 0; 0; 0) \\ P_{\{12\}} &= (0,4; 0,3; 0,2; 0,1) \\ P_{\{13\}} &= (0,3; 0,3; 0,2; 0,2) \\ P_{\{14\}} &= (0,25; 0,25; 0,25; 0,25) \\ P_{\{22\}} &= (0; 1; 0; 0) \\ P_{\{23\}} &= (0,2; 0,3; 0,4; 0,1) \\ P_{\{24\}} &= (0,1; 0,3; 0,3; 0,3) \\ P_{\{33\}} &= (0; 0; 1; 0) \\ P_{\{34\}} &= (0,2; 0,2; 0,3; 0,3) \end{aligned}$$

$$P_{\{44\}} = (0; 0; 0; 1)$$

Boshlang'ich taqsimot: $x = (0,25; 0,25; 0,25; 0,25)$ bo'lsin.

Hisoblash formulasiga ko'ra, har bir $(V(x))_k$ uchun:

$(V(x))_k = \sum_{ij} P_{ij,k} x_i x_j$ formuladan foydalanib hisoblaymiz. Har bir indeks bo'yicha alohida hisoblab chiqish mumkin.

Masalan:

$$\begin{aligned} (V(x))_1 &= x_1^2 \cdot 1 + 2 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot 0,4 + 2 \cdot x_1 \cdot x_3 \cdot 0,3 + \\ &+ 2 \cdot x_1 \cdot x_4 \cdot 0,25 + 2 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot 0,2 + \dots \end{aligned}$$

Ko'rinib turibdiki, $n = 4$ holat ham analogik tarzda ishlaydi, lekin hisoblashlar murakkabroq.

Murakkabroq qozg'almas nuqtalar iteratsiya usuli bilan aniqlanishi mumkin. Bu nuqtalar genetik populyatsiyalarning uzoq muddatli barqaror holatini ifodalaydi

3. Xulosa

Kvadratik stoxastik operator (k.s.o.)lar – populyatsiyadagi genetik jarayonlarni aniq va matematik jihatdan barqaror tarzda modellash imkonini beruvchi qudratli vositadir. Fisher modelining umumlashmasi orqali ular nafaqat bir genofondning holatini, balki juftlik ta'siri va fitnes xususiyatlarini ham hisobga oladi. Maqolada kvadratik stoxastik operator (k.s.o.)larning asosiy ta'riflari, matematik xususiyatlari va modelda qo'llanilishi tahlil qilindi.

Foydalanilgan References

- [1] 1. Bernstein S. N. (1924). The solution of a mathematical problem connected with the theory of heredity. Ann. Sci. Inst. Sav. Ukraine, Sect. Math.
- [2] 2. Lyubich Y. I. (1992). Mathematical structures in population genetics. Springer-Verlag.
- [3] 3. Ganikhodjaev N. N. (1993). Quadratic stochastic operators, Lyapunov functions and tournaments. Russian Academy of Sciences, Doklady Mathematics.
- [4] 4. Mukhamedov F., Saburov M. (2010). On non-Volterra quadratic stochastic operators. Journal of Mathematical Analysis and Applications.

Mualiflar haqida ma'lumot/ Information about the authors

Anorov Obidjon Umaraliyevich	dotsent v.b., Toshkent davlat transport universiteti https://orcid.org/0000-0001-6494-4658
Sultanova Fatimaxon Ergashevna	assistent, Toshkent davlat transport universiteti https://orcid.org/0000-0002-1572-8710

Features the elevation of the outer rail in the curved part of the road

M.M. Toshmatova¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: In the layout of a railway track, its curved section is of particular importance. When transitioning from one straight section of the track to another, a curved segment arises. In the curved section, the outer rail is elevated to neutralize the centrifugal force that appears during the turning of the train. This study is dedicated to analysing the functional properties of the elevation of the outer rail in a railway track. The transition section is divided into two equal parts. This division becomes the centre of symmetry for both parts. Such a configuration ensures a smooth and symmetric transition of the train at both ends of the transitional section. The elevation function value is calculated using a differential equation derived by the author. The layout of the elevated part is presented in a schematic drawing, and a method is proposed to compute the elevation that ensures a smooth transition of the train from a straight section to a curved one.

Keywords: Track plan, radius, curvature, outer and inner rail, centrifugal force, clothoid, railway transition curve.

Особенности возвышение внешнего рельса в кривой части дороги

Тошматова М.М. ¹

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация: В плане железнодорожной пути особым являются его кривая часть. При переходе от одной прямой части дороги к другой возникает кривая часть дороги. В кривой части дороги внешний рельс возвышается для погашения центробежной силы, появляющейся при повороте состава. Данная работа посвящена изучению свойств функции возвышения внешнего рельса железнодорожной пути. Переходная часть разделяется на две равные части. Тогда деление является центром симметрии обеих частей. Такая конструкция переходной части обеспечивает одинаковый плавный переход состава в обоих концах переходной части. Значение функции возвышения вычислено с помощью дифференциального уравнения, полученного автором. Схема возвышенной части приведена в чертеже и указан метод вычисления высоты, обеспечивающей плавный переход состава от прямой части дороги к кривой.

Ключевые слова: План дороги, радиус, кривизна, внешний и внутренний рельс, центробежная сила, клотоида, переходная часть дороги.

1. Введение

Известно [1], что переходная часть дороги необходимо для плавного перехода состава от прямолинейного движения к движению по кривой. Когда состав движется по прямой линии, он не испытывает центробежную силу [2], [3]. При переходе на кривой части дороги на состав действует центробежная сила, величина которого пропорционально к кривизне кривой по которому движется состав. Центробежная сила пропорционально к кривизне кривой. Очевидно, когда состав движется по прямой, центробежная сила равна нулю. Она появляется, когда состав проходит по кривой части. Это механическое свойства движущего материальной точки по кривой описывается геометрическими характеристиками кривой. В данном случае она выражается кривизной кривой. Плавный переход от прямой к кривой части математически описывается как изменение дифференциала кривой. Поэтому кривая описывающая график дороги должна быть дифференцируемой функцией. Идея

проектирование плана железнодорожной пути, проведенной в наших предыдущих работах, подтверждает, что самым сложным участком является переходная часть дороги [4], [5]. Когда кривая выражающая траекторию внутреннего рельса плоская, то она расположена в следующем последовательности "прямая – переходная часть – дуга окружности – переходная часть – прямая". Длины этих кривых участков выбираются в зависимости от радиуса и угла между прямыми [6], [7].

2. Методы определения высоты переходной части

Кривая график которого выражает траекторию внешнего рельса, также будет в последовательности как внутренняя. Но в отличие от него, внешняя кривая является пространственной кривой. Причём та часть, которая соответствует дуге окружности внутренней кривой, будет дугой окружности полученной

параллельным переносом, от внутренней кривой, на постоянном расстоянии.

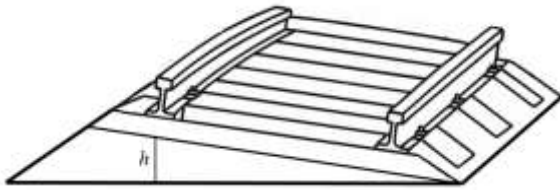


Рис. 1. Профиль переходной части

Так как она принадлежит одной плоскости, то его возвышения будет меняться в зависимости от внутреннего рельса, на постоянную величину. Особенно сложным является определение возвышения внешнего рельса при переходной части. Поэтому мы отдельно изучаем закон изменения возвышенности внешнего рельса, которая наиболее оптимально соответствуют технико-экономическим требованиям предъявляемой проходной части. Математический метод предлагаемой нами основан на идее, что кривизна и кручение кривой, определяющая траекторию внешнего рельса, считаем линейно зависимой от длины пути. Когда проекция кривой на плоскости будет клотоидой уравнения возвышенности пути задается дифференциальным уравнением данное в работе [8-10]. Решая эту дифференциальную уравнению получили значения функции возвышения обеспечивавшая вышеизложенных требований [11], [12].

Оказывается, функция возвышения $z(s) = h$ является возрастающей функцией. Поэтому график внешнего рельса схематически можно представить в следующем виде.

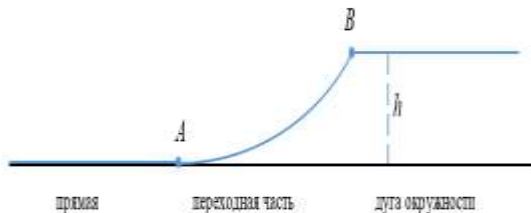


Рис. 2. Схема переходной части

В переходной части функции возвышение $z(s)$ – возрастающая и при переходе на дуги окружности она постоянная. Следовательно, в точке В дифференциал кривой имеет разрывность. Состав в точке при переходе точку В испытывает толчок. Но функции $z(s)$ – по определению в точке А обеспечивает плавную переход от прямой к кривой части. Она отвечает технико-экономическим требованиям. Чтобы добиться плавного перехода и в конце переходной части или точке В, предлагаем следующую конструкцию. Переходную часть дороги разделит на две равные части. Это означает чтобы дугу АВ с точкой С разделить на два равные части. В отрезке АС высоту возвышенности внешней кривой определим как значения функции $z(s)$. В другой части CD функцию возвышенности определим как функция

$$\tilde{z} = h - z(a - s)$$

Предлагаемая метод определения выглядит схематически следующим вида:

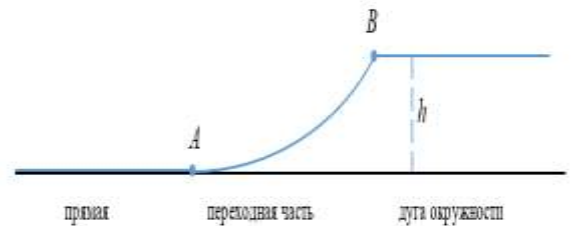


Рис. 3. Схема предлагаемой переходной части

3. Результаты

Предлагаемый нами математический подход основан на предположении, что кривизна и кручение кривой являются функциями длины пути. При таком определении функция $z(s)$ возвышенности дороги, остается всегда возрастающей функцией. Точка С является точкой перегиба. Причём график функции части, АС и СВ будет центрально симметричным относительно точка С. Центрально-симметричность графика относительная точка С обеспечивает одинаковую переход движущего состава по кривой АС и СВ. Таким образом добиваемся плавного перехода состава в точках А и В. Расстоянию АВ определяется в зависимости от радиуса дороги и от угла между прямыми частями. Его величина должна быть не менее длины двух вагонов, то есть не меньше 50 м и обеспечивающая плавную переход состава от прямой к кривой части.

4. Выводы

В данной работе рассмотрены особенности возвышения внешнего рельса в кривой части железнодорожного пути. Установлено, что оптимальный профиль возвышения внешнего рельса должен удовлетворять технико-экономическим требованиям и обеспечивать плавность перехода от прямолинейного движения к криволинейному. На основе анализа кривизны и кручения пространственной кривой предложен математический метод, обеспечивающий плавное изменение возвышения. Установлено, что симметричная форма функции возвышения относительно точки перегиба позволяет добиться равномерного распределения центробежных сил на всём протяжении переходной части пути. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании геометрических параметров железнодорожного полотна, особенно на скоростных участках, где требования к комфорту и безопасности движения являются особенно высоким.

5. Благодарности

Автор выражает искреннюю благодарность преподавателям и научным сотрудникам Ташкентского

государственного транспортного университета за ценное руководство и поддержку на всех этапах выполнения данной работы. Особую признательность автор выражает коллегам кафедры высшей математики за конструктивные замечания и моральную поддержку. Также автор благодарит за оказанную техническую помощь при графическом моделировании и оформлении материала.

Использованная литература / References

- [1] Левин Б.А., Пономарев В.Н. Проектирование и строительство железных дорог. СПб.: Лань, 2006.
- [2] Киселёв В.П., Кононов И.А. Современные методы проектирования железнодорожного пути. Новосибирск: НГАСУ, 2008.
- [3] Ермаков А.М., Степанов В.С. Железнодорожный путь и путевое хозяйство. М.: ИД «ФОРУМ», 2012.
- [4] Furuya, T. Railway Track and Structures for High-Speed Railways. Springer, 2015.
- [5] Esvel, C. Modern Railway Track. MRT-Productions, 2001 (Second Edition).
- [6] Profillidis, V.A. Railway Management and Engineering. Ashgate Publishing, 2006.
- [7] Wen, Z., Wu, J. Dynamics of High-Speed Railway Track Systems. CRC Press, 2017.
- [8] Клименко И.М., Латышев В.И. Теоретические основы проектирования железнодорожного пути. Омск: ОмГУПС, 2010.
- [9] Sadeghi, J. Track Transition Dynamics. Taylor & Francis, 2018.
- [10] Бородин С.В. Динамика железнодорожного пути. М.: Транспорт, 2004.
- [11] Дмитриев Н.Я. Сопротивление пути движению поездов. М.: Маршрут, 2011.
- [12] Жданов В.А., Брагин А.И. Проектирование железных дорог. Геометрическое выравнивание. М.: Транспорт, 2002.

Информация об авторах/ Information about the authors

Тошматова Докторант Ташкентского
Мохинисо государственного транспортного
Муродулла университета. Высшая математика.
кизи

E-mail: toshmatova_mm@mail.ru

Tel.: +99890 007 50 10

<https://orcid.org/0009-0006-2781-9325>



Innovative approaches to architectural design of youth centers in the era of information society

B. Sipatdinova¹, D. Ibrohimova¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: The article investigates the uniqueness and existence of a generalized solution to a linear inverse problem with a semi-nonlocal boundary condition for a degenerate second-order hyperbolic-parabolic equation in a bounded domain. To prove that the solution to the problem is unique and exists, Fourier, The methods of " -regularization" and a priori estimates were used.

Keywords: degenerate hyperbola-parabolic equation, linear inverse problem with semi-nonlocal boundary condition, unique solvability of the generalized solution, Sobolev space.

Ikkinchi tartibli tipi buziladigan giperbola-parabolik tenglama uchun yarimnolokal shartli chiziqli teskari masala

Sipatdinova B.¹, Ibrohimova D.¹

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Ushbu maqolada chegaralangan parallelepiped ko'rinishidagi sohada ikkinchi tartibli tipi buziladigan giperbola-parabolik tenglama uchun yarimnolokal chegaraviy shartli chiziqli teskari masalaning umumlashgan echimning yagonaligi va mavjudligi o'rganilgan. Qo'yilgan masala echimini yagona va mavjudligini isbotlash uchun Furye, "ε - regularizatsiya" va apriori bo'holar usullaridan foydalanilgan.

Kalit so'zlar: ikkinchi tartibli tipi buziladigan giperbola-parabolik tenglama, yarimnolokal chegaraviy shartli chiziqli teskari masala, Sobolev fazosi, umumlashgan echimning yagonaligi va mavjudligi

1. Kirish

Nolokal masalalarni o'rganish jarayonida, nolokal chegaraviy shartlari va teskari masalalar o'rtasida yaqin bog'liqlik aniqlangan [1,2]. Xususiyl hosilali differensial tenglamalar uchun teskari masalalar matematik fizikaning nokorrekt qo'yilgan masalalari guruhiga kiradi. A.G.Megrabov [5], K.B.Sabitov [6] va ularning shogirdlarini ilmiy ishlarida tekislikdagi aralash tipdagi tenglamalar uchun teskari masalalar, S.Z.Djamalovning [4] ishida chegaralangan sohalarida ikkinchi tartibli uch o'lchovli aralash tipdagi tenglamalar uchun nolokal chegaraviy shartli ba'zi chiziqli teskari masalalarning korrektiligi o'rganilgan. Ushbu maqolada chegaralangan parallelepiped ko'rinishidagi sohada ikkinchi tur tipi buziladigan giperbola-parabolik tenglama uchun teskari masalaning yechimini mavjudligi, yagonaligi Sobolev fazosida o'rganilgan. Teskari masalani o'rganish uchun ikkinchi tur tipi buziladigan cheksiz yuklangan integro-differensial tenglamalar oilasi uchun to'g'ri masalani yechishga asoslangan usul keltiriladi.

Teskari masalaning qo'yilishi

Faraz qilamiz parallelepiped ko'rinishidagi

$$G = (0,1) \times (0,T) \times (0,\ell) = Q \times (0,\ell) = \\ = \{(x,t,y); 0 < x < 1, 0 < y < \ell, 0 < t < T < +\infty\}$$

sohada ikkinchi tur ikkinchi tartibli tipi buziladigan giperbola-parabolik tenglama berilgan bo'lsin

$$Lu = k(t)u_{tt} - \Delta u + a(x,t)u_t + \\ + c(x,t)u = \psi(x,t,y) \quad (1)$$

Bu yerda $\Delta u = u_{xx} + u_{yy}$, barcha $t \in [0,T]$ uchun $k(0) = 0$, $k(t) > 0$ shartlar bajarilgan bo'lsin. (1) tenglamadagi

$$\psi(x,t,y) = g(x,t,y) + h(x,t) \cdot f(x,t,y),$$

$g(x,t,y)$ va $f(x,t,y)$ - berilgan funksiyalar, $h(x,t)$ noma'lum funksiya. Tenglamaning barcha koeffitsientlari yetarlicha silliq funksiyalar bo'lsin.

(1) tenglama uchun $[0,T]$ segmentda t o'zgaruvchi bo'yicha $k(t)$ funksiyaning ishorasiga boshqa hech qanday cheklovlar qo'yilmaganligi sababli, tenglama ikkinchi tur aralash tipdagi tenglama bo'ladi [3].

Teskari masala. G sohada (1) tenglamani va quyidagi chegaraviy shartlarni qanoatlantiruvchi

$$\gamma u(x,0,y) = u(x,T,y), \quad (2)$$

$$u(0,t,y) = u(1,t,y) = 0, \quad (3)$$

$$u(x,t,0) = u(x,t,\ell) = 0, \quad (4)$$

Bundan tashqari (1)-(4) masala yechimi qo'shimcha

$$u(x, t, \ell_0) = \varphi(x, t), 0 < \ell_0 < \ell < +\infty \quad (5)$$

shartni qanoatlantiruvchi va

$$U = \{(u, h) | u(x, t, y) \in W_2^2(G),$$

$$D_y^3 u \in L_2(G), h(x, t) \in L_2(Q)\}$$

sinfga tegishli bo'lgan $\{u(x, y, t), h(x, t)\}$ funksiyalarni toppish masalasi qaraladi. Bu yerda γ – noldan farqli, haqiqiy son, qiymati keyinchalik ko'rsatiladi, $\varphi(x, t)$ esa berilgan funksiya.

1-ta'rif. G sohaning deyarli hamma joyida (1) tenglamani hamda (2) - (5) shartlarni qanoatlantiruvchi $\{u(x, t, y), h(x, t)\} \in U$ funksiyalar juftligiga (1) - (5) masalaning umumlashgan yechimi deb aytiladi.

Faraz qilamiz quyidagi shartlar bajarilgan bo'lsin.

1-shart. (1) tenglamaning koeffitsientlari yetarlicha silliq funksiyalar bo'lsin va quyidagi shartlar bajarilsin:

$$c(x, 0) = c(x, T), a(x, 0) = a(x, T),$$

$$g \in W_2^2(G); D_y^3 g \in L_2(G);$$

$$\gamma g|_{t=0} = g|_{t=T}; g(x, t, \ell_0) = g_0(x, t) \in W_2^1(Q).$$

$$f \in C_{x,t,y}^{0,1,4}(G); \gamma f|_{t=0} = f|_{t=T}; D_y^p f|_{y=0} = D_y^p f|_{y=\ell} = 0; p = 1, 3;$$

$$f(x, t, \ell_0) = f_0(x, t) \in C_{x,t}^{0,1}(\bar{Q}); |f_0(x, t)| \geq \gamma > 0, 0 < \eta < 1.$$

$$2a(x, t) - |k_t(t)| + \lambda k(t) \geq B_1 > 0, \lambda c(x, t) - c_t(x, t) \geq b_2 > 0,$$

$$\text{bu yerda } \lambda = \frac{2}{T} \ln |\gamma| > 0, |\gamma| > 1.$$

2-shart. Faraz qilaylik, berilgan $\varphi(x, t)$ funksiya quyidagi shartlarni qanoatlantirsin:

$$\varphi(x, t) \in W_2^3(Q);$$

$$\gamma D_t^q \varphi|_{t=0} = D_t^q \varphi|_{t=T}, q = 0, 1, 2;$$

$$\varphi|_{x=0} = \varphi|_{x=1} = 0.$$

1-Teorema. Faraz qilamiz (1)-(5) masala koeffitsientlari uchun yuqoridagi 1- va 2-shartlar bajarilgan bo'lsin. Undan tashqari $b_0 - \sigma \geq \delta_* > 0$, $2\rho \equiv M \cdot \sum_{s=1}^{\infty} (1 + \mu_s^6) \|f_s\|_{W_2^1(Q)}^2 < \delta_*$, shartlar o'rinli bo'lsin. Bu yerda

$$b_0 = \min \left\{ B_1; \lambda a_0, b_2 + b_3 \cdot \left(\frac{\pi}{\ell} \right)^2 \right\},$$

$$M = \left(\eta; \sigma^{-1}; \|a\|_{C^1(Q)}; \|g_0\|_{W_2^1(Q)}; \text{mes}(Q) \right)$$

ga bog'liq o'zgarmas sonlar.

U holda

$$u(x, t, y) = \sqrt{\frac{2}{\ell}} \sum_{s=1}^{\infty} u_s(x, t) \sin \mu_s y, \quad (A)$$

$$h(x, t) = \frac{1}{f_0} \left[\Phi + a \cdot \sqrt{\frac{2}{\ell}} \cdot \sum_{s=1}^{\infty} \mu_s^2 u_s(x, t) \sin \mu_s \ell_0 \right], \quad (B)$$

funksiyalar berilgan U sinfga (1)-(5) chiziqli teskari masalaning yagona yechimi bo'ladi.

1. (1)-(5) masalaning yechimi $u(x, t, y) \in U$ (5) qo'shimcha shartni qanoatlantirishini ko'rsatamiz.

2. Kichik parametrlilik tarkibiy tipdagi yuklangan integro-differensial tenglamalar oilasining yechimini ya'ni yordamchi masalaning o'rganamiz.

3. Keyin ushbu yordamchi masalaga ketma-ket yaqinlashishlar usulini qo'llab yangi masalaga o'tib ushbu masalaning yechimini mavjud va yagonaligini isbotlaymiz.

4. Yordamchi masalaning yagona yechimidan foydalanib, (1)-(5) chiziqli teskari masalaning yagona yechimi bor ekanligini ko'rsatamiz.

Foydalanilgan References

adabiyotlar/

- [1] Аниконов Ю.Е. Некоторые методы исследования многомерных обратных задач для дифференциальных уравнений. - Новосибирск: Наука, 1978. 120 с.
- [2] Бубнов Б.А. К вопросу о разрешимости многомерных обратных задач для параболических уравнений. - Новосибирск: Препринты ВЦ СО АН СССР. 1987. №713. 84 с.
- [3] Врагов В.Н. Краевые задачи для неклассических уравнений математической физики. - Новосибирск: НГУ, 1983. 84 с.
- [4] Джамалов С.З. Нелокальные краевые и обратные задачи для уравнений смешанного типа. Монография, - Ташкент: 2021. 176 с.
- [5] Меграбов А.Г. Некоторые обратные задачи для уравнения смешанного типа. - ДАН СССР. 1977. Т.234. С. 305-307.
- [6] Сабитов К.Б. Задача Дирихле для уравнений смешанного типа в прямоугольной области. - Докл. РАН. 2007. Т.413. №1. С. 23-26.

Mualiflar haqida ma'lumot / Information about the authors

Sipatdinova assistent (f.-m.f.n), Toshkent davlat transport universiteti
Biybinaz
Kenesbayevna

Ibrohimova assistent, Toshkent davlat transport universiteti
Dilbar Erkin
qizi

Multivariate regression model for factors affecting natural gas production in the Republic of Uzbekistan

R. Kendjaev¹, U. Shamsieva¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This article examines the relationship between natural gas production in Uzbekistan and the factors affecting it — domestic consumption, export volume, export income and international gas prices. A multivariate linear regression model was built to estimate the effects of these variables based on 20 years of data. Correlation analysis showed strong correlation between several indicators, while VIF analysis eliminated the multicollinearity problem. The final model was statistically evaluated for reliability using t-tests and F-tests. Through the results, factors were identified that significantly affect the volume of gas production. The conclusions drawn from these results help policymakers optimize resource management and export strategies.

Keywords: correlation matrix, multicollinearity, degree of significance, critical value, correlation coefficient, predictor, regression

1. Introduction

The industry of Uzbekistan is one of the most important sectors of the country's economy, its development is of great importance not only in domestic energy supply, but also in generating income through exports. Over the past 20 years, natural gas prices, production volumes, domestic consumption and exports have significantly affected the stability and financial condition of the Uzbek economy.

Natural gas prices vary depending on global market conditions and directly shape Uzbekistan's export revenues. Also important factors affecting the size of these revenues are the volume of natural gas production and domestic consumption. The study of the complex relationships between these factors and the identification of trends that developed in 2005-2024 are of great scientific and practical importance.

2. Objects and methods of research

In this study, the change in income from the export of natural gas based on the indicators of the price of natural gas, the volume of production, domestic consumption and export is analyzed using a regression model constructed by the methods given in [1] - [5]. This approach will help understand the economic dynamics of the gas sector in Uzbekistan, as well as shape further policies and strategies.

Below are the data on natural gas production in Uzbekistan in 2005-2024 and the factors affecting it.

Y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
59,2	48,5	14,0	1200	8,69
59,7	49,0	15,2	1300	6,73
66,2	53,1	16,8	1400	6,97
63,2	51,0	17,6	1500	8,86
61,4	49,6	14,5	1350	3,95
58,8	48,0	13,2	1500	4,39
57,2	47,5	12,0	1600	4,00
56,3	47,0	11,5	1700	2,75
55,0	46,5	10,8	1800	3,73
56,0	48,0	10,0	1900	4,37
57,7	50,3	9,5	2000	2,61

56,4	49,8	8,7	1390	2,52
56,5	50,0	8,0	2420	2,99
59,1	52,0	7,5	2260	3,15
53,8	50,5	6,8	478	2,57
49,7	48,0	5,5	717	2,03
53,5	50,0	4,8	911	3,89
51,7	49,0	3,7	530	6,45
46,7	48,5	1,7	628	2,57
59,2	48,5	14,0	1200	8,69

Here

Y – natural gas production (billion m³)

X₁ – natural gas consumption (billion m³)

X₂ – natural gas export (billion m³)

X₃ – income from natural gas exports (mln USD)

X₄ – Henry Hub Annual Natural Gas Price Averages (\$/MMBtu).

The main purpose of building the model is to determine which of the listed factors, such as natural gas consumption, natural gas exports, annual average natural gas prices, income from natural gas exports, will have a greater impact on natural gas production and choose the best model.

The correlation matrix is a square table showing correlation coefficients between multiple variables. It is used to assess how each variable relates to their heads. Correlation value -1 to +1

+1 - strong positive dependence

No dependency on 0

-1 - strong negative dependence

3. Results and their discussion

	y	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄
y	1,00000	0,49383	0,89911	0,48297	0,56213
x ₁	0,49383	1,00000	0,14330	0,07886	0,21427
x ₂	0,89911	0,14330	1,00000	0,36829	0,61621
x ₃	0,48297	0,07886	0,36829	1,00000	0,08716
x ₄	0,56213	0,21427	0,61621	0,08716	1,00000

From this table it can be seen that in our question the correlation coefficients between Y (natural gas production) and X₁ (natural gas consumption), X₂ (natural gas export), X₃ (natural gas export income) and X₄ (annual average natural gas prices) are $r_{YX_1} = 0,49383$, $r_{YX_2} = 0,89911$, $r_{YX_3} =$

0,48297, $r_{YX_4} = 0,56213$. Therefore r_{YX_1} , r_{YX_3} and r_{YX_4} are "good" predictors; r_{YX_2} strongly correlating

We analyze multicollinearity. The correlation coefficient between X_1 and X_2 was $r_{X_1X_2} = 0,14330$. Under the conditions of multicollinearity, the conditions $r_{YX_1} \geq r_{X_1X_2}$ and $r_{YX_2} \geq r_{X_1X_2}$ will be met. According to preliminary data, multicollinearity does not exist. However, if look to $r_{X_2X_4}$, the X_2 and X_4 are in a dubious position. This situation is clarified during the T-test, F-test and VIF-test. The VIF-test is performed for suspicious predictors. If there is a "dependency," we may not include this predictor in the model since it affects Y through another subject.

$$VIF_j = 1/(1 - R_j^2).$$

The decisive rule: if $VIF_j < 5$, then the i th predictor is left in the model considered verified, otherwise he will have to exclude the predictor or other strongly correlating predictor from the model.

The following model is proposed

$$Y = (X_1, X_2, X_3, X_4)$$

The regression equation is

$$Y = -2,14 + 0,989X_1 + 0,7813X_2 + 0,001426X_3 + 0,059X_4$$

Term	VIF
X_1	1,06
X_2	2,27
X_3	1,44
X_4	2,05

Because $VIF(X_1) = 1,06$, $VIF(X_2) = 2,27$, $VIF(X_3) = 1,44$ and $VIF(X_4) = 2,05$ since these values are less than 5, we leave them in the model and see the T-test. Information obtained through the Minitab program.

Term	T-Value
Constant	-0,33
X_1	7,42
X_2	10,65
X_3	3,06
X_4	0,40

We build a hypothesis for the T test. Our hypothesis consists of a null and double alternative hypothesis:

$$H_0: \beta_j = 0;$$

$$H_1: \beta_j \neq 0.$$

We find critical value t for degree of significance $\alpha = 0,025$:

$$t_{kr} = t_{\alpha/2}(n - k) = t_{0,025}(36) = 2,339061$$

$$|t_i| > t_{\alpha/2}(n - k) \text{ the } X_1,$$

According to the condition X_2 , X_3 pass the t-test, but X_4 does not satisfy this condition, so the X_4 did not pass the t-test. Critical point for F-testing found in Fisher distribution table

$$F_{kr} = F_{\alpha}(k - 1; n - k) = F_{0,05}(3; 36) = 2,866266;$$

And the estimated sample value F is $F = 150, 21$.

According to the decisive rule: because $F > F_{kr}$, the model passes the F-test.

4. Conclusions

According to the results of the study, the multidimensional regression model, built on the basis of data collected on the gas industry of Uzbekistan for 2005-2024, acquired the following form:

$$Y = -2,48 + 0,999X_1 + 0,8018X_2 + 0,001344X_3$$

Analysis of the model shows that the greatest impact on natural gas production volumes is exerted by internal consumption (X_1) with a coefficient of 0.999. This suggests that gas production will be aimed primarily at meeting domestic needs. The impact of exports (X_2) is also important and makes a significant positive contribution to production. Export revenues (X_3) have a smaller but positive impact on production volumes. In addition, based on the analysis, global prices (X_4) were not included in the final model due to the lack of a statistical value. VIF and T - tests showed model robustness and no significant multicollinearity between predictors. The results of the F-test confirmed that the model as a whole is sensitive. Overall, this model can play an important role in shaping Uzbekistan's natural gas export strategy. You can optimize production by managing domestic consumption and export in a balanced manner. The results of the study create the scientific basis for making effective decisions when planning energy policy and achieving economic stability.

References

- [1] Cohen, J., & Cohen, P. (1985). Applied multiple regression and correlation analysis for the behavioral sciences. In Lawrence erlbaum associates. <https://doi.org/10.4324/9780203774441>
- [2] Davidson, R., & MacKinnon, J. G. (1981). Several test for model specification in the presence of alternative hypothesis. *Econometrica*, 49(3), 781-793. [https://doi.org/0012-9682\(198105\)49:3](https://doi.org/0012-9682(198105)49:3)
- [3] Halinski, R., & Feldt, L. (1970). The selection of variables in multiple regression analysis. *Journal of Educational Measurement*, 7(3), 151-157. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-3984.1970.tb00709>
- [4] Hansen, B. (2017). Econometrics. In Usa: University of wisconsin.
- [5] Mark, J., & Goldberg, M. (1988). Multiple regression analysis and mass assessment: A review of the issues. *Appraisal Journal*, 56(1).

Information about the authors

Kendjayev Ravshan Department of Higher Mathematics, Tashkent State Transport University, Uzbekistan
E-mail: lovsan63@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2390-980X>

Shamsiyeva Ugiloy Department of Higher Mathematics, Tashkent State Transport University, Uzbekistan
E-mail: Nuriyashamsiyeva304@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-5070-0919>

The use of green infrastructure elements in urban planning: environmental and economic efficiency

Y.A. Islamov¹

¹Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This article presents an in-depth examination of the ecological and economic efficiency of green infrastructure components within the context of modern urban planning. It explores the environmental and social benefits of green spaces, vertical gardens, ecological transport systems, solar panels, and other energy-efficient technologies. Drawing on academic research, international case studies, and contemporary urban projects, the paper analyzes how these elements contribute to the sustainability and livability of urban environments. Particular attention is given to current initiatives in Uzbekistan, such as the nationwide “Yashil Makon” (Green Space) campaign and the “New Andijon” smart city development. The study identifies key challenges including regulatory barriers, limited technical capacity, and financial constraints. Based on these findings, the article proposes practical recommendations aimed at improving the implementation and effectiveness of green infrastructure. This research contributes to the development of sustainable, resilient cities and highlights the strategic role of environmental design in shaping healthier urban futures.

Keywords: green infrastructure, urban planning, ecological efficiency, energy saving, Yashil Makon, sustainable development.

Shaharsozlikda yashil infratuzilma elementlarining qo‘llanilishi: ekologik va iqtisodiy samaradorlik

Islamov Y.A.¹

¹Toshkent Davlat Transport Universiteti, Toshkent, O‘zbekiston

Annotatsiya: Mazkur maqolada shaharsozlik jarayonida yashil infratuzilma elementlarining ekologik va iqtisodiy samaradorligi masalalari atroflicha tahlil qilinadi. Xususan, yashil maydonlar, vertikal bog‘lar, ekologik transport yo‘llari, quyosh panellari va boshqa energiya tejovchi texnologiyalar shahar muhitiga va aholining hayot sifati hamda farovonligiga qanday ta‘sir ko‘rsatayotgani muhokama qilinadi. Tadqiqotda xalqaro tajribalar, ilmiy adabiyotlar hamda so‘nggi yillarda O‘zbekiston hududida amalga oshirilgan yirik tashabbuslar, jumladan, “Yashil makon” milliy loyihasi va “Yangi Andijon” shahri misolida amalga oshirilgan amaliy ishlar asosida bugungi holat tahlil qilinadi. Maqolada mavjud muammolar, tartibga solish mexanizmlari va texnologik imkoniyatlar ko‘rib chiqilib, yashil infratuzilma samaradorligini oshirishga doir ilmiy-amaliy tavsiyalar taqdim etiladi. Ushbu tadqiqot shaharsozlikda ekologik barqarorlikni ta‘minlashga xizmat qiladi.

Kalit so‘zlar: yashil infratuzilma, shaharsozlik, ekologik samaradorlik, energiya tejamkorlik, Yashil makon, barqaror rivojlanish.

1. Kirish

So‘nggi yillarda urbanizatsiya jarayonlarining jadallashuvi ekologik muvozanatning buzilishi, atmosfera havosining ifloslanishi, yashil hududlar qisqarishi kabi muammolarni keltirib chiqarmoqda. Bu esa, shaharsozlik siyosatida barqaror rivojlanish va yashil infratuzilmani keng joriy etishni talab etmoqda. Yashil infratuzilma deganda – tabiiy va sun‘iy yashil makonlar majmuasi tushuniladi, jumladan, bog‘lar, yashil tomlar, vertikal bog‘lar, suv infratuzilmasi, ekologik transport yo‘llari va boshqa elementlar. Yashil infratuzilmaning asosiy maqsadi – aholi salomatligi, ekologik barqarorlik va shahar iqtisodiyotining energiya tejamkorligini ta‘minlashdir. Ushbu maqolada shaharsozlikda yashil infratuzilma elementlarining amaliy qo‘llanilishi, ekologik va iqtisodiy samaradorligi tahlil qilindi.

2. Uslublar

Ushbu maqolada shaharsozlikda yashil infratuzilma elementlari bilan bog‘liq masalalarga nazariy va matematik yondashuv asosida e‘tibor qaratildi. Avvalo, yashil infratuzilma tushunchasi, uning tarkibiy qismlari va atrof-muhitga ta‘siri haqida mavjud ilmiy adabiyotlar hamda xalqaro tashkilotlar (BMT, UN-Habitat, Yevropa Ittifoqi) tomonidan taqdim etilgan konsepsiyalar ko‘rib chiqildi. Shuningdek, yashil hududlar va ularning haroratni pasaytirishdagi roli matematik modellashtirish asosida ifodalanadi. Masalan, Yashil hududning foiz miqdori A bo‘lsin. Energiya sarfi E bilan quyidagicha bog‘liq bo‘lishi mumkin: $E(A) = E_0 - \alpha \cdot A$, bu yerda E_0 – boshlang‘ich energiya sarfi, α – yashil hududning energiya tejashga ta‘sir koeffitsienti. Shuningdek, ko‘chmas mulk narxi $V(A) = V_0 + \beta \cdot A$ kabi chiziqli model asosida tahlil qilindi.

3. Natijalar va Muhokama

Yashil infratuzilma elementlarini shaharsozlikda qo'llash nafaqat ekologik, balki iqtisodiy va ijtimoiy jihatdan ham samarali hisoblanadi. Masalan, Dunyo sog'liqni saqlash tashkiloti (WHO) ma'lumotlariga ko'ra, shahar hududlarida yashil maydonlar har bir kishiga kamida 9 m² miqdorda to'g'ri kelishi tavsiya etiladi [1]. Toshkent shahrida esa bu ko'rsatkich 2021-yil holatiga ko'ra 5.3 m² atrofida bo'lgan. 2021-yildan boshlab O'zbekistonda "Yashil makon" loyihasi doirasida 2023-yil oxirigacha 300 million tup daraxt va buta ekish maqsad qilingan bo'lib [2], bu kampaniya orqali shaharlarning ekologik holatini yaxshilash va urbanizatsiyaning salbiy oqibatlarini kamaytirish ko'zda tutilgan. Toshkentdagi "New Tashkent City" va "Yangi Andijon" kabi yirik loyihalarda yashil infratuzilma elementlari — bulvarlar, favvoralar, ekologik veloyollar, ko'p funksiyali yashil zonalar, energiya tejovchi yoritish texnologiyalari joriy etilmoqda. Masalan, Yangi Andijon loyihasida umumiy hududning 30% dan ortig'i yashil maydon sifatida belgilangan [3]. Xalqaro tajribaga nazar tashlansa, Singapurda vertikal bog'lar orqali 2030-yilga borib umumiy yashil maydon hajmini 50% ga yetkazish maqsad qilingan [4]. 2020-yil holatiga ko'ra, bu mamlakatda 1100 dan ortiq bino yashil sertifikat olgan. Germaniyada esa "Green Roof" dasturi orqali faqatgina Berlinda 2020-yilga kelib 3 million m² tom maydoni yashil tomlar bilan qoplangan [5]. O'zbekistonda esa yashil infratuzilmaga ajratilayotgan byudjet mablag'lari yetarli emas, ekologik standartlar to'liq ishlab chiqilmagan, va jamoatchilik ishtiroki yetarli emas [6]. Shu bilan birga, yashil infratuzilmaning foydasi matematik modellar orqali ham ifodalash mumkin. Masalan, shahar haroratining tushishini quyidagi formulada ko'rsatish mumkin: $T = T_0 - k\sqrt{A}$, bu yerda T — yashil hudud mavjud bo'lgan joydagi harorat, T_0 — asfalsiz hududdagi harorat, A — yashil maydon yuzasi, k — tajriba asosida aniqlanadigan koeffitsient. Bundan tashqari, optimallashtirish masalasi sifatida shahar hududining ma'lum foizini (masalan, 20%) yashil infratuzilmaga ajratish orqali energiya sarfini minimal qilish mumkin. Bu masalalar yuqori matematika vositalari — funksional tahlil, differensial tenglamalar va chiziqli dasturlash orqali yechilishi mumkin. Misol uchun, Toshkent shahrining Markaziy tumanida yashil hudud foizi $A \approx 8\%$ bo'lsa, energiya sarfi $E \approx 180 \text{ kVt/oy}$, yashil maydon foizi 15% ga yetganda bu sarf $E \approx 160 \text{ kVt/oy}$ ga tushadi. Bu $E(A) = E_0 - \alpha \cdot A$ formulasi orqali $\alpha \approx 2.5$ qiymatida bo'lishi mumkinligini ko'rsatadi. Shuningdek, yashil park hududlariga yaqin joylashgan ko'chmas mulk narxi boshqa hududlardagiga nisbatan 15-20% yuqori bo'lishi mumkin. Bu $V(A) = V_0 + \beta \cdot A$ modeli bilan tasdiqlanishi mumkin, bu yerda β o'rtacha 0.8–1.2 foiz punkt atrofida bo'lishi mumkin. Bu kamayish quyidagi formulaga asoslanadi: $E(A) = E_0 - \alpha \cdot A$, bu yerda E — energiya sarfi, E_0 — boshlang'ich sarf (180 kVt), A — yashil hudud foizi, α — energiyani tejash koeffitsienti. Agar yashil maydon 8% bo'lsa, energiya sarfi $E(8) = 180 - \alpha \cdot 8$, va 15% bo'lganda $E(15) = 180 - \alpha \cdot 15$ bo'ladi. Farq: $E(8) - E(15) = \alpha \cdot (15 - 8) = 7\alpha$. $\alpha \approx 2.85$ deb olinsa, $7 \times 2.85 = 19.95 \approx 20 \text{ kVt}$ tejashga teng. Shuning uchun energiya sarfi 180 kVt/oydan 160 kVt/oyga tushgan.

4. Xulosa va tavsiyalar

Yashil infratuzilmaning shaharsozlikda qo'llanilishi atrof-muhitni muhofaza qilish, aholining sog'lig'ini yaxshilash va resurslardan samarali foydalanish imkonini beradi. O'zbekiston shaharlarida bu borada muayyan ijobiy siljishlar kuzatilmoqda, biroq xalqaro tajriba shuni ko'rsatmoqdaki, bu jarayonni tizimli va natijador qilish uchun quyidagi amaliy choralar zarur:

1. Shaharsozlikda yashil infratuzilma elementlarini majburiy me'yor sifatida joriy etish — yangi qurilish loyihalarida minimal yashil hudud foizi belgilanishi lozim (kamida 20–30%).

2. Mahalliy ekologik qurilish standartlarini ishlab chiqish va joriy etish — xalqaro LEED yoki BREEAM tizimlariga moslashtirilgan O'zbekiston uchun maxsus reyting tizimi zarur.

3. Yashil infratuzilmaning iqtisodiy foydasini o'lchaydigan indikatorlar ishlab chiqish — sog'liqni saqlash xarajatlari kamayishi, energiya tejash, ko'chmas mulk qiymatining oshishi kabi ko'rsatkichlar asosida.

4. Aholi o'rtasida ekologik ongni oshirish va ishtirokni kuchaytirish — ko'ngilli ravishda daraxt ekish, jamoaviy ekologik loyihalarda ishtirok etishni rag'batlantirish.

5. Oliy ta'lim muassasalarida yashil shaharsozlik bo'yicha alohida kurslar yoki yo'nalishlar ochish — ushbu sohaga ixtisoslashgan kadrlar yetishtirish muhim ahamiyatga ega.

5. Minnatdorchilik

Muallif ushbu ishni bajarish jarayonining barcha bosqichlarida ko'rsatgan qimmatli rahbarlik va yordami uchun Toshkent davlat transport universitetining professor-o'qituvchilari va ilmiy xodimlariga chuqur minnatdorlik bildiradi. Ayniqsa, Oliy matematika kafedrasida hamkasblariga konstruktiv mulohazalar va ma'naviy qo'llab-quvvatlaganlari uchun alohida tashakkur bildiradi. Shuningdek, muallif grafik modellashtirish va materialni rasmiylashtirish jarayonida ko'rsatilgan texnik yordam uchun ham o'z minnatdorchiligini bildiradi.

Foydalanilgan adabiyotlar/ References

- [1] World Health Organization (WHO). (2010). Urban green spaces and health. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.
- [2] Prezident.uz. (2021). "Yashil makon" umummilliy loyihasi doirasidagi tadbirlar. O'zbekiston Respublikasi Prezidenti rasmiy veb-sayti.
- [3] "Yangi Andijon" shaharsozlik loyihasi master-rejasi, 2023-yil.
- [4] Building and Construction Authority (BCA), Singapore. (2020). Green Building Masterplan.
- [5] German Federal Environment Agency. (2020). Green Roof Strategy in Berlin.
- [6] UN-Habitat. (2021). Cities and Climate Change Initiative. United Nations Human Settlements Programme.

Muoliflar haqida ma’lumot/ Information about the authors

Islamov Yorqin Toshkent davlat transport
Abduhakimovich universiteti. Dotsent. Oliy
matematika kafedrası.
E-mail:
IslamovYorqin72@gmail.com
Tel.: +99899 039-74-95
<https://orcid.org/0000-0003-3053-1366>



Complete dynamics of quadratic stochastic quasi non-Volterra operator

F. Yusupov¹, A. Eshkabilov¹

¹Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This article explores asymptotic cases of trajectories, one of the main problems of Mathematical Biology. The article presents and proves the theorem that the excitable point of a quadratic operator that is not of Volterra type is unique

Keywords: Simpex, internal fixed point, cyclic trinity, ergodic operator, Lyapunov function.

1. Introduction

The notion of a quadratic stochastic operator (QSO) was introduced by S.N. Bernstein [1] when studying some mathematical problems related to the theory of heredity.

We generalize the concept of QSO in a following way. Let (E, F) be a measurable space, where E is a fixed set and F is a σ -algebra of subsets of the set E . Let $S(E, F)$ be the set of all probability measures defined on the measurable space (E, F) . Further, let $\{P(x, y, A): x, y \in E, A \in F\}$ be a family of functions defined on $E \times E \times F$ and satisfied the following conditions:

$$(i) \quad \text{for any fixed } x, y \in E, \\ P(x, y, \cdot) \in S(E, F) \quad (0.1)$$

$$(ii) \quad \text{for any fixed measurable set } A \in F, \text{ the mapping} \\ P(\cdot, \cdot, A) \rightarrow R \quad (0.2)$$

is a measurable function of two variables.

$$(iii) \quad \text{for any fixed } x, y \in E, \text{ and } A \in F \\ P(x, y, A) = P(y, x, A) \quad (0.3)$$

Condition (0.1) implies that

$$P(x, y, E) = 1 \quad \forall x, y \in E \quad (0.4)$$

Put $V: S^{n-1} \rightarrow S^{n-1}$ is a quadratic stochastic operator (QSO),

$$S^{n-1} = \left\{ x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in R^n: \right. \\ \left. x_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, n, \sum_{i=1}^n x_i = 1 \right\}$$

let it be defined in the simplex, namely

$$(Vx)_k = x'_k = \sum_{i,j=1}^n P_{ij,k} x_i x_j, k = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

here $P_{ij,k} \geq 0, P_{ij,k} = P_{ji,k}$ and, evidently

$$\sum_{k=1}^n P_{ij,k} = 1, \forall i, j, k \in \{1, 2, \dots, n\}. \quad (2)$$

2. Methods

QSO is called a **strict non-Volterra operator** if the following condition is satisfied:

$$P_{ij,k} = 0 \text{ for any } k \in \{i, j\} \quad (3)$$

Definition 1. If condition (3) is not satisfied only for $P_{ii,i}$, i.e., $P_{ii,i} > 0$, then QSO V defined in S^{n-1} is called a **quasi-strict non-Volterra operator**.

Definition 2. The solution of the equation $W(\lambda) = \lambda$, $\forall \lambda \in S^2$ is called the fixed point of the operator, and the set of fixed points is denoted (defined) in the following way: $Fix(W) = \{\lambda \in S^2: W(\lambda) = \lambda\}$.

Definition 3. If the Jacobian of a fixed point λ of the operator W has no eigenvalue in the unit circle, then the point λ is called a **hyperbolic** fixed point.

Definition 3. A hyperbolic fixed point λ is said to be

(i) **attracting** if absolute values of all eigenvalues of the Jacobi matrix $J(\lambda)$ are less than one,

(ii) **repulsive** if absolute values of all eigenvalues of the Jacobi matrix $J(\lambda)$ are greater than one;

(iii) otherwise, it is called a **saddle-type** fixed point.

For each $x^0 \in S^{n-1}$, the trajectory $\{x^{(n)}\}, n = 0, 1, 2, \dots$ under the influence of QSO (1) defined as follows:

$$x^{(n+1)} = V(x^{(n)}), n = 0, 1, 2, \dots$$

3. Results and discussion

One of the main problems of mathematical biology is the study of the asymptotic state of trajectories. These problems are completely solved for the QSOs defined by equality (2) and for the Volterra QSOs with the additional condition $P_{ij,k} = 0, \forall k \in \{i, j\}$ (see [8]).

In this article, we restrict ourselves to the study of quasi-strictly non-Volterra operators defined in S^2 , which have the following form

$$W: \begin{cases} x' = P_{11,1}x^2 + P_{22,1}y^2 + P_{33,1}z^2 + 2P_{23,1}yz \\ y' = P_{11,2}x^2 + P_{22,2}y^2 + P_{33,2}z^2 + 2P_{13,2}xz \\ z' = P_{11,3}x^2 + P_{22,3}y^2 + P_{33,3}z^2 + 2P_{12,3}xy \end{cases} \quad (4)$$

where assuming

$$\begin{aligned} P_{11,1} &= \alpha_1, P_{22,1} = \beta_1, P_{33,1} = \gamma_1, \\ P_{11,2} &= \alpha_2, P_{22,2} = \beta_2, P_{33,2} = \gamma_2, \\ P_{11,3} &= \alpha_3, P_{22,3} = \beta_3, P_{33,3} = \gamma_3, \end{aligned}$$

operator (4) can be represented as:

$$V: \begin{cases} x' = \alpha_1 x^2 + \beta_1 y^2 + \gamma_1 z^2 + 2yz \\ y' = \alpha_2 x^2 + \beta_2 y^2 + \gamma_2 z^2 + 2xz \\ z' = \alpha_3 x^2 + \beta_3 y^2 + \gamma_3 z^2 + 2xy \end{cases} \quad (5)$$

where $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i \geq 0, i = 1, 2, 3, \sum_{i=1}^3 \alpha_i = \sum_{i=1}^3 \beta_i = \sum_{i=1}^3 \gamma_i = 1$.

Assume that the equalities

$$\begin{aligned}\alpha_1 &= \beta_1 = \gamma_1 = a, \\ \alpha_2 &= \beta_2 = \gamma_2 = b, \\ \alpha_3 &= \beta_3 = \gamma_3 = c\end{aligned}$$

are true. Then operator (5) has the following form:

$$W: \begin{cases} x' = a(x^2 + y^2 + z^2) + 2yz \\ y' = b(x^2 + y^2 + z^2) + 2xz \\ z' = c(x^2 + y^2 + z^2) + 2xy \end{cases} \quad (6)$$

where $a + b + c = 1$, $a, b, c \geq 0$.

4. Conclusions

Fixed point of the operator

Theorem 1: If $a \in [0; \frac{1}{2}]$, $b \in [0; \frac{1}{2}]$, $c \in [0; 1]$, then operator (6) has a single fixed point.

We find the fixed points of operator (6) by solving the system

$$\begin{cases} a(x^2 + y^2 + z^2) + 2yz = x, \\ b(x^2 + y^2 + z^2) + 2xz = y, \\ c(x^2 + y^2 + z^2) + 2xy = z. \end{cases} \quad (7)$$

Using the first equation of (7) and $x = 1 - y - z$, compose the equation:

$$2ay^2 + (2(1+a)z + 1 - 2a)y + (2az^2 + (1-2a)z + a - 1) = 0 \quad (8)$$

Let's solve this quadratic equation with respect to y . Here

$$D_1 = 4(1 + 2a - 3a^2)z^2 + 4(1 - 3a + 2a^2)z + (1 + 4a - 4a^2)$$

holds for all $a \in [0; 1]$ and $z \in [0; 1]$, moreover $D_1 > 0$.

For $z \in [0; \frac{2a-1+\sqrt{1+4a-4a^2}}{4a}]$, the free term of equation (8) will be negative, i.e., $2az^2 + (1-2a)z + a - 1 \leq 0$. And equation (8) has two real solutions with different signs, which look like this:

$$\begin{aligned}y_1 &= \frac{-(2(1+a)z + 1 - 2a) + \sqrt{D_1}}{4a} \\ y_2 &= \frac{-(2(1+a)z + 1 - 2a) - \sqrt{D_1}}{4a}\end{aligned}$$

For arbitrary $a \in [0; 1]$ and $z \in [0; \frac{2a-1+\sqrt{1+4a-4a^2}}{4a}]$, it will be true $0 < y_1 < 1$, $y_2 < 0$.

Since $y \in [0; 1]$, we take only y_1 .

As above, using the second equation (7) and $y = 1 - x - z$, we compose the equation

$$2bx^2 + (2(1+b)z + 1 - 2b)x + (2bz^2 + (1-2b)z + b - 1) = 0 \quad (9)$$

Let's solve this quadratic equation with respect to x . Here

$$D_2 = 4(1 + 2b - 3b^2)z^2 + 4(1 - 3b + 2b^2)z + (1 + 4b - 4b^2)$$

holds for all $b \in [0; 1]$ and $z \in [0; 1]$, moreover $D_2 > 0$.

When $z \in [0; \frac{2b-1+\sqrt{1+4b-4b^2}}{4b}]$, the free term of equation (9) will be negative, i.e., $2bz^2 + (1-2b)z + b - 1 \leq 0$. And equation (9) has two real solutions with different signs, which look like this:

$$\begin{aligned}x_1 &= \frac{-(2(1+b)z + 1 - 2b) + \sqrt{D_2}}{4b} \\ x_2 &= \frac{-(2(1+b)z + 1 - 2b) - \sqrt{D_2}}{4b}\end{aligned}$$

For arbitrary $b \in [0; 1]$ and $z \in [0; \frac{2b-1+\sqrt{1+4b-4b^2}}{4b}]$, it will be true $0 < x_1 < 1$, $x_2 < 0$.

Since $x \in [0; 1]$, we take only x_1 .

Let's substitute the values of x_1 and y_1 , respectively, into the equation $x + y + z = 1$.

As a result, we get the equality

$$\frac{b}{2(a+b)}\sqrt{D_1} + \frac{a}{2(a+b)}\sqrt{D_2} - \frac{1}{2} = z \quad (10)$$

Introduce in (10) the following notation:

$$\begin{aligned}f(z) &= \frac{b}{2(a+b)}(4(1+2a-3a^2)z^2 + 4(1-3a+2a^2)z + (1+4a-4a^2))^{\frac{1}{2}} \\ &\quad + \frac{a}{2(a+b)}(4(1+2b-3b^2)z^2 + 4(1-3b+2b^2)z + (1+4b-4b^2))^{\frac{1}{2}} - \frac{1}{2} \quad (11)\end{aligned}$$

Now we calculate the derivatives of the first and second order of $f(z)$ with respect to z :

$$\begin{aligned}f'(z) &= \frac{b}{(a+b)} \frac{2(1+2a-3a^2)z + (1-3a+2a^2)}{\sqrt{D_1}} + \\ &\quad + \frac{a}{(a+b)} \frac{2(1+2b-3b^2)z + (1-3b+2b^2)}{\sqrt{D_2}}, \quad (12)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}f''(z) &= \frac{8ab}{(a+b)} \left(\frac{(1-a)(3-2a^2)}{D_1^{\frac{3}{2}}} + \frac{(1-b)(3-2b^2)}{D_2^{\frac{3}{2}}} \right) + \\ &\quad + \frac{a}{(a+b)} \frac{2(1+2b-3b^2)z + (1-3b+2b^2)}{\sqrt{D_2}}. \quad (13)\end{aligned}$$

For all $a \in [0; \frac{1}{2}]$ and $b \in [0; \frac{1}{2}]$, it will be true

$$2(1+2a-3a^2)z + (1-3a+2a^2) > 0,$$

$$2(1+2b-3b^2)z + (1-3b+2b^2) > 0,$$

what implies that $f'(z) > 0$.

Also, $f''(z) \geq 0$ holds for all $a \in [0; 1]$ and $b \in [0; 1]$.

It can be seen from here that for arbitrary $a \in [0; \frac{1}{2}]$ and $b \in [0; \frac{1}{2}]$, the given function $f(z)$ is increasing and convex.

In addition, the following relations hold for the values of this function at the points 0 and 1:

$$f(0) = \frac{b\sqrt{1+4a-4a^2} + a\sqrt{1+4b-4b^2}}{2(a+b)} - \frac{1}{2}$$

The inequality $1+4a-4a^2 \geq 1$ holds for arbitrary $a \in [0; 1]$, similarly $1+4b-4b^2 \geq 1$ holds for arbitrary $b \in [0; 1]$, hence it follows that $f(0) > 0$.

When $a = b = \frac{1}{2}$, the function $f(x)$ reaches its maximum value, i.e., $f(0) \leq \frac{\sqrt{2}-1}{2}$. Hence it follows that $0 < f(0) \leq \frac{\sqrt{2}-1}{2}$. As above, $f(1) = \frac{b\sqrt{9-8a^2} + a\sqrt{9-8b^2}}{2(a+b)} - \frac{1}{2}$ follows from (6) and $0 < f(1) < 1$ will be true for arbitrary $a \in [0; 1]$, $b \in [0; 1]$.

It follows from the above that equation (10) has a unique solution.

Foydalanilgan adabiyotlar/ References

- [1]. N.Ganikhodjaev, R.Ganikhodjaev, U.Jamilov, Quadratic stochastic operators and zero- sum game dynamics, Ergod.Th. and Dynam.Sys.35(5)(2015)1443-1473.
- [2]. Ganixodjayev N.N., Rozikov U.A. On quadratic stochastic operators generated by Gibbs distributions.// Regular and Chaotic Dyn. V.11, N4, 2006 y, p 467-473.
- [3]. Khamraev A.Yu: On dynamics of a quazi-strongly non Volterra quadratic stohchastic operator.Ukr.Math.J(2018).
- [4]. A.J.M.Hardin, U.A.Rozikov A Quasi-strictly Non-voterra Quadratic Stochastic Operator. Qualitative Theory of Dynamical Systems(2019)18:1013-1029.
- [5]. R. N. Ganikhodjaev, Fixed Point Map and the Lyapunov Function for a Class of Discrete Dynamical Systems, Math. notes. 1994. 56 p. 1125-1131. 34.
- [6]. R. N. Ganikhodjaev, Quadratic Stochastic Operators, the Lyapunov Function and Tournaments, Math. Collection, 1992, 83, 8 pp. 119-140.
- [7]. Harary F. Graph Theory. M.: Mir, 1973.

Mualliflar haqida ma'lumot/ Information about the authors

Yusupov Farroh Alisher o'g'li	Tashkent state transport university, Uzbekistan E-mail: farrukhyusupovchambil@mail.ru https://orcid.org/0000-0003-1909-6420
Eshqobilov Alisher Abdullayevich	Tashkent state transport university, Uzbekistan E-mail: alisher.eshqobilov@yandex.com https://orcid.org/0000-0002-6628-2990

Coefficients of the weighting optimal quadrature formula in the Sobolev space

F.I. Davlatova¹, S.T. Tuychieva¹¹Tashkent State University of Transport, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: In this paper, an optimal quadrature with weight in the Sobolev space is constructed for . The optimal coefficients of the constructed weight quadrature formula were found in the form of an analytical formula using the Sobolev method.

Keywords: optimal quadrature formula, extremal function, optimal coefficients, the error of the quadrature formula, the error functional, oscillating function.

Коэффициенты весовой оптимальной квадратурной формулы в пространстве соболева

Давлатова Ф.¹, Туйчиева С.¹¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация: В данной работе строится оптимальная квадратура с весом в пространстве Соболева при . Оптимальные коэффициенты построенной весовой квадратурной формулы были найдены в виде аналитической формулы с использованием метода Соболева.

Ключевые слова: оптимальная квадратурная формула, экстремальная функция, оптимальные коэффициенты, погрешность квадратурной формулы, функционал погрешности, осциллирующая функция.

1. Введение

В настоящее время во всем мире приобретает все большее значение построение оптимальных квадратурных формул при приближенном вычислении сильно осциллирующих интегралов.

Одной из важнейших задач вычислительной математики является построение оптимальных квадратурных формул дифференцируемых функций в различных пространствах для приближенного вычисления сильно осциллирующих интегралов.

Построение оптимальных (в определенном смысле) методов приближенного вычисления интегралов сильно осциллирующих функций — интересная и важная область компьютерной технологии и математики, поскольку много важных задач, решаемых на практике (например, цифровая обработка сигналов, обработка изображений, радиолокация, медицинская электроника, компьютерная томография и т. д.) требуют вычисления таких интегралов. В нашей работе мы также рассматриваем построение оптимальных квадратурных формул для приближенного вычисления сильно осциллирующих интегралов.

2. Методы

Предположим, что производная первого порядка функций $\varphi(x)$ абсолютно непрерывна, интегрируется по квадрату производной второго порядка и является

комплекснозначными функциями с действительными аргументами.

Этот набор функций образует гильбертово пространство $L_2^{(2)}(0,1)$. Скалярное произведение двух функций φ и ψ в этом пространстве определяется равенством

$$\langle \varphi, \psi \rangle = \int_0^1 \varphi''(x) \overline{\psi''(x)} dx, \quad (1)$$

где $\overline{\psi}$ является сопряженной функцией к функции ψ и φ норма функции соответственно определяется формулой

$$\|\varphi\|_{L_2^{(2)}(0,1)}^2 = \langle \varphi, \varphi \rangle = \int_0^1 \varphi''(x) \overline{\varphi''(x)} dx. \quad (2)$$

В этом пространстве рассмотрим квадратурную формулу с производными следующего вида

$$\begin{aligned} \int_0^1 e^{2\pi i \omega x} \varphi(x) dx &\cong \\ &\cong \sum_{\beta=0}^N d_0[\beta] \varphi(h\beta) + \sum_{\beta=0}^N d_1[\beta] \varphi'(h\beta), \end{aligned} \quad (3)$$

где, $e^{2\pi i \omega x}$ - весовая функция, $[\beta] = (h\beta)$, $h = 1/N$, N - натуральное число, $i^2 = -1$, $\omega h \in \mathbb{Z}$, $\omega \neq 0$, $d_0[\beta]$, $d_1[\beta]$ — (3) коэффициенты квадратурной формулы, т.е. $d_0[\beta]$ коэффициенты в пространстве $L_2^{(1)}(0,1)$ точные для произвольного постоянного числа $\omega h \in \mathbb{Z}$, $\omega \neq 0$ вида

$$\int_0^1 e^{2\pi i \omega x} f(x) dx \cong \sum_{\beta=0}^N d_0[\beta] \varphi(h\beta)$$

оптимальные коэффициенты квадратурной формулы, то есть

$$\begin{aligned} d_0[0] &= -\frac{1}{2\pi i \omega}, \\ d_0[\beta] &= 0, \beta = \overline{1, N-1}, \\ d_0[N] &= \frac{1}{2\pi i \omega}. \end{aligned} \quad (4)$$

А коэффициенты $d_1[\beta]$ из (3) неизвестные коэффициенты квадратурной формулы.

Разница между суммами интеграла и квадратуры

$$\begin{aligned} (\ell, \varphi) &= \int_{-\infty}^{\infty} \ell(x) \varphi(x) dx = \int_0^1 e^{2\pi i \omega x} \varphi(x) dx - \\ &- \sum_{\beta=0}^N d_0[\beta] \varphi(h\beta) - \sum_{\beta=0}^N d_1[\beta] \varphi'(h\beta) \end{aligned} \quad (5)$$

называется погрешностью квадратурной формулы (3). Этой погрешности соответствует следующий функционал погрешности:

$$\begin{aligned} \ell(x) &= e^{2\pi i \omega x} \varepsilon_{[0,1]}(x) - \sum_{\beta=0}^N d_0[\beta] \delta(x - h\beta) + \\ &+ \sum_{\beta=0}^N d_1[\beta] \delta'(x - h\beta), \end{aligned} \quad (6)$$

где $\varepsilon_{[0,1]}(x)$ — характеристическая функция отрезка $[0,1]$, $\delta(x)$ — дельта-функция Дирака.

Функционал погрешности ℓ квадратурной формулы (3) является линейным функционалом, принадлежащим совместному пространству $L_2^{(2)*}(0,1)$. Так как, функционал погрешности ℓ определен в пространстве $L_2^{(2)}(0,1)$, должны быть выполнены следующие условия

$$(\ell, x^\alpha) = 0, \alpha = 0, 1.$$

Нам известно, что на основе неравенства Коши-Шварца (3) абсолютное значение погрешности квадратурной формулы φ оценивается сверху с помощью произведения норм функции и функционала погрешности ℓ

$$|(\ell, \varphi)| \leq \|\ell\|_{L_2^{(2)*}(0,1)} \cdot \|\varphi\|_{L_2^{(2)}(0,1)}.$$

Из неравенства Коши-Шварца видно, что абсолютное значение погрешности квадратурной формулы (3) для элемента φ принадлежащего пространству $L_2^{(2)}(0,1)$ оценивается нормой функционала погрешности ℓ в совместном пространстве $L_2^{(2)}(0,1)$.

Норма функционала погрешности ℓ зависит от коэффициентов $d_0[\beta]$, $d_1[\beta]$.

Задача нахождения минимума коэффициентов при фиксированных узлах нормы функционала погрешности ℓ называется *задачей Сарда*, а полученная формула — *оптимальной квадратурной формулой в смысле Сарда*.

Основной целью данной работы является решение задачи Сарда для квадратурных формул вида (3) в пространстве $L_2^{(2)}(0,1)$ методом С.Л. Соболева, т.е. нахождение коэффициентов $d_1[\beta]$ (если таковые имеются) при

$$\|\ell\|_{L_2^{(2)*}(0,1)} := \inf_{d_1[\beta]} \|\ell\|_{L_2^{(2)*}(0,1)}$$

для заданных коэффициентов $d_0[\beta]$.

Поэтому для построения оптимальных квадратурных формул вида (3) в смысле Сарда в пространстве $L_2^{(2)}(0,1)$ необходимо решить следующие задачи.

Задача 1. Найти вид нормы функционала погрешности ℓ квадратурной формулы вида (3) в пространстве $L_2^{(2)*}(0,1)$.

Задача 2. Найти коэффициенты $d_1[\beta]$, дающие минимальное значение найденной нормы.

Найденные коэффициенты $d_1[\beta]$ называются *оптимальными коэффициентами* квадратурной формулы (3) и обозначаются как $d_1[\beta]$, соответствующий коэффициенту $d_1[\beta]$ функционал погрешности ℓ называется *функционалом погрешности соответствующий оптимальной квадратурной формуле*, а квадратурная формула называется *оптимальной квадратурной формулой*.

3. Результаты и обсуждение

Этими задачами в различных пространствах занимались в работах [4-6].

Следует отметить, что впервые в работе [3] была построена квадратурная формула для приближенного вычисления быстро-осциллирующих интегралов.

Основная цель нашей работы заключается в получении результатов вида (3) в смысле Сарда для коэффициентов оптимальной квадратурной формулы.

Теорема. При $\omega h \in \mathbb{Z}$ и $\omega \neq 0$ коэффициенты оптимальной квадратурной формулы вида (3) в смысле Сарда пространства $L_2^{(2)}(0,1)$ имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} d_0[0] &= -\frac{1}{2\pi i \omega}, \\ d_0[\beta] &= 0, \beta = \overline{1, N-1}, \\ d_0[N] &= \frac{1}{2\pi i \omega}, \\ d_1[0] &= -\frac{1}{(2\pi \omega)^2}, \\ d_1[\beta] &= 0, \beta = \overline{1, N-1}, \\ d_1[N] &= \frac{1}{(2\pi \omega)^2}. \end{aligned}$$

4. Заключение

В данной работе для приближенного вычисления интегралов от сильно осциллирующих функций построена оптимальная квадратурная формула с производными в пространстве комплекснозначных функций интегрируемая с квадратом производной второго порядка.

То есть, с помощью экстремальной функции найден квадрат нормы функционала погрешности рассматриваемой квадратурной формулы. Минимизируя нормы этого функционала погрешности по коэффициентам была построена функция Лагранжа и получена система типа Винера-Хопфа. Путем решения

этой системы с помощью дискретного аналога дифференциального оператора было найдено аналитическое представление оптимальных коэффициентов.

Использованная литература / References

- [1] Соболев С.Л. Введение в теорию кубатурных формул. – М.: Наука, 1974. -808 с
- [2] Соболев С.Л., Васкевич В.Л. Кубатурные формулы. - Новосибирск: Изд-во ИМ СО РАН, 1996. - 484 с.
- [3] Filon L.N.G. On a quadrature formula for trigonometric integrals. Proc. Roy. Soc. Edinburgh, 1928, vol. 49, pp. 38-47.
- [4] Hayotov A.R., Jeon S., Lee C.-O., Shadimetov Kh.M. Optimal quadrature formulas for non-periodic functions in Sobolev space and its application to CT image reconstruction. Filomat, 2021, vol.35, no.12, pp. 4177-4195. <https://doi.org/10.2298/FIL2112177H>
- [5] Shadimetov Kh., Davlatova F. On an optimal formula for approximate integration. AIP Conf. Proc., 2024, 3004, 060023 <https://doi.org/10.1063/5.0199935>
- [6] Shadimetov Kh.M., Davlatova F. I. Mamatova N.H., Optimal Quadrature Formulas with Derivative for Calculating Integrals of Strongly Oscillating Functions. ISSN 1995-0802, Lobachevskii Journal of Mathematics, 2024, Vol. 45, No. 10, pp. 5254–5263. DOI: 10.1134/S1995080224602698

Информация об авторах/ Information about the author

Туйчиева Сайёра доцент (д.ф.ф.-м.н), Ташкентский
государственный транспортный
университет
E-mail: sayyora-tohirzoda@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2630-526X>

Давлатова Фатима Исраиловна Ассистент, Ташкентский
государственный транспортный
университет
E-mail:
fotimadavlatova733@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0000-6336-5443>

The problem of the removal of solid particles from the Earth's surface formed by the movement of a high-speed train

R.Sh. Isanov¹, P.R. Samsokov¹

¹Tashkent State University of Transport, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: The problem of the removal of solid particles from the Earth's surface by an airflow generated by the movement of a high-speed train is considered. The flow region is bounded by solid boundaries AB, DE along the main section, where the pressure is constant, and by a free surface. Using Bernoulli's integral and the Euler equation for air, it is shown that the velocity magnitude along the free surface can be determined. The solution is carried out using the Zhukovsky method. Subsequently, the velocity distribution in the flow region is obtained. By averaging the velocity across the boundary layer thickness, the average velocity of air particles acting on the solid particles is determined.

Keywords: solid particles, boundary layer, air flow, earth's surface, high-speed train.

Задача об уносе твердых частиц с земной поверхности образованном движением высокоскоростного поезда

Исанов Р.Ш.¹, Самсоков П.Р.¹

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация: Рассмотрена задача об уносе твердых частиц с земной поверхности потоком воздуха образованным движением высокоскоростного поезда. Область течения ограничена твердыми границами в основном отрезке, вдоль которой давление постоянное и свободной поверхностью. Из интеграла Бернулли, уравнение Эйлера для воздуха получим, что вдоль свободной поверхности модуль скорости. Решение осуществляем методом Жуковского. Далее получим распределения скоростей в области течения. проводя осреднения скорости в области по толщине пограничного слоя определим среднюю скорость движения частиц воздуха, которые действуют на твердые частицы.

Ключевые слова: твердые частицы, пограничный слой, поток воздуха, земная поверхность, высокоскоростной поезд.

1. Введение

Решим задачу об обтекании потоком воздуха твердых частиц с земной поверхности области AB, BD, CD, FB и FC.

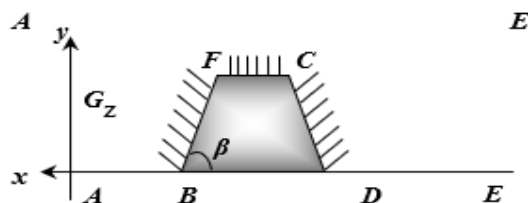


Рис. 1. Область течения ограничена твердыми границами AB, DE в основном отрезке G_z , вдоль которой давление постоянное и EA – свободной поверхностью

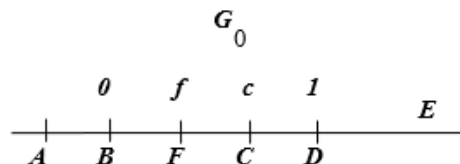
Из интеграла Бернулли, уравнение Эйлера для воздуха получим, что вдоль свободной поверхности модуль скорости V_0 (определяется в процессе решения) постоянно.

2. Метод

Введем верхнюю полуплоскость G_0 (рис. 2) границей которой является действительная ось. В области G_0 переменная $\zeta = \xi + i\eta$.

Действительная ось при $\eta = 0$ соответствует. На границе области течения G_z является переменным $z = x + iy$.

Вдоль $\eta = 0$, $-\infty < \xi < e$ заданной действительной части функции Жуковского $\omega(\zeta) = \frac{V_0}{V}$, а вдоль ABFCDE известна мнимая часть функции $\omega(\zeta)$.



Решение осуществляем методом Жуковского и комплексным потенциалом $\omega(\zeta)$ в области, изменения которой будет полоса шириной q , где q расход воздуха и $q = V_n H$, $\omega(\zeta) = \varphi(\xi, \eta) + i\psi(\xi, \eta)$ Введем функцию $\omega_1(\zeta)$ в виде:

$$\omega(\zeta) = \omega_1(\zeta)\sqrt{\zeta-1}, \text{ откуда } \omega_1(\zeta) = \frac{\omega(\zeta)}{\sqrt{\zeta-1}}.$$

Для функции $\omega_1(\zeta)$ имеем следующие граничные условия:

Вдоль AB и FC , $Im \omega(\zeta) = 0$;

Вдоль FB , $\eta = 0, 0 < \xi < f$, $Im \omega(\zeta) = \frac{\beta\pi}{\sqrt{1-\xi}}$;

Вдоль CD , $Im \omega(\zeta) = \frac{-\beta\pi}{\sqrt{1-\xi}}$.

Пользуясь интегральной формулой Шварца, получим выражение для определения искомой функций $\omega_1(\zeta)$ и $\omega(\zeta)$ пользуясь граничными условиями для функции $\omega_1(\zeta)$:

$$\omega_1(\zeta) = \frac{1}{\pi} \int_0^f \frac{\beta\pi d\xi}{\sqrt{1-\xi}(\xi-\zeta)} - \int_0^1 \frac{d\xi}{\sqrt{1-\xi}(\xi-\zeta)} \quad (1)$$

Вычислив интегралы в равенстве (1), получим, аналитическое выражение для неизвестных функции $\omega_1(\zeta)$, $\omega(\zeta)$ и скорости $\bar{V}$.

$$F(\zeta, c) = \left[\frac{\sqrt{\zeta-1}-\sqrt{1-c}}{\sqrt{\zeta-1}+\sqrt{1-c}} \right] \quad (2)$$

$$\omega(\zeta) = \omega_1(\zeta)\sqrt{\zeta-1} = \ln \left[\frac{F(\zeta, f)}{F(\zeta, c)} \right]^\beta = \ln \frac{V_0}{V} \quad (3)$$

$$\omega_1(\zeta) = \frac{1}{2\sqrt{\zeta-1}} \ln(F(\zeta, f)) + \ln(F(\zeta, c)),$$

здесь

$$F(\zeta, f) = \left[\frac{\sqrt{\zeta-1}+\sqrt{f-1}}{\sqrt{\zeta-1}-\sqrt{f-1}} \cdot \frac{\sqrt{\zeta-1}-1}{\sqrt{\zeta-1}+1} \right]^\beta \quad (4)$$

$$\omega_1(\zeta) = \frac{1}{2\sqrt{\zeta-1}} \ln F_{\zeta f}^\beta + \ln F_{\zeta c}^\beta = \ln \left[\frac{F(\zeta, f)}{F(\zeta, c)} \right]^\beta \quad (5)$$

$$F(\zeta) = \left[\frac{F(\zeta, f)}{F(\zeta, c)} \right]^\beta.$$

Областью комплексного потенциала будет полоса шириной

q – расход потока воздуха $q = V_0 H$, где H – высота.

$$\omega(\zeta) = \frac{V_0}{\bar{V}} \ln \left[\frac{F(\zeta, f)}{F(\zeta, c)} \right]^\beta, V_0 = \bar{V} F(\zeta), V_0 = V_n F(0, e)$$

при $\zeta = (0, e)$,

$$\bar{V} = V_0 \left[\frac{F(\zeta, c)}{F(\zeta, f)} \right]^\beta,$$

где $\bar{V}(\zeta)$ сопряженная комплексная скорость.

Так что имеем

$$V_0 = V_n \left[\frac{F(\zeta, c)}{F(\zeta, f)} \right]^\beta \rightarrow V_n,$$

отсюда на свободной поверхности получим, что скорость частиц воздуха равна

$$V_n \cdot V_0 = V_n, \frac{d\omega}{d\zeta} = \frac{q}{\pi e - \zeta}.$$

Для сопряженной комплексной скорости имеем:

$$\bar{V}(\zeta) = V_n \frac{F(0, e)}{F(\zeta)} \quad (6)$$

$$\bar{V}(\zeta) = u - iv;$$

Переменная $z = z(\zeta)$ определяется равенством

$$z(\zeta) = \frac{H}{\pi} \int_0^\zeta \frac{d\zeta}{F(\zeta)(e-\zeta)} \quad (7)$$

Равенства (6) и (7) дает зависимость скорости координаты $z_\zeta = \bar{V}(z(\zeta))$ от ζ .

Далее получим распределения скоростей в области течения G_z . Проводя осреднения скорости в области G_z по толщине пограничного слоя определим среднюю

скорость движения частиц воздуха, которые действуют на твердые частицы (рис.1). Для получения траекторию оторвавшихся твердой частицы, введем коэффициент формы (поверхность боковых площадей трапеции и шара радиуса) рассмотрим сальтационное движение твердых частиц. Поскольку на твердую частицу воздействует гидродинамическая сила, а сила тяжести тела постоянно, то движения твердой частицы будет сальтационным [1]. Средняя скорость определяется:

$$V_{cp} = \bar{V} \left(0, \frac{f+c}{2} \right) = V_0 \quad (8)$$

Давление потока воздуха определяется равенством $p = \rho V_0^2$. Отрыв частицы происходит под углом $\alpha\pi$ со скоростью V_0 с земной поверхности.

Использованная литература / References

- [1] Бютнер Э.К. Динамика приповерхностного слоя воздуха // Ленинград гидромет. издат. 1978г.
- [2] Исанов Р.Ш., «Задача об уносе твердых частиц с земной поверхности потоком воздуха при движении высокоскоростного поезда», ОмГУПС Россия, Омск 2012г. стр. 270–275.
- [3] Хамидов А.А., Исанов Р.Ш. «Задача об уносе твердых частиц потоком воздуха при движении высокоскоростного поезда и расчёты для разных форм частиц». Труды конференции «Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте» Ташкент, 5–6 декабря 2012г, стр. 13–18.
- [4] Файзыбаев Ш.С., Хамидов А.А., Исанов Р.Ш., Егамбердиев Б.Б. «Задача об уносе твердых частиц с земной поверхности образованной движением высокоскоростного поезда». Труды конференции «Безопасность движения поездов» МИИТ Москва 2012г., стр. 44
- [5] Хамидов А.А., Исанов Р.Ш., Егамбердиев Б.Б. «Расчет задачи об уносе твердых частиц движением высокоскоростного поезда», Вестник ТашИИТа 2012г. №3/4, стр. 32–35.

Информация об авторе / Information about the author

Исанов Ровшан Шадиевич доцент, Ташкентский государственный транспортный университет
E-mail: isanov_r@tstu.uz
<https://orcid.org/0000-0001-8490-9489>

Самсоков Парвиз Рустамбекович ассистент, Ташкентский государственный транспортный университет
E-mail: samsoqovparviz97@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0005-2936-2077>

Models of random processes with particle interaction

Zh. Azimov¹, A. Turaev¹

¹Tashkent State University of Transport, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: Many scientific and practical studies conducted on a global scale, in most cases, are reduced to the problems of studying branching random processes. The theory of branching random processes with particle interaction studies the laws of evolution of a population of particles, in which the reproduction of new particles occurs through the interaction of several particles already existing in the population. Branching processes with particle interaction are of great importance in scientific fields such as demography, medicine, chemistry, biology, as well as genetic coding and population management. In the paper, we investigate the asymptotic behavior of branching random processes with interaction of particles. A direct equation is obtained for the generating function of the process. Also, a limit theorem for the moment of the n -th order of branching random process with interaction of particles is obtained.

Keywords: Model, random process, Markov branching process, generating function, critical process, probability of degeneration, formula of complete probability, Leibniz formula, Kolmogorov equation.

Модели случайных процессов с взаимодействием частиц

Азимов Ж.¹, Тураев А.¹

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация. Многие научно-практические исследования, проводимые в мировом масштабе, в большинстве случаев сводятся к задачам изучения ветвящихся случайных процессов. Теория ветвящихся случайных процессов с взаимодействием частиц исследует законы эволюции популяции частиц, в котором, размножения новых частиц происходит взаимодействии нескольких уже существующих в популяции частиц. Ветвящиеся процессы с взаимодействием частиц имеют важное значение в научных областях, таких как демография, медицина, химия, биология, а также генетического кодирования и управления популяцией. В статье проведено исследование асимптотического поведения ветвящихся случайных процессов с взаимодействием частиц. Получено прямое уравнение Колмогорова для производящей функции процесса. Также получена предельная теорема для момента n -го порядка ветвящегося случайного процесса с взаимодействием частиц.

Ключевые слова: Модель, случайный процесс, Марковский ветвящийся процесс, ветвящегося процесса, производящая функция, критический процесс, вероятность вырождения, формула полной вероятности, формула Лейбница, уравнение Колмогорова.

1. Введение

Рассматривается модель ветвящихся случайных процессов с непрерывным временем и с взаимодействием частиц. Как известно, в обычных ветвящихся случайных процессах (в.с.п.) предполагается, что частицы размножаются независимо друг от друга. Однако, во многих реальных процессах рождение новых частиц происходит при взаимодействии нескольких уже существующих частиц. В этом случае используемый обычно аппарат производящих функций может применяться ограниченно и не дает значительных результатов. Ветвящиеся процессы с взаимодействием частиц в общей постановке были введены б.а.севастьяновым в [1] и изучались в работах [2]-[5]. В работе а.в.калинкина [4] дается общий обзор марковских ветвящихся процессов с взаимодействием, а в работе и.с.бадалбаева, а.в.дрячлова [5] рассматриваются процессы с парными взаимодействиями частиц и установлено

экспоненциальное убывание вероятности продолжения процесса.

Предмет исследования и постановка задачи

Рассмотрим ветвящийся процесс $\{\mu(t), t \geq 0\}$ с одним типом частиц и взаимодействием k частиц. Пусть $\mu(t)$ – число частиц в момент времени t ветвящегося процесса с взаимодействием, в котором размножение частиц происходит следующим образом. В момент времени t любые k частиц могут превратиться в $j \neq k$ частиц, и переходные вероятности процесса

$$P_{ij}(t) = P\{Z(t) = j | Z(0) = i\}$$

определяются формулами (при $t \rightarrow 0$, $k \geq 2$ – целое)

$$P_{ij}(t) = \delta_{ij} + ip_{j-i+k}t + o(t),$$

$$i \geq k, j \geq i - k$$

$$P_{ij}(t) = \delta_{ij}, 0 \leq i \leq k - 1,$$

$$P_{ij}(t) = o(t), j < i - k,$$

где

$$p_j \geq 0, j = 0, 1, \dots, k - 1, k + 1, \dots,$$

$$p_k < 0, \\ \sum_{j=0}^{\infty} p_j = 0,$$

δ_{ij} – символ Кронекера.

Процесс $\{\mu(t), t \geq 0\}$ имеет k поглощающих состояний $\{0, 1, \dots, k-1\}$. Подобная модель рассматривалась в работах [6] и [7], где были найдены вероятности вырождения процесса. В работе [8] рассмотрена модель процесса с взаимодействием и миграцией частиц.

2. Результаты и их обсуждения

Основными результатами настоящей работы являются предельная теорема для числовых характеристик и установление функционального соотношения для производящей функции ветвящихся процессов с взаимодействием частиц. При этом не ограничивая общности, можно предполагать, что процесс начинается с k частиц.

Введем производящие функции (п.ф.)

$$f(s) = \sum_{j=0}^{\infty} p_j s^j, F(t, s) = \sum_{j=0}^{\infty} P(\mu(t) = j) s^j,$$

Теорема 1. Производящая функция $F(t, s)$ удовлетворяет при $|s| \leq 1$ линейному дифференциальному уравнению в частных производных

$$\frac{\partial F(t, s)}{\partial t} = \frac{f(s)}{s^{k-1}} \left(\frac{\partial F(t, s)}{\partial s} - \sum_{i=1}^k i P(\mu(t) = i) s^{i-1} \right) \quad (1)$$

с начальным условием $F(0, s) = s^k$.

Теперь будем предполагать, что выполняются условия

$$f'(1) = 0, 0 < f''(1) = 2b < \infty, \quad (2)$$

условие, как и в обычном случае, определяющее критический процесс.

Обозначим

$$\bar{q} = \sum_{i=1}^{k-1} i q_i,$$

где q_i -вероятности вырождения процесса ($i = 0, 1, 2, \dots, k-1$).

Теорема 2. Пуст момент $m_n(t) = E\mu_t^n$ существует для некоторого $n \geq 1$. Если выполняется условие (2), то при $t \rightarrow \infty$

$$m_1(t) \rightarrow k,$$

$$m_n(t) \sim (k - \bar{q})n! (bt)^{n-1}, n \geq 2.$$

Доказательство основных результатов. Доказательство теоремы 1. По формуле полной вероятности,

$$F(t, s) = \sum_{i=0}^{\infty} P(\mu_{t-\tau} = i) \sum_{j=0}^{\infty} s^j P\left(\frac{\mu_t = j}{\mu_{t-\tau} = i}\right) = \\ = \sum_{i=0}^{k-1} P(\mu_{t-\tau} = i) s^i + \\ + \sum_{i=k}^{\infty} P(\mu_{t-\tau} = i) \sum_{j=i-k}^{\infty} s^j (\delta_{ij} + i p_{j-i+k} \tau + o(\tau)) = \\ = \sum_{i=0}^{\infty} P(\mu_{t-\tau} = i) s^i +$$

$$+ \sum_{i=k}^{\infty} P(\mu_{t-\tau} = i) \sum_{j=i-k}^{\infty} i s^{j-i+k} p_{j-i+k} \tau + o(\tau) = \\ = F(t - \tau, s) + \frac{\tau}{s^{k-1}} \sum_{i=k}^{\infty} i P(\mu_{t-\tau} = i) s^{i-1} f(s) + o(\tau),$$

при $\tau \rightarrow 0$ получаем утверждение теоремы.

Доказательство теоремы 2. Продифференцируем обе стороны уравнения (1) по $\frac{\partial^n}{\partial s^n}$ и воспользуемся формулой Лейбница:

$$\frac{\partial \sum_{i=0}^n C_n^i (s^{k-1})^{(i)} F^{(n-i)}(t, s)}{\partial t} = \\ = \sum_{i=2}^n C_n^i f_s^{(i)} \left[\frac{\partial^{(n-i+1)} F}{\partial s^{n-i+1}} - \sum_{j=1}^{k-1} j P(\mu_t = i) s^{max(j-i, 0)} \right].$$

Последовательно получаем при $s = 1$

$$\frac{\partial}{\partial t} (m_1(t) + k - 1) = 0$$

откуда

$$m_1(t) = const = m_1(0) = k.$$

Далее, аналогично

$$\frac{\partial}{\partial t} (m_2(t) + 2(k-1)m_1(t)) = \\ = 2b \left(m_1(t) - \sum_{i=1}^{k-1} i P(\mu_t = i) \right)$$

откуда при $t \rightarrow \infty$

$$m_2(t) \sim 2b(k - \bar{q})t.$$

Далее, по индукции, если доказано, что

$$m_{n-1}(t) \sim (k - \bar{q})(n-1)! (bt)^{n-2},$$

то

$$\frac{\partial (m_n(t) + n(k-1)m_{n-1}(t))}{\partial t} \sim C_n^2 f''(1) m_{n-1}(t)$$

откуда

$$m_n(t) \sim 2b \frac{n(n-1)}{2} (k - \bar{q})(n-1)! b^{n-2} \int_0^t \tau^{n-2} d\tau \sim \\ \sim (k - \bar{q})n! (bt)^{n-1}.$$

3. Заключение

Проведено исследование асимптотического поведения ветвящихся случайных процессов с взаимодействием частиц. Получено прямое уравнение Колмогорова для производящей функции процесса $\{\mu(t), t \geq 0\}$. Также получена предельная теорема для момента n -го порядка ветвящегося случайного процесса с взаимодействием частиц.

Использованная литература / References

- [1] Севастьянов Б.А. Ветвящиеся процессы с взаимодействием частиц. – В сб.: Третья Международная Вильнюсская конференция по теории вероятностей и матем. статистике. Тезисы докладов. Т.1. Вильнюс: Ин-т матем. и кибернет. АН ЛитССР. 1981, с.139-140.
- [2] Севастьянов Б.А., Калинин А.В. Ветвящиеся случайные процессы с взаимодействием частиц. – Докл. АН СССР, 1982, т.264, № 2, с.306-308.
- [3] Калинин А.В. Вероятность вырождения ветвящегося процесса с взаимодействием частиц. – Теор. вер. и ее примен., 1982, т. XXVII, в.1, с.192-197.

[4] Калинин А.В. Марковские ветвящиеся процессы с взаимодействием. УМН, 2002, т.57, в.2, с.23-84.

[5] Бадалбаев И.С., Дряхлов А.В. Об асимптотическом поведении вероятности продолжения ветвящегося процесса с парными взаимодействиями частиц. Теор. вер. и ее примен., 1996, т.41, в.4, с.721-737.

[6] Ежов И.И. Ветвящиеся процессы с групповой гибелью. Теор. вер. и ее примен. 1980, т.25, в.1. с.206.

[7] Решетняк В.Н. Об одном классе ветвящихся процессов с взаимодействием частиц. «Аналитические методы в теории надежности», Киев, 1985, с.106-114.

[8] Азимов Ж.Б. Асимптотическое поведение ветвящихся случайных процессов с взаимодействием и миграцией частиц. ДАН РУз., 2022, №3, с. 3-5.

Информация об авторе/ Information about the author

**Жахонгир Бахрамови
ч Азимов** доцент кафедры «Высшая математика»
Ташкентского государственного
транспортного университета. Кандидат
физико-математических наук.
E-mail: azimovjb@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-0859-3184>

**Тураев
Алимардон
и
Тохиорович** ассистент кафедры «Высшая
математика» Ташкентского
государственного транспортного
университета
E-mail:
alimardontoxirovich0413@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0002-0584-9738>

About some application of the Rademacher function

A.A. Eshkabilov¹, A.T. Turaev¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: The paper details the process of generalizing the classical Viyet formula expressed as infinite products of the number using Rademacher functions. This study presents the mathematical foundations of Rademacher functions and their application to the Viyet formula, which led to various forms of the number expressed as infinite products. These products have not been previously identified or have been insufficiently investigated in previous scientific works. The approaches proposed in the paper open the possibility of identifying new, previously unknown forms of infinite products.

Keywords: innovation, engineering education, quality of education, university competitiveness.

О некотором приложении функции Радемахера

Эшкабилов А.А.¹, Тураев А.Т.¹

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация: В статье подробно рассматривается процесс обобщения классической формулы Виет, выраженной в виде бесконечных произведений числа, с использованием функций Радемахера. В этом исследовании представлены математические основы функций Радемахера и их применение к формуле Виет, что привело к получению различных форм числа, выраженных в виде бесконечных произведений. Эти произведения ранее не были идентифицированы или недостаточно исследованы в предыдущих научных работах. Предложенные в статье подходы открывают возможность выявления новых, ранее неизвестных форм бесконечных произведений.

Ключевые слова: Функции Радемахера, обобщение формулы Виет, бесконечные произведения, число

1. Введение

В середине XVII века, в своей классической работе "Opera mathematica.... Luqđuni Dfifvorum Виет получил удивительную формулу, в последствии сделавшую его - юриста по профессии, знаменитым среди математиков, даже и сегодняшний день.

В работе [1], Виет рассматривает квадрат, вписанный в единичный круг, площадь которого, равна:

$$S_1 = 2$$

Затем, Виет увеличивает число сторон квадрата и получает правильный восьмисторонник, вписанный в единичный круг.

Его площадь равна:

$$S_2 = 2\sqrt{2}$$

В третьем шагу он образует вписанный в единичный круг правильный шестнадцати сторонник, площадь которого равна:

$$S_3 = 2^2\sqrt{2 - \sqrt{2}}$$

Такой процесс он продолжает до бесконечности и рассматривает следующее конечное произведение:

$$\frac{S_1}{S_{n+1}} = \frac{S_1}{S_2} \cdot \frac{S_2}{S_3} \cdot \frac{S_3}{S_4} \cdot \dots \cdot \frac{S_n}{S_{n+1}},$$

которое после освобождения от иррациональностей в знаменателях, равно:

$$\frac{S_1}{S_{n+1}} = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{\sqrt{2 + \sqrt{2}}}{2} \cdot \frac{\sqrt{2 + \sqrt{2 + \sqrt{2}}}}{2} \dots$$

Переходя в этом равенстве к пределу при $n \rightarrow \infty$ и учитывая, что $\lim_{n \rightarrow \infty} S_{n+1} = \pi$, он получает впервые, сделавшее его знаменитым, выражение иррационального числа π через бесконечное произведение:

$$\frac{2}{\pi} = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{\sqrt{2 + \sqrt{2}}}{2} \cdot \frac{\sqrt{2 + \sqrt{2 + \sqrt{2}}}}{2} \dots$$

В этой работе мы, пользуясь системами функций Радемахера, получим эту и ещё несколько представлений иррационального числа $\frac{2}{\pi}$ в виде бесконечного произведения. Итак, рассмотрим двоичное, троичное, ..., p -ичное разложение числа $t, 0 \leq t \leq 1$:

$$t = \frac{\varepsilon_1(t)}{2} + \frac{\varepsilon_2(t)}{2^2} + \dots + \frac{\varepsilon_n(t)}{2^n} + \dots$$

(двоичное разложение числа t)

$$t = \frac{\sigma_1(t)}{3} + \frac{\sigma_2(t)}{3^2} + \dots + \frac{\sigma_n(t)}{3^n} + \dots$$

(троичное разложение числа t)

$$t = \frac{\tau_1(t)}{p} + \frac{\tau_2(t)}{p^2} + \dots + \frac{\tau_n(t)}{p^n} + \dots$$

(p -ичное разложение числа t)

Чтобы обеспечить единственность разложения, мы условимся из двух разложений p -ично рациональных точек ($p = 2, 3, \dots$) выбрать то, в котором начиная с некоторой, все функции суть $\tau_k(t) = 0$. Например, в случае $p = 2$ из двух

$$\frac{5}{8} = \frac{1}{2} + \frac{0}{2^2} + \frac{1}{2^3} + \frac{0}{2^4} + \frac{0}{2^5} + \dots$$

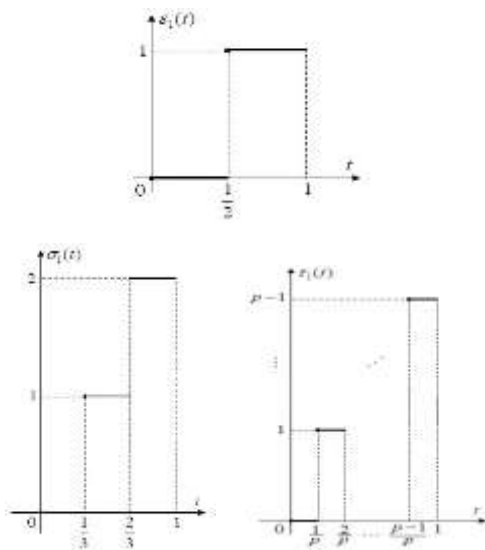
и

$$\frac{5}{8} = \frac{1}{2} + \frac{0}{2^2} + \frac{0}{2^3} + \frac{1}{2^4} + \frac{1}{2^5} + \frac{1}{2^6} + \dots$$

разложений двоично рационального числа $\frac{5}{8}$ выбираем первое, в случае $p = 3$ из двух $\frac{5}{9} = \frac{1}{3} + \frac{2}{3^2} + \frac{0}{3^3} + \frac{0}{3^4} + \dots$ и $\frac{5}{9} = \frac{1}{3} + \frac{1}{3^2} + \frac{2}{3^3} + \frac{2}{3^4} + \dots$ разложения троично рационального числа $\frac{5}{9}$ также выбираем первое и д.т. Таким образом, мы считаем, что такое соглашение сделано со всеми разложениями p -ично ($p = 2, 3, \dots$) рациональных чисел. Этим мы обеспечим единственность разложений (1) – (3).

Разложений (1) – (3) определяют последовательности конечнозначных функций $\varepsilon_k(t), \sigma_k(t), \tau_k(t)$: $\sigma_k(t) = \{0; 1; 2\}$, $\varepsilon_k(t) = \{0; 1\}$, $\tau_k(t) = \{0; 1; 2; \dots; p-1\}$, $k = 1, 2, 3, \dots$

При $k = 1$ графики функций $\varepsilon_1(t)$, $\sigma_1(t), \tau_1(t)$ соответственно, имеют вид:



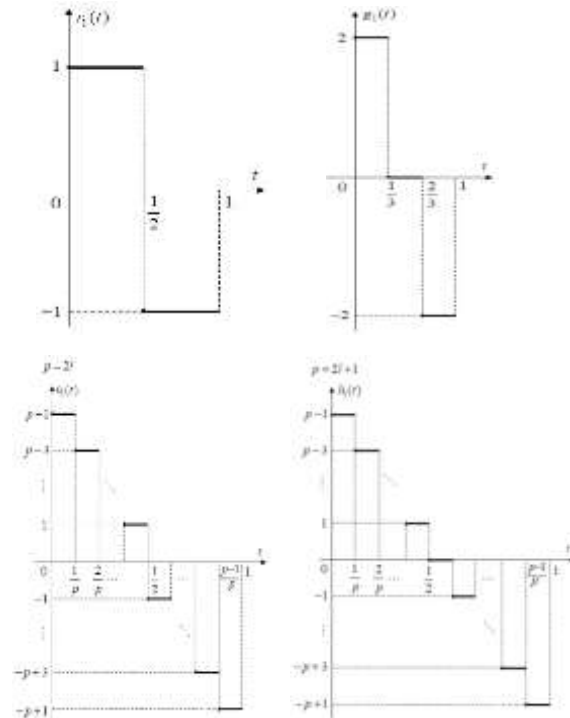
Вместо функций $\varepsilon_k(t), \sigma_k(t), \tau_k(t)$ введем более симметричные, по сравнению с ними, следующие функции, соответственно

$$r_k(t) = 1 - \varepsilon_k(t), k = 1, 2, 3, \dots \quad (4)$$

$$g_k(t) = 2(1 - \sigma_k(t)), k = 1, 2, 3, \dots \quad (5)$$

$$h_k(t) = p - 1 - 2\tau_k(t), k = 1, 2, 3, \dots \quad (6)$$

графики этих функций при $k = 1$, соответственно, имеют вид:



Функции $r_k(t) = 1 - \varepsilon_k(t)$, $k = 1, 2, 3, \dots$ введенные впервые Радемахером, называют функциями Радемахера. Функции

$$g_k(t) = 2(1 - \sigma_k(t)), k = 1, 2, 3, \dots$$

и

$$h_k(t) = p - 1 - 2\tau_k(t), k = 1, 2, 3, \dots$$

мы также назовем функциями Радемахера. Известно, что система функций Радемахера является не полная ортогональная $h_k(t) = p - 1 - 2\tau_k(t)$, $k = 1, 2, 3, \dots$ точнее, имеет, место предложение.

Предложение 1. Системы функций $g_k(t) = 2(1 - \sigma_k(t))$ и $h_k(t) = p - 1 - 2\tau_k(t)$, $k = 1, 2, 3, \dots$ образуют неполную ортогональную систему независимых функций.

Доказательство. Доказательства предложений проведем для функций $g_k(t) = 2(1 - \sigma_k(t))$. А для функций $h_k(t) = p - 1 - 2\tau_k(t)$ доказательство получается аналогично.

Из свойства функций $g_k(t) = 2(1 - \sigma_k(t))$, $k = 1, 2, 3, \dots$ легко следует их

$$\text{ортогональность } \int_0^1 g_m(t)g_n(t)dt = \begin{cases} 0, & \text{если } m \neq n \\ \frac{8}{3}, & \text{если } m = n \end{cases}$$

а из того, что $\int_0^1 g_m(t)dt = 0$, при любом $m = 1, 2, 3, \dots$ следует их независимость:

$$\int_0^1 g_m(t)g_n(t)dt = \int_0^1 g_m(t)dt \int_0^1 g_n(t)dt, m \neq n.$$

Неполнота системы очевидна.

Пользуясь теперь свойствами функций Радемахера легко можно доказать следующее предложение.

Предложение 2. Число $1 - 2t$ имеет следующие представления:

$$1 - 2t = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{r_k(t)}{2^k} \quad (7)$$

$$1 - 2t = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{g_k(t)}{3^k} \quad (8)$$

$$1 - 2t = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{h_k(t)}{p^k} \quad (9)$$

Элементарное интегральное вычисление дает:

$$\int_0^1 e^{ix(1-2t)} dt = \frac{\sin x}{x} \quad (10)$$

Предложение 3. Имеют место следующие представления:

$$\frac{\sin x}{x} = \prod_{n=1}^{\infty} \cos \frac{x}{2^n}$$

$$\frac{\sin x}{x} = \prod_{n=1}^{\infty} \frac{1 + 2 \cos \frac{2x}{3^n}}{3}$$

$$\frac{\sin x}{x} = \prod_{n=1}^{\infty} \frac{2 \left(\cos \frac{x}{p^n} + \cos \frac{3x}{p^n} + \dots + \cos \frac{(p-1)x}{p^n} \right)}{p}, p$$

$$= 2l$$

$$\frac{\sin x}{x} = \prod_{n=1}^{\infty} \frac{1 + 2 \left(\cos \frac{2x}{p^n} + \cos \frac{4x}{p^n} + \dots + \cos \frac{(p-1)x}{p^n} \right)}{p}, p$$

$$= 2l + 1$$

Доказательство. В силу теоремы сложения, из курса элементарной тригонометрии, получим:

$$\begin{aligned} \sin x &= \sin \left(\frac{x}{2} + \frac{x}{2} \right) = 2 \sin \frac{x}{2} \cos \frac{x}{2} = \\ &= 2^2 \sin \frac{x}{2^2} \cos \frac{x}{2^2} \cos \frac{x}{2} = \dots \\ &= 2^n \sin \frac{x}{2^n} \cos \frac{x}{2^n} \cos \frac{x}{2^{n-1}} \dots \cos \frac{x}{2} = \\ &= 2^n \sin \frac{x}{2^n} \prod_{k=1}^n \cos \frac{x}{2^k}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sin x &= \sin \left(\frac{x}{3} + \frac{x}{3} + \frac{x}{3} \right) = \sin \left(\frac{x}{3} + \frac{2x}{3} \right) = \\ &= 3 \sin \frac{x}{3} \cdot \frac{1 + 2 \cos \frac{2x}{3}}{3} = \end{aligned}$$

$$= 3^2 \sin \frac{x}{3^2} \cdot \frac{1 + 2 \cos \frac{2x}{3}}{3} \cdot \frac{1 + 2 \cos \frac{2x}{3^2}}{3} = \dots$$

$$\dots = 3^n \sin \frac{x}{3^n} \cdot \prod_{k=1}^n \frac{1 + 2 \cos \frac{2x}{3^k}}{3};$$

аналогично,

$$\begin{aligned} \sin x &= \\ &= p^n \sin \frac{x}{p^n} \\ &\cdot \prod_{k=1}^{\infty} \frac{2 \left(\cos \frac{x}{p^k} + \cos \frac{3x}{p^k} + \dots + \cos \frac{(p-1)x}{p^k} \right)}{p}, \end{aligned}$$

$$p = 2l,$$

$$\sin x =$$

$$= p^n \sin \frac{x}{p^n} \cdot \prod_{k=1}^{\infty} \frac{1 + 2 \left(\cos \frac{2x}{p^k} + \cos \frac{4x}{p^k} + \dots + \cos \frac{(p-1)x}{p^k} \right)}{p},$$

$$p = 2l + 1$$

Отсюда, поделив обе части на x и переходя к пределу при $n \rightarrow \infty$, получим доказательство предложений.

Для любого $k = 1, 2, 3, \dots$ обозначим через $R_k^{\pm}, G_k^p$ и $H_k^{p,l}$ множества:

$$R_k^{\pm} = \{t \in [0,1]: r_k(t) = \pm 1\},$$

$$G_k^p = \{t \in [0,1]: g_k(t) = p\}, \quad p = 0, \pm 2;$$

$$H_k^{p,l} = \{t \in [0,1]: h_k(t) = p - 1 - 2l\}, \quad l = 0, 1, 2, 3, \dots, p-1;$$

Очевидно, что мера μ множеств $R_k^{\pm}, G_k^p$ и $H_k^{p,l}$ равны: $\mu(R_k^{\pm}) = \frac{1}{2}$, $\mu(G_k^p) = \frac{1}{3}$, для любого натурального k и любого $p = 0, \pm 2$; и $\mu(H_k^{p,l}) = \frac{1}{p}$, для любого натурального k и любого $l = 0, 1, 2, 3, \dots, p-1$;

Далее, пользуясь свойствами функций $r_k(t) = 1 - \varepsilon_k(t)$, $g_k(t) = 2(1 - \sigma_k(t))$ и $h_k(t) = p - 1 - 2\tau_k(t)$, легко получаем следующие равенства:

$$\begin{aligned} \int_0^1 e^{ix \frac{r_k(t)}{2^k}} dt &= \left(\int_{R_k^+} + \int_{R_k^-} \right) e^{ix \frac{r_k(t)}{2^k}} dt = \\ &= e^{i \frac{x}{2^k}} \frac{1}{2} + e^{-i \frac{x}{2^k}} \frac{1}{2} = \frac{e^{i \frac{x}{2^k}} + e^{-i \frac{x}{2^k}}}{2} = \cos \frac{x}{2^k} \\ \int_0^1 e^{ix \frac{g_k(t)}{3^k}} dt &= \left(\int_{G_k^{+2}} + \int_{G_k^0} + \int_{G_k^{-2}} \right) e^{ix \frac{g_k(t)}{3^k}} dt = \\ &= \frac{1}{3} \left(e^{i \frac{2x}{3^k}} + 1 + e^{-i \frac{2x}{3^k}} \right) = \frac{1 + 2 \cos \frac{2x}{3^k}}{3} \quad (11) \end{aligned}$$

при чётном $p = 2l$,

$$\begin{aligned} \int_0^1 e^{ix \frac{h_k(t)}{p^k}} dt &= \left(\sum_{l=0}^{p-1} \int_{H_k^{p,l}} \right) e^{ix \frac{h_k(t)}{p^k}} dt = \\ &= \frac{2 \left(\cos \frac{x}{p^k} + \cos \frac{3x}{p^k} + \dots + \cos \frac{(p-1)x}{p^k} \right)}{p}; \end{aligned}$$

а при нечётном $p = 2l$,

$$\begin{aligned} \int_0^1 e^{ix \frac{h_k(t)}{p^k}} dt &= \left(\sum_{l=0}^{p-1} \int_{H_k^{p,l}} \right) e^{ix \frac{h_k(t)}{p^k}} dt = \\ &= \frac{1 + 2 \left(\cos \frac{2x}{p^k} + \cos \frac{4x}{p^k} + \dots + \cos \frac{(p-1)x}{p^k} \right)}{p} \end{aligned}$$

теперь мы в состоянии доказать следующую теорему.

Теорема. Имеют место следующие равенства:

$$\int_0^1 \prod_{k=1}^{\infty} e^{ix \frac{r_k(t)}{2^k}} dt = \prod_{k=1}^{\infty} \int_0^1 e^{ix \frac{r_k(t)}{2^k}} dt$$

$$\int_0^1 \prod_{k=1}^{\infty} e^{ix \frac{g_k(t)}{3^k}} dt = \prod_{k=1}^{\infty} \int_0^1 e^{ix \frac{g_k(t)}{3^k}} dt$$

$$\int_0^1 \prod_{k=1}^{\infty} e^{ix \frac{h_k(t)}{p^k}} dt = \prod_{k=1}^{\infty} \int_0^1 e^{ix \frac{h_k(t)}{p^k}} dt$$

Доказательство. Доказательства теоремы проведем для функций $g_k(t) = 2(1 - \sigma_k(t))$. А для функций $r_k(t) = 1 - \varepsilon_k(t)$, и $h_k(t) = p - 1 - 2\tau_k(t)$ доказательство теоремы получается аналогично. Легко получить следующие равенства: с одной стороны, в силу (10) и (11), имеем

$$\begin{aligned} \int_0^1 e^{ix(1-2t)} dt &= \frac{\sin x}{x} = \prod_{k=1}^{\infty} \frac{1 + 2 \cos \frac{2x}{3^k}}{3} \\ &= \prod_{k=1}^{\infty} \int_0^1 e^{ix \frac{r_k(t)}{2^k}} dt, \end{aligned}$$

с другой стороны,

$$\int_0^1 e^{ix(1-2t)} dt = \int_0^1 e^{ix \sum_{k=1}^{\infty} \frac{g_k(t)}{3^k}} dt = \int_0^1 \prod_{k=1}^{\infty} e^{ix \frac{g_k(t)}{3^k}} dt.$$

Отсюда получаем равенство:

$$\int_0^1 \prod_{k=1}^{\infty} e^{ix \frac{g_k(t)}{3^k}} dt = \prod_{k=1}^{\infty} \int_0^1 e^{ix \frac{g_k(t)}{3^k}} dt$$

Аналогично доказываются остальные равенства.

Полагая в равенствах (6) - (9) $x = \frac{\pi}{2}$, получим различные представления числа $\frac{2}{\pi}$ в виде бесконечных произведений. Здесь особый интерес представляет случай $p = 4$. В этом случае имеем:

$$\frac{2}{\pi} = \frac{1}{2} \left(\frac{\sqrt{2 + \sqrt{2}}}{2} + \frac{\sqrt{2 - \sqrt{2}}}{2} \right).$$

$$\cdot \frac{1}{2} \left(\frac{\sqrt{2 + \sqrt{2 + \sqrt{2 + \sqrt{2}}}}}{2} + \frac{\sqrt{2 + \sqrt{2 + \sqrt{2 - \sqrt{2}}}}}{2} \right) \dots$$

2. Заключение

В этом исследовании были получены различные формы числа $\frac{2}{\pi}$, выраженные в виде бесконечных произведений, с использованием математических основ функций Радемахера и их применения к формуле Виет. Эти произведения ранее не были идентифицированы или недостаточно исследованы в предыдущих научных работах. Представленные подходы открывают

возможность выявления новых, ранее неизвестных форм бесконечных произведений. Эти разработки могут послужить важной основой для внедрения новых методов в математические исследования и улучшения аналитических и вычислительных подходов. Изучение функций Радемахера может быть применено не только в классической математике, но и в современных научных областях, таких как цифровые вычисления и математическое моделирование. Новые результаты обеспечивают научное сообщество более глубоким пониманием выражения чисел, таких как $\frac{2}{\pi}$, в различных формах произведений и открывают потенциал для создания новых теорий и решений на основе этих выражений. Эти подходы были обсуждены с точки зрения их значения для будущих исследований и того, как их можно использовать. Такие инновации в математике вносят значительный вклад в развитие научной области и могут привести научную мысль и подходы к инновационным направлениям.

Использованная литература / References

- [1] Виете Ф.: Opera mathematica Luqduini Dftfvorum, 1646, p. 123-158c.
- [2] А.Н.Колмогоров: Основные понятия теории вероятностей, "Наука М. 1974г.
- [3] А.Н.Колмогоров: Математика, её содержание, методы и значение, Т.2, М.1956, 252-284с.
- [4] М.Кац: Статистическая независимость в теории вероятностей, анализе и теории чисел, ИИЛ, М. 1963г.

Информация об авторах/ Information about the authors

Эшкабилов Алишер Абдуллаевич доцент кафедры «Высшая математика» Ташкентского государственного транспортного университета.
E-MAIL: alisher.eshqobilov@yandex.com
<https://orcid.org/0000-0002-2233-7662>

Тураев Алимардон Тохирович ассистент кафедры «Высшая математика» Ташкентского государственного транспортного университета.
E-MAIL: alimardontoxirovich0413@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-0584-9738>

On the geometry of nodal sets of eigenfunctions of fractional powers of the laplace operator

D. Ibrohimova¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This work studies the geometric properties of eigenfunctions of fractional powers of the self-adjoint Laplace operator. The structure of nodal domains bounded by nodal surfaces, on which the eigenfunction vanishes, is investigated. The behavior of these nodal domains is analyzed depending on the eigenvalue. The paper derives estimates showing that the width of the nodal domain decreases as the eigenvalue increases. From these estimates, it follows that the width of the nodal domain tends to zero as the eigenvalue increases.

Keywords: Laplace operator, eigenfunctions, spectral decomposition, nodal sets of eigenfunctions

О геометрии узловых множеств собственных функций дробных степеней оператора лапласа

Ибрагимова Д.¹

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация: В работе изучаются геометрические свойства собственных функций дробных степеней самосопряженного оператора Лапласа. Исследуется структура узловых областей, ограниченных узловыми поверхностями, т. е. поверхностями, на которых собственная функция обращается в нуль. В работе получена оценка ширины узловой области в зависимости от собственного значения. Из этой оценки следует, что с увеличением собственного значения ширина узловой области стремится к нулю.

Ключевые слова: Оператора Лапласа, собственные функции, спектральные разложение, узловые множества собственных функций.

1. Введение

Изучение геометрии узлов собственных функций эллиптических дифференциальных операторов является одной из актуальных проблем. Особенность узлов собственных функций оператора Лапласа впервые обнаружил немецкий математик изучал Э. Ф.Хладни. Он насыпал частицы песка на колеблющуюся металлическую пластину и систематически изучал их положение. Л. Рэлея в своем классическом труде «Теория звука» показал, что узлы собственных функции изменяются в зависимости от формы областей. [1]. В данной работе исследуются геометрические свойства собственных функции оператора Лапласа.

2. Метод

В данной работе применен метод Ильина В. А и Алимова Ш.А. Основной метод базируется формулы среднего значения для собственных функций.

Рассмотрим в $\Omega \subset R^n$ области произвольно-положительные, определенные, самосопряженное расширение оператора A Лапласа $-\Delta$. Спектральное разложение оператора A имеет вид

$$A = \int_0^\infty \lambda dE_\lambda.$$

Согласно теореме Л.Гординга [3], оператор разложения единицы E_λ является интегральным:

$$E_\lambda f(x) = \int_\Omega \theta(x, y, \lambda) f(y) dy.$$

Ядро $\theta(x, y, \lambda)$ данного оператора, которое называется спектральной функцией оператора A , может быть продифференцировано по некоторой спектральной мере $\rho(\lambda)$, т.е. представимо в виде

$$\theta(x, y, \lambda) = \int_0^\lambda \eta(x, y, t) d\rho(t).$$

Плотность спектральной функции $\eta(x, y, \lambda)$ разлагается в билинейный ряд

$$\eta(x, y, \lambda) = \sum_{k=1}^{m_\lambda} w_k(x, \lambda) w_k(y, \lambda),$$

с некоторой кратностью $m_\lambda \leq +\infty$. Каждая обобщенная собственная функция $w_k(x, \lambda)$ удовлетворяет уравнению

$$Aw_k(x, \lambda) = \lambda w_k(x, \lambda).$$

С физической точки зрения собственная функция, принадлежащая $L_2(\Omega)$, описывает связанное состояние

системы, а соответствующее собственное значение является энергией данного связанного состояния. Если же обобщённая собственная функция не принадлежит $L_2(\Omega)$, то она соответствует резонансу [1].

Формула среднего значения для собственных функций оператора Лапласа. Пусть функция $\vartheta(x, \lambda)$ является произвольным решением уравнения Лапласа

$$\Delta \vartheta(x, \lambda) + \lambda \vartheta(x, \lambda) = 0. \quad (1)$$

Тогда имеет место следующая формула среднего значения

$$\begin{aligned} \int_{\theta} \vartheta(x + r\theta, \lambda) dx = \\ = (2\pi)^{n/2} \vartheta(x, \lambda) (r\sqrt{\lambda})^{1-n/2} J_{n/2-1}(r\sqrt{\lambda}) \end{aligned} \quad (2)$$

где $J_\nu(z)$ функция Бесселя порядка ν , интеграл, стоящий в правой части равенства (2) от функции $\vartheta(x, \lambda)$ по единичной сфере. Формула (2) называется формулой среднего значения функции $\vartheta(x, \lambda)$ в точке x . Эта формула доказана в книге [2]

Узловые множества собственных функций оператора Лапласа

Определение. Множество $N_\lambda = \{x \in \Omega: \vartheta(x, \lambda) = 0\}$ называется узловым множеством функции $\vartheta(x, \lambda)$. Фиксируем число λ и рассмотрим произвольную собственную функцию отвечающую собственной функции $\vartheta(x, \lambda)$. Пусть N_λ соответствующее узловое множество. Тогда узловое множество N_λ разбивает область Ω на несколько частей. Мы обозначим через m_λ число этих частей. В каждой этой части функция $\vartheta(x, \lambda)$ сохраняет свой знак. Ясно, что с увеличением значения λ , значения m_λ тоже увеличивается. **Теорема** (Куранта [4]). *n -я собственная функция может иметь не более n узловых областей.* Формула (2) позволяет определить распределение узловых множеств N_λ по областям Ω . Пусть $x \in \Omega_\lambda = \Omega \setminus N_\lambda$. Тогда существуют окрестности точки x такие, что $B(x, r) \subset \Omega_\lambda$. Для доказательства этого утверждения воспользуемся формулой Вебера (2). Пусть в точке функция $\vartheta(x, \lambda) > 0$. Пусть ρ_n - наименьший положительный корень уравнения

$$J_{n/2-1}(\rho) = 0,$$

где $J_\nu(z)$ - функция Бесселя ν - порядка.

Выберем число $r_0 > 0$ так, чтобы $r_0\sqrt{\lambda} < \rho$. Так что функция $J_{n/2-1}(r\sqrt{\lambda}) > 0$ при любом значении $0 < r < r_0$. В таком случае из (2) следует, что при любом

$$\int_{\theta} \vartheta(x + r\theta, \lambda) dx > 0.$$

Тогда

$$\int_{|y-x|<r} \vartheta(y, \lambda) dy = \int_0^r \tau^{N-1} \left(\int_{\theta} \vartheta(x + \tau\theta, \lambda) d\theta \right) d\tau.$$

Из непрерывности функции $\vartheta(x, \lambda)$ при малых значениях $r > 0$ существует хотя бы одна точка y , $y \in B(x, r)$ в которой $\vartheta(y, \lambda) > 0$.

Для любого $\alpha > 0$ определим оператор

$$A^\alpha = \int_0^\infty \lambda^\alpha dE_\lambda.$$

Так как

$$A^\alpha w_k(x, \lambda) = \lambda^\alpha w_k(x, \lambda), \quad (3)$$

То обобщённые собственные функции

$$u_k(x, \lambda) = w_k(x, \lambda^{1/\alpha}).$$

При этом выполняется равенство

$$A^\alpha u_k(x, \lambda) = \lambda u_k(x, \lambda). \quad (4)$$

В настоящей главе изучаются геометрические свойства узловых областей собственных функций оператора A^α .

Основным результатом данной работы является следующая теорема.

Теорема. *Узловые области собственной функции $u(x, \lambda)$ оператора A^α не могут содержать шар радиуса $R > \rho_n \lambda^{-\frac{1}{2\alpha}}$.*

Доказательство. Предположим, что найдется шар $B(x, R)$, где $R > \rho_n \lambda^{-\frac{1}{2\alpha}}$, лежащий целиком внутри некоторой узловой области собственной функции $u_k(x, \lambda)$, в которой эта функция положительна.

Тогда шар $B(x, r)$ где $r = \rho_n \lambda^{-\frac{1}{2\alpha}}$, лежит строго внутри данной узловой области.

По формуле Вебера

$$\begin{aligned} \int_{\theta} u_k(x + r\theta, \lambda) d\theta = \\ u_k(x, \lambda) (2\pi)^{n/2} (r\lambda^{1/(2\alpha)}) J_{n/2-1}(r\lambda^{1/(2\alpha)}). \end{aligned} \quad (5)$$

Из выбора r следует, что правая часть равна нулю. Но это противоречит тому, что интеграл в левой части положителен.

Замечание. И теоремы 1 следует, что с увеличением спектрального параметра узловые области приобретают вид узких полос, ширина которых, независимо от их числа, стремится к нулю.

3. Вывод

Изучение геометрии узлов собственных функций имеет большое применение при решении задач математической физики. Это позволяет проводить глубокий анализ явлений распространения волн и диффузии.

Благодарность. Автор благодарен академику Ш. А. Алимову за руководство работой.

Использованная литература / References

- [1] Якобсон Д., Надирашвили Н. С., Тот Д., Геометрические свойства собственных функций, УМН, 2001, Т 56, № 6 (342), 67–88
- [2] Ильин В. А. Спектральная теория дифференциальных операторов. М., 1990.

[3] Гординг Л. Разложения по собственным функциям, связанные с эллиптическими дифференциальными операторами // 12 Congr. Math. Scan. Lund.-1953.-pp.44-45. («Математика», сб. переводов. 1957. №1(3). С.107-116).

[4] Courant R, Hilbert D., Methods of Mathematical Physics. V. I. New York: Interscience Publ., 1953.

Информация об авторах/ Information about the authors

**Ибрагимова
Дильбар** Ассистент, Ташкентский
государственный транспортный
университет
E-mail: dilbaralikulova1997@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0008-6590-9035>



Leibniz algebras generated using the image of Euclidean algebras

A.A. Alimov¹, E.T. Aliev¹

¹Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: In this work we have considered about Lie and Leibniz algebras and their representations, particularly we have learned the Euclidean algebra. For a given the Euclidean algebra and the right $\mathfrak{g}$ -module, we can construct a Leibniz algebra. In this paper we have learned Leibniz algebras constructed by Euclidean Lie algebra and some of its modules. We used its modules that arise from matrix realization of.

Keywords: Lie algebras, Leibniz algebras, representation, modul, ideal, matrix.

Yevklid algebrasining tasviri yordamida hosil qilinuvchi Leybnits algebralari

Alimov A.A.¹, Aliyev E.T.¹

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Bu ishda biz Li va Leybnits algebralari va ularning tasvirlarini ko'rib chiqdik, xususan, Yevklid algebrasini o'rgandik. Berilgan Yevklid algebrasi va o'ng $\mathfrak{g}$ -modul uchun biz Leybnits algebrasini qurishimiz mumkin. Ushbu maqolada biz Yevklid Li algebrasi tomonidan tuzilgan Leybnits algebralari va ularning bir modulini o'rgandik. Biz ning matritsali ifodasidan hosil bo'lgan modullardan foydalandik.

Kalit so'zlar: Li algebralari, Leibniz algebralari, tasvir, modul, ideal, matritsa.

1. Kirish

Li algebralarning umumlashmasi hisoblangan Leybnits algebralari hozirgi kunda Respublikamiz matematiklari va horijiy olimlar tomonidan jadal sur'atda o'rganilmoqda. Leybnits algebralarni tasniflashda ularni sinflarga ajratib o'rganish muhim o'rin tutadi. Ma'lumki, ixtiyoriy Li bo'lmagan Leybnits algebrasi notrivial idealga ega bo'lib, bu ideal bo'yicha faktor algebra Li algebrasi bo'ladi. Berilgan Li algebralari va ularning tasvirlari orqali Leybnits algebralarni hosil qilish mumkin. Hozirgi kunda Li algebralarning tasvirlari muhim nazariy va amaliy ahamiyatga egadir. $e(4)$ Yevklid algebrasi ham Li algebrasi bo'lib, uning tasvirlari yordamida Leybnits algebralarni hosil qilish mumkin. Ana shunday tasvirlarni topish va ular orqali hosil qilingan Leybnits algebralarni tasniflash muhim ahamiyatga ega.

J.Q. Adashev va B.A. Omirovlarining ishlarida Yevklid Li algebralarning tasvirlari yordamida hosil qilinuvchi Leybnits algebralari o'rganilgan.

1-ta'rif. F maydon ustidagi L vektor fazo, $L \times L \rightarrow L$, $(x, y) \mapsto [x, y]$ kabi belgilanib, kommutator deb nomlanuvchi amalga nisbatan quyidagi aksiomalarni qanoatlantirsa, u holda uni F maydon ustidagi Li algebrasi deyiladi:

(L1) Kommutator amali bichiziqli.

(L2) $[x, x] = 0, \forall x \in L$.

(L3) $[x, [y, z]] + [y, [z, x]] + [z, [x, y]] = 0$ ($x, y, z \in L$).

(L3) aksioma Yakobi ayniyati deyiladi. Ta'kidlaymizki, (L1) va (L2) dan $[x + y, x + y]$ ni hisobga olib, antikommutativlikni olamiz: (L2') $[x, y] = -[y, x]$. (Teskari, agar $\text{char} F \neq 2$ bo'lsa, (L2) dan (L2') ni kelib chiqishi ravshan.)

2-ta'rif. K maydon bo'lsin. $(L, [-, -])$ algebra K maydon ustidagi Leybnits algebrasi deyiladi, agar ixtiyoriy $x, y, z \in L$ uchun quyidagi Leybnits ayniyati bajarilsa:

$$[x, [y, z]] = [[x, y], z] - [[x, z], y].$$

Ravshanki, ixtiyoriy Li algebrasi Leybnits algebrasidir.

L Leybnits algebrasi uchun, $\varphi: L \rightarrow L/I$ tabiiy gomomorfizmni qaraylik. Bu yerda $\bar{L} = L/I$ Li algebrasi bo'lib, uni L Leybnits algebrasiga mos qo'yilgan Li algebrasi deyiladi. $I \times \bar{L} \rightarrow L$, $(i, \bar{x}) \rightarrow [i, x]$ akslantirish o'ng $\bar{L}$ -modul bo'ladi.

$Q(L) = \bar{L} \oplus I$ bo'lsin, u holda $(-, -)$ amal $Q(L)$ da Leybnits algebrasini aniqlaydi, bunda

$$\begin{aligned} (\bar{x}, \bar{y}) &= [\bar{x}, \bar{y}], & (\bar{x}, i) &= 0, & (i, \bar{x}) &= [i, x], \\ (i, j) &= 0, & x, y &\in L, i, j \in I. \end{aligned}$$

Shunday qilib, berilgan G Li algebrasi va o'ng G -modul M uchun, yuqoridagidek Leybnits algebrasini qurishimiz mumkin. [4].

$e(4)$ Yevklid algebrasi $\{E_{i,j}, H_k | i < j\}$ bazisga ega bo'lib, uning ko'paytirish jadvali quyidagicha:

$$\begin{aligned} [E_{i,j}, E_{j,k}] &= E_{i,k}, & [E_{i,j}, H_j] &= H_i, \\ [E_{i,j}, H_i] &= -H_j, \end{aligned}$$

Bu yerda $E_{i,j} = -E_{j,i}$. [4]

$e(4)$ Yevklid algebrasini matritsaviy formada quyidagicha yozishimiz mumkin:

$$\begin{pmatrix} & & & & x_1 \\ & & & & x_2 \\ & & & & x_3 \\ & & & & x_4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

bunda A kososimmetrik matritsa. Bazis elementlari quyidagilarga teng:

$$E_{i,j} = e_{i,j} - e_{j,i}, \quad 1 \leq i \neq j \leq 4,$$

$$H_k = e_{k,5}, 1 \leq k \leq 4,$$

bunda $e_{i,j}$ matritsalar i -satr va j -ustunning kesishishida bir bo'lib, qolgan elementlari nol bo'lgan matritsa.

$\frac{L}{I}$ faktor Li algebrasi and va uning tabiiy gomomorfizmidagiga proobrazini farqlash uchun biz faktor algebraning ustiga chiziqcha qo'yib belgilaymiz.

Endi biz $\frac{L}{I \cong \bar{e}(4)}$ shartni qanoatlantiruvchi L Leybnits algebralarini tasvirlaymiz (bu yerda $\bar{e}(4)$ algebra $e(4)$ algebrani anglatadi) va I ideal 5-o'lchamli o'ng $\bar{e}(4)$ -modul bo'lsin, va uning bazisi $\{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5\}$ ga teng bo'lsin. Modulni quyidacha aniqlaymiz:

$$[X_i, \bar{E}_{i,j}] = X_j, \quad 1 \leq i, j \leq 4,$$

$$[X_i, \bar{H}_i] = X_5, \quad 1 \leq i \leq 4. \quad (1)$$

Ta'kidlash joizki, $\bar{e}(4) \cong so_3$, bunda so_3 sodda ortogonal Li algebrasi bo'lib, uning bazisi $\bar{E}_{i,j}, i < j$.

Shunday qilib biz $L \cong so_3 + I$ algebraga ega bo'lamiz, uning bazisi 15-o'lchamli bo'lib, quyidagiga teng: $\{E_{i,j}, i < j, H_k, X_1, X_2, X_3, X_4, X_5\}$, bunda $E_{i,j}, H_k$ elementlar mos faktor algebra $\frac{L}{I}$ ning proobrazlari. Levi teoremasiga asosan so_3 ni L ning qism algebrasi deb hisoblashimiz mumkin ya'ni, $[E_{i,j}, E_{j,k}] = E_{i,k}$.

Teorema. $\frac{L}{I \cong \bar{e}(4)}$ bo'ladigan Leybnits algebrasi bo'lsin va I ideal (1) kabi aniqlangan o'ng $\bar{e}(4)$ -modul bo'lsin. U holda $[e(4), e(4)] = e(4)$.

Isbot. Biz quyidagilarni tuzamiz:

$$[E_{i,j}, H_i] = -H_j + \sum_{t=1}^5 A_{i,j,t}^t X_t,$$

$$[H_i, E_{i,j}] = H_j + \sum_{t=1}^5 B_{i,j,t}^t X_t,$$

$$[E_{i,j}, H_j] = H_i + \sum_{t=1}^5 A_{i,j,t}^t X_t,$$

$$[H_j, E_{i,j}] = -H_i + \sum_{t=1}^5 B_{j,i,t}^t X_t,$$

$$[E_{i,j}, H_k] = \sum_{t=1}^5 A_{i,j,k}^t X_t, k \notin \{i, j\},$$

$$[H_k, E_{i,j}] = \sum_{t=1}^5 B_{k,i,j}^t X_t, k \notin \{i, j\},$$

$$[H_i, H_j] = \sum_{t=1}^5 C_{i,j}^t X_t.$$

Quyidagi almashtirishlarni olamiz:

$$H'_1 = H_1 + \sum_{t=1}^5 A_{1,2,2}^t X_t,$$

$$H'_j = H_j - \sum_{t=1}^5 A_{1,j,1}^t X_t, 2 \leq j \leq 4,$$

Biz

$$[E_{1,2}, H_2] = H_1, \quad [E_{1,j}, H_1] = -H_j, 2 \leq j \leq 4,$$

deb hisoblashimiz mumkin.

$2 \leq i \neq j \leq 4$ uchun Leybnits algebrasini tekshiramiz: $[E_{j,i}, [E_{1,i}, H_1]] = [[E_{j,i}, E_{1,i}], H_1] - [[E_{j,i}, H_1], E_{1,i}] =$

$$= -H_j - A_{j,i,1}^1 X_i + A_{j,i,1}^i X_1.$$

Ikkinchi tomondan quyidagiga ega bo'lamiz:

$$[E_{j,i}, [E_{1,i}, H_1]] = -[E_{j,i}, H_i] = [E_{i,j}, H_i].$$

Natijada,

$$[E_{i,j}, H_i] = -H_j + A_{j,i,1}^i X_1 - A_{j,i,1}^1 X_i, \quad 2 \leq i \neq j \leq 4. \quad (2)$$

Shunga o'xshash, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$[E_{k,l}, H_i] = -A_{k,l,1}^i X_1 + A_{k,l,1}^1 X_i, \quad 2 \leq i, k, l \leq 4, i \notin \{k, l\}. \quad (3)$$

(2) ga ko'ra va $A_{i,j,1}^1 = -A_{j,i,1}^1$ tengliklarni quyidagi uchliklar uchun tekshirilgan Leybnits ayniyatlariga qo'yamiz

$$\{E_{i,j}, H_i, E_{i,j}\}, \quad 2 \leq i \neq j \leq 4,$$

$$\{E_{i,j}, H_i, E_{k,l}\}, \quad 1 \leq i \neq j \leq 4,$$

$$2 \leq k \neq l \leq 4, \quad \{i, j\} \cap \{k, l\} = \{0\},$$

biz bundan quyidagiga ega bo'lamiz

$$\begin{cases} [H_j, E_{i,j}] = -H_i + A_{i,j,1}^j X_1, \\ 2 \leq i \neq j \leq 4, \\ [H_j, E_{k,l}] = 0, \\ 1 \leq j \leq 4, 2 \leq k \neq l \leq 4, j \notin \{k, l\}. \end{cases} \quad (4)$$

(2)-(3) lardan foydalanib $\{E_{i,j}, H_k, E_{k,l}\}$ uchliklar uchun Leybnits ayniyatidan foydalanib quyidagini hosil qilamiz:

$$A_{i,j,1}^1 = 0, \quad 2 \leq i \neq j \leq 4 \Rightarrow$$

$$[E_{k,l}, H_i] = -A_{k,l,1}^i X_1, \quad 2 \leq i, k, l \leq 4, i \notin \{k, l\}.$$

Xuddi shu kabi, (3)-(4) dan va $\{E_{1,2}, E_{i,2}, H_i\}, \{E_{i,j}, E_{1,2}, H_2\}, 3 \leq i, j \leq 4$ uchliklar uchun Leybnits ayniyatida quyidagini olamiz:

$$[E_{i,1}, H_i] = -H_1 + A_{1,2,i}^1 X_2 - A_{1,2,i}^2 X_i,$$

$$[E_{i,j}, H_1] = A_{i,j,1}^2 X_2, \quad 3 \leq i, j \leq 4.$$

Demak

$$0 = [E_{i,j}, [H_1, H_2]] =$$

$$[[E_{i,j}, H_1], H_2] - [[E_{i,j}, H_2], H_1] = 2A_{i,j,1}^2 X_2$$

bundan

$$A_{i,j,1}^k = 0, \quad 1 \leq k \leq 4,$$

$$3 \leq i, j \leq 4 \Rightarrow [E_{i,j}, H_1] = 0.$$

Shunday qilib, quyidagini olamiz:

$$[E_{i,j}, H_i] = -H_j, \quad 3 \leq i \neq j \leq 4,$$

$$[H_j, E_{i,j}] = -H_i, \quad 3 \leq i \neq j \leq 4,$$

$$[H_j, E_{k,l}] = 0, 1 \leq j \leq 4,$$

$$2 \leq k \neq l \leq 4, j \notin \{k, l\}.$$

$3 \leq i, j, k \leq 4$ uchun Leybnits ayniyatini tekshiramiz:

$$\begin{aligned} [E_{i,1}, [E_{j,k}, H_j]] &= \\ &= [[E_{i,1}, E_{j,k}], H_j] - [[E_{i,1}, H_j], E_{j,k}] \\ &= A_{i,1,j}^j X_k - A_{i,1,j}^k X_j. \end{aligned}$$

Ikkinchi tomondan, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$[E_{i,1}, [E_{j,k}, H_j]] = -[E_{i,1}, H_k].$$

Shunday qilib, quyidagini xulosa qilamiz:

(5) ning o'ng tomonida erkin parametr j mavjud va (5) ning chap tomonida yo'q bo'lganligi uchun $[E_{i,1}, H_k] = 0$ bo'lishi kelib chiqadi.

Quyidagi uchliklar uchun Leybnits ayniyatini qo'llanib, quyidagilarga ega bo'lamiz:

$$\{E_{j,i}, H_j, E_{1,k}\}, \quad 3 \leq i, j, k \leq 4$$

$$\Rightarrow [H_j, E_{1,i}] = 0, \quad 3 \leq i, j \leq 4,$$

$$\{E_{2,j}, H_2, E_{2,j}\}, \quad 3 \leq j \leq 4$$

$$\Rightarrow [H_j, E_{2,j}] = -H_2, \quad 3 \leq j \leq 4,$$

$$\{E_{i,1}, H_i, E_{i,j}\}, \quad 3 \leq i \neq j \leq 4$$

$$\Rightarrow A_{1,2,i}^2 = 0, \quad 3 \leq i \leq 4,$$

$$\{E_{2,j}, H_2, E_{1,k}\}, \quad 3 \leq j, k \leq 4$$

$$\Rightarrow A_{j,2,1}^2 = 0, \quad 3 \leq j \leq 4,$$

$$\{E_{i,j}, E_{j,2}, H_1\}, \quad 3 \leq i \neq j \leq 4$$

$$\Rightarrow [E_{i,2}, H_1] = 0, \quad 3 \leq i \leq 4,$$

$$\{E_{i,j}, E_{j,1}, H_2\}, \quad 3 \leq i \neq j \leq 4$$

$$\Rightarrow [E_{i,1}, H_2] = 0, \quad 3 \leq i \leq 4,$$

$$\{E_{i,1}, E_{1,2}, H_1\}, \quad 3 \leq i \leq 4$$

$$\Rightarrow [H_i, E_{1,2}] = 0, \quad 3 \leq i \leq 4,$$

$$\{E_{i,1}, H_i, E_{2,j}\}, \quad 3 \leq i \neq j \leq 4$$

$$\Rightarrow [H_1, E_{2,j}] = A_{1,2,j}^i X_j, \quad 3 \leq i \neq j \leq 4.$$

Quyidagini qaraylik

$$\{E_{1,2}, H_i, E_{i,j}\}, \quad 3 \leq i \neq j \leq 4 \Rightarrow$$

$$[E_{1,2}, H_j] = A_{1,2,i}^i X_j - A_{1,2,i}^j X_i, \quad 3 \leq i \neq j \leq 4. \quad (6)$$

(6) dan foydalanib

$$\{E_{1,2}, H_j, E_{i,j}\}, \quad \{E_{1,3}, E_{3,2}, H_i\}, \quad 3 \leq i, j \leq 4,$$

uchliklar uchun quyidagiga ega bo'lamiz:

$$A_{1,2,i}^i = A_{1,2,i}^j = 0, \quad 3 \leq i, j \leq 4.$$

Quyidagi uchliklar uchun Leybnits ayniyatini qo'llaymiz

$$\{E_{i,2}, H_j, E_{2,j}\}, \quad \{E_{i,1}, H_i, E_{1,j}\},$$

$$\{E_{k,i}, H_k, E_{i,2}\}, \quad \{E_{k,i}, H_k, E_{i,1}\}$$

va bundan $[H_i, E_{i,j}] = H_j, \quad 1 \leq i \neq j \leq 4.$

Endi qolgan ko'paytmalarning nolligini ko'rsatamiz, ya'ni $[H_i, H_j] = 0.$

Leybnits ayniyatidan quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\{E_{i,k}, H_i, H_j\}, \quad 1 \leq i \neq j \leq 4$$

$$\Rightarrow [H_i, H_j] = 0, \quad 1 \leq i \neq j \leq 4,$$

$$\{H_i, E_{i,j}, H_j\}, \quad 1 \leq i \neq j \leq 4$$

$$\Rightarrow [H_1, H_1] = [H_i, H_i], \quad 1 \leq i \leq 4,$$

$$\{E_{1,i}, H_1, H_i\}, \quad 1 \leq i \leq 4$$

$$\Rightarrow [H_1, H_1] = -[H_i, H_i], \quad 1 \leq i \leq 4.$$

Shunday qilib, biz $[H_i, H_j] = 0, \quad 1 \leq i, j \leq 4,$ bo'lishini hosil qilamiz, bu esa teoremaning isbotini tugallaydi.

Foydalanilgan adabiyotlar/ References

- [1] Andrew Douglas, Hubert de Guise, *Some nonunitary, indecomposable representation of the Euclidean algebra e(3)*, J. Phys A: Theor. 43(2010).
- [2] Humphreys J.E., *Introduction to Lie Algebras and Representation Theory*. New York: Springer 1972.
- [3] Barnes D.W. *On Levi's theorem for Leibniz algebras*. Bull. Australian Math. Soc., 2012, 86(2), p. 184–185.
- [4] Adashev J.Q., Omirov B.A., Uguz S., *Leibniz algebras associated with representations of Euclidean Lie algebra*. Algebras and Representation Theory, 2020, 23(2), p. 285-301.

Mualliflar to'g'risida ma'lumot / Information about authors

A.A. Alimov Toshkent davlat transport universiteti, "Oliy matematika" kafedrası
E-mail: alimovakrom63@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3070-2674>

E.T. Aliyev Toshkent davlat transport universiteti, "Oliy matematika" kafedrası
E-mail: aliyev-erkinjon@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0004-7897-3985>

Analysis of annual changes in freight turnover of road transport using time series model

J. Azimov¹, N. Namozov¹

¹Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This article presents a statistical analysis of the volume of freight turnover in automobile transport for the period 2010–2023. The analysis was performed using Minitab 17 software, with linear and quadratic trend models constructed and their accuracies compared. Additionally, the autocorrelation of model residuals was examined, and a forecast of freight turnover volume for 2024–2026 was made. The results indicate an increasing annual growth trend in freight volume. These results are of great importance for the development of transport infrastructure, the improvement of logistics systems, and the identification of investment directions. During the analysis, the time dynamics of the variables were thoroughly studied, and statistically grounded conclusions were drawn. The findings enabled the formulation of practical recommendations that can be applied in economic forecasting.

Keywords: Trend, linear trend model, autocorrelation function, error, mean squared error.

Avtomobil transportining yuk aylanmasi hajmining yillik o'zgarishini vaqt qatori modeli orqali tahlil qilish

Azimov J.B.¹, Namozov N.A.¹

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Ushbu maqola 2010-2023 yillar davomida avtomobil transportida amalga oshirilgan yuk aylanmasi hajmi statistik tahlil qilindi. Tahlil Minitab 17 dasturida bajarilib, chiziqli va kvadratik trend modellari qurildi, ularning aniqligi solishtirildi. Shuningdek, model qoldiqlarida avtokorrelyatsiya darajasi o'rganilib, kelajakdagi 2024–2026 yillar uchun yuk aylanmasi hajmi bashorat qilindi. Tahlil natijalari yuk hajmining yillik o'sish tendensiyasining oshib borayotganini ko'rsatdi. Ushbu natijalar transport infratuzilmasini rivojlantirish, logistika tizimlarini takomillashtirish va investitsiya yo'nalishlarini aniqlashda muhim ahamiyatga ega. Tahlil davomida o'zgaruvchilarning vaqt bo'yicha dinamikasi chuqur o'rganilib, statistik jihatdan xulosa chiqarildi. Natijalar iqtisodiy prognozlashda qo'llanilishi mumkin bo'lgan amaliy tavsiyalarni shakllantirish imkonini berdi.

Kalit so'zlar: Trend, chiziqli trend modeli, avtokorrelyatsiya funksiyasi, xatolik, o'rtacha kvadratik xatolik.

1. Kirish

Avtomobil transporti har qanday iqtisodiyotda yetakchi tarmoqlardan biri hisoblanadi. Ayniqsa, yuk tashish hajmining o'zgarishini kuzatish orqali iqtisodiy faollik darajasini baholash mumkin. Ushbu tadqiqotda 2010-2023 yillar oralig'ida O'zbekistonda avtomobil transporti orqali yuk tashish hajmi tahlil qilindi. Maqsad bu ko'rsatkichning yillik o'zgarishini trend modellari yordamida tahlil qilish va bashorat qilish imkoniyatlarini aniqlashdir.

2. Uslubiy yondashuv

Ushbu munosabat bilan O'zbekiston Respublikasi Davlat Statistika Qo'mitasi rasmiy veb-saytidan ma'lumotlar oilindi. Tahlil jarayonida 2010–2023 yillardagi yuk aylanmasi hajmining o'zgarishi MINITAB 17 dasturida

trend modellari asosida o'rganildi va kelajak uchun bashorat berildi. Dastlab asosiy statistik ko'rsatkichlar hisoblab chiqildi. So'ngra avtokorrelyatsiya funksiyasi tahlil qilinib, korrelogramma tuzildi. Keyinchalik chiziqli va kvadratik trend modellari qurilib, ular asosida baholash va bashoratlar amalga oshirildi.

3. Natijalar va muhokama

Avtomobil transportining yuk aylanmasi hajmining yillik o'zgarishi

Yuk aylanmasini hajmi	Yillar kesimida
9076,3	2010
9851,9	2011
10540,8	2012
11220,2	2013
11895,3	2014

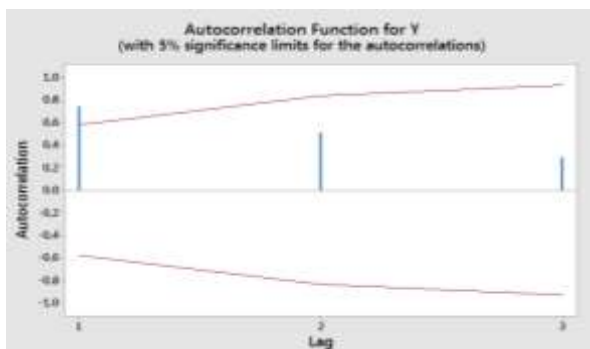
12752,6	2015
13297,8	2016
13607,7	2017
14640,8	2018
15879,3	2019
16233,4	2020
19062,3	2021
20509,8	2022
22290,7	2023

Minitab 17 dasturi yordamida olingan asosiy statistikalar quyidagicha:

Descriptive Statistics: Y

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
Y	14	0	14347	1079	4036	9076	11050	13453	16941	22291

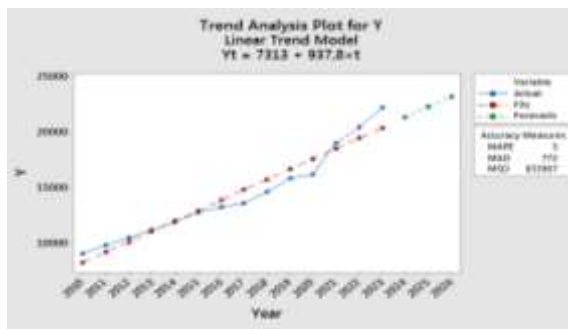
Asosiy statistiklardan ko'rib turganimizdek, berilgan muddat davomida Avtomobil transportining yuk aylanmasi hajmining yillik o'zgarishi o'zining maksimum nuqtasiga 2023-yilda erishgan bo'lib, 22291 birlik hajmini tashkil etgan. Undan keyingi muddatda bu nuqtaga erishilmagan. Eng minimum nuqtasi esa 2010-yilda to'g'ri keladi. Shu o'rinda medianasi 13453 hajmga teng bo'ldi. O'rtacha kvadratik chetlanish 4036 tashkil qildi. Berilgan qiymatlarning trend chizig'i atrofida qanchalik sochilganligi esa 1079 ni ko'rsatadi. Tahlil uchun 2010-2023 yillik yuk aylanmasini statistik ko'rsatkichlari olindi. Ushbumalumotlar orqali ikki xil trend modeli asosida o'rganildi. Dastlab avtokorrelyatsiya funksiyasi va uning grafigi, ya'ni korrelogrammani ko'rib chiqamiz.



Avtokorrelyatsiya grafigidan quyidagicha xulosalarni qilishimiz mumkin: Qoidani esga oladigan bo'lsak, trend mavjud bo'lishi uchun qator nostatsionar bo'lishi kerak. Qator nostatsionar bo'lishi uchun esa korrelogrammadagi dastlabki bir nechta laglar korrelyatsiyasi chegaraviy chiziqdan tashqarida yotishi kerak. Korrelogrammadagi bitta lag chegaradan tashqaridaligi uchun, bizning modelimizda trend mavjud ekan va o'z-o'zidan qator nostatsionardir. Shuningdek, avtokorrelyatsiya koeffitsienti tobora kamayib borayotganligi va bir xil qiymatni qayta qabul qilmayotganligi uchun mavsumiylik va siklik yo'q ekan degan xulosaga ham kelamiz.

Endi chiziqli trend modeliga to'xtalamiz.

Trend Analysis for Y (chiziqli)



Chiziqli modelimizda o'zgaruvchilar orasidagi bir tekis to'g'ridan to'g'ri bogliqlikni aks etirdi. Bu model yildan yilga yuk aylanmasi barqaror tarzda oshib boradi degan farazga asoslanadi.

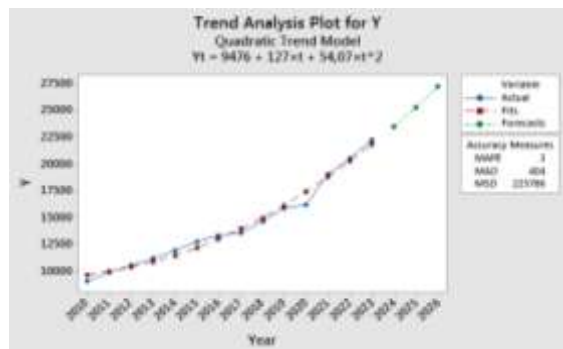
Uning tenglamasi: $Y_t = 7313 + 937,8t$

Bu model har yili o'rtacha 937.8 birlik o'sishni ifodalaydi. Model aniqligi quyidagi ko'rsatkichlar orqali baholandi:

Ko'rsatkich	Qiymat
MAPE	5%
MAD	772
MSD	833967

Endi kvadratik trend modelini qaraymiz.

Trend Analysis for Y (Kvadratik)



Kvadratik trend modelining tenglamasi:

$Y_t = 9476 + 127t + 54,07t^2$

Ko'rsatkich	Qiymat
MAPE	3%
MAD	404
MSD	225786

Yuk aylanmasining o'sish sur'ati yildan-yilga tezlashib borayotganini hisobga olib, kvadratik trend modeli ham tuzildi. Kvadratik model chiziqli modelga qaraganda ancha yuqori aniqlik berdi. Kvadratik model o'sish tezligini yaxshi aks ettiradi va bashorat uchun maqsadga muvofiq model hisoblanadi.



2025–2026 yillarga bashorat natijalari

Kvadratik model asosida 2025 va 2026-yillar uchun bashorat qiymatlari quyidagicha hisoblab chiqildi:

Yil	Bashorat qiymati
2025	25346.6
2026	27257.7

4. Xulosa

Tahlil natijalari 2010–2023 yillar oralig'ida avtomobil transportida yuk aylanmasi hajmi barqaror va izchil o'sib borganini ko'rsatdi. Kvadratik trend modeli bu o'sishni aniqroq modellashtiradi va kelajak uchun ishonchli bashoratlar beradi. Model qoldiqlarida aniqlangan avtokorrelyatsiya esa vaqt qatori analizlarining yanada chuqurroq qo'llanilishi zarurligini ko'rsatadi.

**Foydalanilgan adabiyotlar/
References**

- [1] O'zbekiston Respublikasi Davlat Statistikka Qo'mitasi rasmiy veb-sayti www.stat.uz
- [2] Hansen B.E. Econometrics. USA: University of Wisconsin. 2017
- [3] Эконометрика: Учебное пособие /И.И. Елисеева, С.В. Курышева, Д.М. Гордиенко и др. - М.: Финансы и статистика, 2005.
- [4] Ekonometrika darslik. G.Shadmanova, B.Raxmankulova, X.Karimova
- [5] Azimov J.B., Sharipova L.D. Ekonometrika asoslari fanidan amaliy mashg'ulotlar. O'quv qo'llanma. 2021. – 114 bet.

**Mualliflar haqida ma'lumot/
Information about the authors**

Jaxongir Baxramovich Azimov	Toshkent davlat transport universiteti “Oliy matematika” kafedrasida dotsenti, fizika-matematika fanlari nomzodi, dotsent. e-mail: azimovjb@gmail.com https://orcid.org/0000-0002-0859-3184
Namozov Nodirbek Abdumajit o'g'li	Toshkent davlat transport universiteti, Iqtisodiyot kafedrasida, 2-bosqich talabasi e-mail: nomazovnodirbek3@gmail.com

Analysis of the dynamics of the viral infection spread model

D.B. Eshmamatova¹, D.A. Khakimova¹, S.Y. Zavgorodneva¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This paper analyzes the dynamics of a mathematical model based on a proposed three-dimensional quadratic stochastic operator developed to simulate the spread of viral infections. The model employs Lotka–Volterra-type operators defined on a simplex, and the behavior of the resulting dynamical systems under various signatures is thoroughly investigated. The model variables represent the proportions of population groups—susceptible, infected, recovered, and hidden carriers—while the coefficients denote the interaction parameters among these groups. Within the study, the Jacobian matrix is constructed to identify stationary points and classify their stability properties as attractors, repellers, or neutral points. Additionally, the basic reproduction number is calculated analytically to determine the conditions under which the infection may spread. Using this model, the stages of infectious disease progression, the role of hidden carriers in transmission, and the probability of reinfection are analyzed from a mathematical perspective. The results provide valuable insights into real-world epidemiological dynamics and can support the development of effective disease control strategies.

Keywords: Simplex, the Lotka–Volterra operator, signature, attractor, repeller, saddle, Jacobian, population, epidemiology, dynamic system, infection and spread of disease, carriers.

Анализ динамики модели распространения вирусных инфекций.

Эшмаматова Д.Б.¹, Хакимова Д.А.¹, Завгороднева С.Ю.¹

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация: В данной статье рассматривается динамика математической модели, построенной на основе предложенного трёхмерного квадратичного стохастического оператора для моделирования распространения вирусных инфекций. В модели используются операторы Лотки–Вольтерры, определённые в симплексе, и проводится углублённый анализ поведения динамических систем при различных сигнатурах. Переменные модели отражают доли популяционных групп: здоровых, инфицированных, выздоровевших и скрытых носителей, а коэффициенты интерпретируются как параметры взаимодействия между этими группами. В рамках исследования построена матрица Якоби, на основе которой определены стационарные точки и классифицированы их свойства как аттракторы, репеллеры или нейтральные точки. Также аналитически вычисляется базовое репродуктивное число и выявляются условия распространения инфекции. С помощью данной модели проводится математический анализ стадий развития инфекционных заболеваний, роли скрытых носителей в эпидемическом процессе, а также вероятности повторного заражения. Полученные результаты могут быть использованы для более глубокого понимания реальных эпидемиологических процессов и разработки эффективных стратегий управления ими.

Ключевые слова: Симплекс, оператор Лотки–Вольтерры, сигнатура, аттрактор, репеллер, седло, Якобиан, популяция, эпидемиология, динамическая система, заражение и распространение болезни, носители.

1. Введение

В последние годы дискретные нелинейные динамические системы приобретают всё большую значимость в математическом моделировании сложных процессов, встречающихся в эпидемиологии, экологии и экономике ([1]–[3]). Несмотря на широкое распространение моделей, основанных на непрерывных системах, дискретные модели обладают уникальными преимуществами при описании и анализе реальных явлений с дискретным характером развития. В настоящем исследовании рассматривается класс

дискретных динамических систем типа Лотки–Вольтерры, действующих на трёхмерном симплексе. Особое внимание уделено исследованию динамики внутренних точек симплекса под воздействием операторов данного класса. Для систематизации и углублённого анализа операторов применяется метод введения сигнатур, что позволяет классифицировать операторы по четырём различным типам и провести для каждого из них подробное исследование динамических свойств. Актуальность работы определяется перспективами применения данных моделей для описания и анализа механизмов распространения



инфекционных заболеваний, передающихся воздушно-капельным путём.

2. Предварительные сведения и методы

Известно [4], [5], что $(m-1)$ -мерным симплексом называется многогранник, определяемый следующим равенством и неравенствами:

$$S^{m-1} = \{x = (x_1, x_2, \dots, x_m) \in R^m: x_i \geq 0, \sum_{i=1}^m x_i = 1\}. \quad (1)$$

Координаты вершин симплекса, определяемого равенством (1), согласно [5] обозначим в следующем виде:

$$e_1(1, 0, \dots, 0), e_2(0, 1, \dots, 0), \dots, e_m(0, 0, \dots, m).$$

Пусть $I = \{1, 2, \dots, m\}$ и $\alpha \subset I$.

Определение 1 [5]. Выпуклая оболочка вершин симплекса e_i , где $i \in \alpha$, называется гранью симплекса S^{m-1} и обозначается через Γ_α .

Если $|\alpha|$ - число элементов множества α , то

$$\Gamma_\alpha = \text{co}\{e_i\}_{i \in \alpha} \text{ и } \dim \Gamma_\alpha = |\alpha| - 1.$$

В работе [5] введен дискретный оператор Лотки-Вольтерры, на который мы будем опираться. Пусть $x = (x_1, x_2, \dots, x_m)$ некоторое распределение вероятностей индивидов по признакам. В предположении, что скрещивания происходят случайным образом (панмиксия) и между различными поколениями не происходит скрещиваний, для описания закона перехода от распределения вероятностей в следующем поколении получим следующую динамическую систему:

$$x_k^{(n+1)} = x_k^{(n)} \left(1 + \sum_{i=1}^m a_{ki} x_i^{(n)} \right), \quad (2)$$

где $k = 1, 2, \dots, m, n = 0, 1, \dots$,

$x^0 = (x_1^0, \dots, x_m^0)$ - распределение вероятностей в начальном поколении, $a_{ki} = -a_{ik}, |a_{ki}| \leq 1$ - коэффициенты наследственности.

Как упоминалось выше, оператор (2) в работах [6]-[9] с невырожденной кососимметрической матрицей рассматривался в качестве оператора динамики популяции. В предлагаемой работе мы рассматриваем этот оператор, действующий в трехмерном симплексе с вырожденной кососимметрической матрицей. Этот оператор анализируем, введя сигнатуру. Рассматриваемый в работе оператор выступает в качестве дискретной компартментарной модели, описывающей эпидемиологическую ситуацию в закрытой популяции. В качестве закрытой популяции мы можем рассматривать произвольный вид транспорта - метро, автобус, поезд, самолет.

3. Результаты и обсуждения.

Пусть частично-ориентированный граф с четырьмя вершинами имеет вид, показанный на рисунке 1.

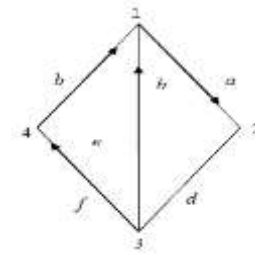


Рис. 1. Частично-ориентированный граф

В работе [10] введено понятие частично-ориентированных графов, поэтому мы в работе повторяться не будем. Также в работах [5]-[9] было показано соответствие полных и частично-ориентированных графов с операторами Лотки-Вольтерры. Этот граф соответствует трёхмерному симплексу. Согласно этим работам, оператор, соответствующий этому графу, имеет вид:

$$V_1: \begin{cases} x'_1 = x_1(1 - ax_2 + bx_3 + cx_4), \\ x'_2 = x_2(1 + ax_1), \\ x'_3 = x_3(1 - bx_1 - fx_4), \\ x'_4 = x_4(1 - ex_1 + fx_3). \end{cases}$$

Согласно [11], решаем уравнение $V_1x = x$ и находим множество неподвижных точек этого оператора:

$$\begin{cases} x_1 = x_2 = x_3 = 0 \Rightarrow e_1 = \{1; 0; 0; 0\}, \\ x_1 = x_4 = 0 \Rightarrow M\left(0; \frac{b}{a+b}; \frac{a}{a+b}; 0; 0\right), \\ x_1 = x_3 = 0 \Rightarrow N\left(0; \frac{c}{a+c}; 0; \frac{a}{a+c}\right), \end{cases}$$

в итоге множества неподвижных точек оператора V_1 - это рёбра Γ_{23}, Γ_{24} и точки $-e_1, M$. Согласно работе [5], [6] найдём множества P и Q :

$$A = \begin{pmatrix} 0 & -a & b & c \\ a & 0 & 0 & 0 \\ -b & 0 & 0 & -f \\ -e & 0 & f & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} \geq 0$$

$$\Rightarrow \begin{cases} -ax_2 + bx_3 + cx_4 \geq 0, \\ ax_1 \geq 0, \\ -bx_1 - fx_4 \geq 0 \Rightarrow x_1 = x_4 = 0, \\ -ex_1 + fx_3 \geq 0 \Rightarrow x_1 = x_3 = 0, \end{cases}$$

$$x_3 = 0 \Rightarrow \begin{cases} -ax_2 + cx_4 \geq 0 \\ x_2 + x_4 = 1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} -a \cdot (1 - x_4) + cx_4 \geq 0 \\ -ax_2 + c \cdot (1 - x_2) \geq 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} -a + ax_4 + cx_4 \geq 0 \\ -ax_2 + c - cx_2 \geq 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_4 \geq \frac{a}{a+c}, \\ x_2 \leq \frac{c}{a+c}, \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \frac{a}{a+c} \leq x_4 \leq 1, \\ 0 \leq x_2 \leq \frac{c}{a+c}, \end{cases}$$

В итоге $P = \{x \in S^3: Ax \geq 0\} = \{\Gamma_{34}, M, N\}$.

$$A = \begin{pmatrix} 0 & -a & b & c \\ a & 0 & 0 & 0 \\ -b & 0 & 0 & -f \\ -e & 0 & f & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} \leq 0 \Rightarrow$$

$$\begin{cases} -ax_2 + bx_3 + cx_4 \leq 0, \\ ax_1 \leq 0 \Rightarrow x_1 = 0, \\ -bx_1 - fx_4 \leq 0 \Rightarrow bx_1 + fx_4 \geq 0, \\ -ex_1 + fx_3 \leq 0 \Rightarrow x_1 = x_3 = 0, \end{cases}$$

$$x_3 = 0 \Rightarrow \begin{cases} -ax_2 + cx_4 \leq 0, \\ x_2 + x_4 = 1, \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} -a \cdot (1 - x_4) + cx_4 \leq 0, \\ -ax_2 + c \cdot (1 - x_2) \leq 0, \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} -a + ax_4 + cx_4 \leq 0, \\ -ax_2 + c - cx_2 \leq 0, \end{cases}$$

$$\begin{cases} x_4 \leq \frac{a}{a+c}, \\ x_2 \geq \frac{c}{a+c}, \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 0 \leq x_4 \leq \frac{a}{a+c}, \\ \frac{c}{a+c} \leq x_2 \leq 1, \end{cases}$$

тогда $Q = \{x \in S^3: Ax \leq 0\} = \{F_{12}, M, N\}$.

Согласно [6], известно, что множества P и Q выпуклые непустые многогранники, состоящие из неподвижных точек. Далее анализируя спектр матрицы Якоби выясним характеры неподвижных точек. Для этого решается уравнение $|J(x) - \lambda E| = 0$. В зависимости от значений λ имеем следующее:

- если $\lambda > 1$, то это репеллер;
- если $\lambda < 1$ аттрактор;
- если же $\lambda = 1$ – седловая точка.

Полученное уравнение имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} & a^2 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot (1 - bx_1 - fx_4 - \lambda) \cdot (1 - ex_1 + fx_3 - \lambda) \\ & + (a \cdot f)^2 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot \\ & \cdot x_3 \cdot x_4 + (1 + ax_1 - \lambda) \cdot (1 - ax_2 + bx_3 + cx_4 - \lambda) \\ & \cdot (1 - bx_1 - fx_4 - \lambda) \cdot \\ & \cdot (1 - ex_1 + fx_3 - \lambda) + e^2 \cdot x_1 \cdot x_4 \cdot (1 - bx_1 - fx_4 - \lambda) \\ & \cdot (1 + ax_1 - \lambda) + \\ & + f^2 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot (1 - ax_2 + bx_3 + cx_4 - \lambda) \cdot (1 + ax_1 - \lambda) \\ & + b^2 \cdot x_1 \cdot x_3 \cdot \\ & \cdot (1 - ex_1 + fx_3 - \lambda) \cdot (1 + ax_1 - \lambda) = 0 \end{aligned}$$

Теперь подставив координаты неподвижных точек в это уравнение найдём значения λ .

$$1. \quad e_1 = \{1; 0; 0; 0\} \Rightarrow (1 + a - \lambda) \cdot (1 - \lambda) \cdot (1 - b - \lambda) \cdot (1 - e - \lambda) = 0; \Rightarrow \lambda_1 = 1; \lambda_2 = 1 + a; \lambda_3 = 1 - b; \lambda_4 = 1 - e.$$

Значит вершина e_1 – седловая.

$$2. \quad \text{В точке } M\left(0; \frac{b}{a+b}; \frac{a}{a+b}; 0\right) \in F_{23}: (1 - \lambda) \cdot (1 - ax_2 + bx_3 - \lambda) \cdot (1 - \lambda) \cdot (1 + fx_3 - \lambda) = 0;$$

$$\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = 1; \lambda_4 = 1 + \frac{af}{a+b}. \text{ Значит } M - \text{репеллер.}$$

$$3. \quad \text{В точке } N\left(0; \frac{c}{a+c}; 0; \frac{a}{a+c}\right) \in F_{24}: (1 - \lambda) \cdot (1 - ax_2 + cx_4 - \lambda) \cdot (1 - fx_4 - \lambda) \cdot (1 - \lambda) = 0;$$

$$\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = 1; \lambda_4 = 1 - \frac{af}{a+c} \Rightarrow N - \text{аттрактор.}$$

Теперь введем сигнатуры, согласно [9]. Для данного оператора существуют четыре сигнатуры:

$$\delta_1 = (+ + - +), \delta_2 = (+ + - -),$$

$$\delta_3 = (- + - -), \delta_4 = (- + - +).$$

Найдём сечения симплекса, соответствующие этим сигнатурам:

$$F_1 = co\{e_3, e_4, M, N\}, F_2 = co\{e_1, e_4, M, N\},$$

$$F_3 = co\{e_1, e_2, M, N\}, F_4 = co\{e_2, e_3, M, N\}.$$

Напомним определение из [9]:

Определение 2 [9]. Последовательность прохождения траектории через многогранники F_i называется маршрутом траектории.

Согласно этому определению определим маршрут траектории, для этого построим граф смежности, который будет выглядеть следующим образом:



Для определения взаимной направленности этих маршрутов проведём проверку:

$$1. \quad F_2 \cap F_1 = \{e_4; M; N\}:$$

$$\lambda_1 e_4 \{0; 0; 0; 1\} = \{0; 0; 0; \lambda_1\}, \lambda_2 M \left\{0; \frac{b}{a+b}; \frac{a}{a+b}; 0\right\} = \left\{0; \frac{b\lambda_2}{a+b}; \frac{a\lambda_2}{a+b}; 0\right\},$$

$$\lambda_3 N \left\{0; \frac{c}{a+c}; 0; \frac{a}{a+c}\right\} = \left\{0; \frac{c\lambda_3}{a+c}; 0; \frac{a\lambda_3}{a+c}\right\},$$

$$\{F_1 \cap F_2\} = \left\{0; \frac{b\lambda_2}{a+b} + \frac{c\lambda_3}{a+c}; \frac{a\lambda_2}{a+b}; \frac{a\lambda_3}{a+c} + \lambda_1\right\} \in S^3,$$

$$\{0 \leq \lambda_i \leq 1, \sum \lambda_i = 1\}.$$

$$x'_4 = x_4(1 - ex_1 + fx_3) = x_4 \cdot \left(1 + \frac{af\lambda_2}{a+b}\right),$$

$$\begin{aligned} x''_4 &= x'_4(1 - ex'_1 + fx'_3) = \\ &= x'_4(1 - ex_1(1 - ax_2 + bx_3 + cx_4) \\ &\quad + fx_3(1 - bx_1 - fx_4)) = \\ &= x'_4 \left(1 + \frac{af\lambda_2}{a+b} - \frac{a^2 f^2 \lambda_2 \lambda_3}{(a+b)(a+c)} - \frac{af^2 \lambda_1 \lambda_2}{a+b}\right) < x_4. \end{aligned}$$

$$2. \quad F_1 \cap F_4 = \{e_3; M; N\}$$

$$\lambda_1 e_3 \{0; 0; 1; 0\} = \{0; 0; \lambda_1; 0\}, \lambda_2 M \left\{0; \frac{b}{a+b}; \frac{a}{a+b}; 0\right\} = \left\{0; \frac{b\lambda_2}{a+b}; \frac{a\lambda_2}{a+b}; 0\right\},$$

$$\lambda_3 N \left\{0; \frac{c}{a+c}; 0; \frac{a}{a+c}\right\} = \left\{0; \frac{c\lambda_3}{a+c}; 0; \frac{a\lambda_3}{a+c}\right\},$$

$$\{F_1 \cap F_4\} = \left\{0; \frac{b\lambda_2}{a+b} + \frac{c\lambda_3}{a+c}; \frac{a\lambda_2}{a+b} + \lambda_1; \frac{a\lambda_3}{a+c}\right\} \in S^3,$$

$$\{0 \leq \lambda_i \leq 1, \sum \lambda_i = 1\},$$

$$x'_4 = x_4(1 - ex_1 + fx_3) = x_4 \cdot \left(1 + \frac{af\lambda_2}{a+b} + f\lambda_1\right),$$

$$\begin{aligned} x''_4 &= x'_4(1 - ex'_1 + fx'_3) = \\ &= x'_4(1 - ex_1(1 - ax_2 + bx_3 + cx_4) \\ &\quad + fx_3(1 - bx_1 - fx_4)) = \end{aligned}$$

$$= x'_4 \left(1 + \frac{af\lambda_2}{a+b} + f\lambda_1 - \frac{a^2f^2\lambda_2\lambda_3}{(a+b)(a+c)} - \frac{af^2\lambda_1\lambda_3}{a+c} \right) < x_4. \quad 3.$$

$$F_4 \cap F_3 = \{e_2; M; N\},$$

$$\lambda_1 e_2 \{0; 1; 0; 0\} = \{0; \lambda_1; 0; 0\},$$

$$\lambda_2 M \left\{ 0; \frac{b}{a+b}; \frac{a}{a+b}; 0 \right\} = \left\{ 0; \frac{b\lambda_2}{a+b}; \frac{a\lambda_2}{a+b}; 0 \right\},$$

$$\lambda_3 N \left\{ 0; \frac{c}{a+c}; 0; \frac{a}{a+c} \right\} = \left\{ 0; \frac{c\lambda_3}{a+c}; 0; \frac{a\lambda_3}{a+c} \right\},$$

$$\{F_4 \cap F_3\} = \left\{ 0; \frac{b\lambda_2}{a+b} + \frac{c\lambda_3}{a+c}; \lambda_1; \frac{a\lambda_2}{a+b}; \frac{a\lambda_3}{a+c} \right\} \in S^3,$$

$$\{0 \leq \lambda_i \leq 1, \sum \lambda_i = 1\}.$$

$$x'_4 = x_4(1 - ex_1 + fx_3) = x_4 \cdot \left(1 + \frac{af\lambda_2}{a+b} \right),$$

$$x''_4 = x'_4(1 - ex'_1 + fx'_3) =$$

$$= x'_4(1 - ex_1(1 - ax_2 + bx_3 + cx_4) + fx_3(1 - bx_1 - fx_4)) =$$

$$= x'_4 \left(1 + \frac{af\lambda_2}{a+b} - \frac{a^2f^2\lambda_2\lambda_3}{(a+b)(a+c)} \right) < x_4. \quad 4. \quad F_3 \cap F_2 = \{e_1; M; N\},$$

$$\lambda_1 e_1 \{1; 0; 0; 0\} = \{\lambda_1; 0; 0; 0\},$$

$$\lambda_2 M \left\{ 0; \frac{b}{a+b}; \frac{a}{a+b}; 0 \right\} = \left\{ 0; \frac{b\lambda_2}{a+b}; \frac{a\lambda_2}{a+b}; 0 \right\},$$

$$\lambda_3 N \left\{ 0; \frac{c}{a+c}; 0; \frac{a}{a+c} \right\} = \left\{ 0; \frac{c\lambda_3}{a+c}; 0; \frac{a\lambda_3}{a+c} \right\},$$

$$\{F_4 \cap F_3\} = \left\{ \lambda_1; \frac{b\lambda_2}{a+b} + \frac{c\lambda_3}{a+c}; \frac{a\lambda_2}{a+b}; \frac{a\lambda_3}{a+c} \right\} \in S^3, \{0 \leq \lambda_i \leq 1, \sum \lambda_i = 1\}.$$

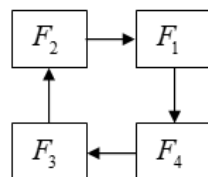
$$x'_4 = x_4(1 - ex_1 + fx_3) = x_4 \cdot \left(1 - e\lambda_1 + \frac{af\lambda_2}{a+b} \right),$$

$$x''_4 = x'_4(1 - ex'_1 + fx'_3) =$$

$$= x'_4(1 - ex_1(1 - ax_2 + bx_3 + cx_4) + fx_3(1 - bx_1 - fx_4)) =$$

$$= x'_4 \left(1 - e\lambda_1 + \frac{af\lambda_2}{a+b} - \frac{abf\lambda_1\lambda_2}{a+b} - \frac{a^2f^2\lambda_2\lambda_3}{(a+b)(a+c)} \right) < x_4.$$

В результате проверки взаимная направленность этих маршрутов оказалась следующей:



4. Эпидемиологическая интерпретация динамической системы и результатов.

Опишем эпидемиологическую интерпретацию каждого уравнения динамической системы V_1 .

Начнём работу с объяснения первого члена x_1 , описывающий восприимчивую часть популяции:

$$1. \quad x'_1 = x_1(1 - ax_2 + bx_3 + cx_4).$$

Базовый рост популяций x_1 с коэффициентом 1.

Уменьшается за счёт контакта с инфицированными x_2 . Произведение ax_1x_2 означает передачу инфекции.

Увеличивается за счёт выздоровевших x_3 . Это может быть ре-популяцией, т.е. феномен увеличения численности определённого типа организмов, после

катастрофического сокращения их количества – помощь выздоровевших – bx_1x_3 .

Также здесь возможно увеличение за счёт латентных/носителей x_4 . Здесь контакт не приводит к заболеванию, но способствует росту. Примером может быть источники информации или же привитые – cx_1x_4 .

2. $x'_2 = x_2(1 + ax_1)$ – группа инфицированной части популяции.

Инфицированная часть популяции увеличивается за счёт контакта с восприимчивыми x_1 . Это будет эпидемическим всплеском.

3. $x'_3 = x_3(1 - bx_1 - fx_4)$ – выздоровевшая часть популяции:

Выздоровевшие теряют численность из-за повторного заражения от x_1 . Если x_1 – ещё не полностью здоровые, тогда они являются всё ещё опасными.

Также эта группа теряет численность из-за воздействия носителей x_4 . Это возможно, если иммунитет не устойчив.

4. $x'_4 = x_4(1 - ex_1 + fx_3)$ – группа носителей инфекции, латентные.

Группа носителей уменьшается под воздействием здоровых. Это может быть изоляция или же лечение.

Увеличиваются за счёт выздоровевших – если есть возможность рецидива или перехода в носительство.

Яснее сказать динамическая система V_1 описывает взаимодействие субпопуляций, отражающие:

заражение и распространение болезни (через x_1 и x_2);

восстановление или же иммунитет (через x_3); возможные скрытые/латентные носители инфекции (через x_4);

взаимодействие между группами (через коэффициенты a, b, c, e, f).

Теперь как в непрерывном случае определим базовое репродуктивное число, R_0 , который является ключевым эпидемиологическим параметром, характеризующий среднее число вторичных случаев, вызванных одним инфицированным индивидом в полностью восприимчивой популяции. Его можно оценить по системе уравнений, используя подход матрицы следующего поколения или упрощённый анализ линейной части системы вблизи начальной фазы эпидемии.

Этапы поиска R_0 .

Определим инфекционные переменные.

Инфекционные: x_2 (инфицированные), x_4 – (латентные/носители).

Неинфекционные: x_1 (восприимчивые), x_3 (выздоровевшие/иммунные).

Линеаризуем уравнение по x_2 и x_4 при $x_1 \approx 1$,

$x_2, x_4 \approx 0$. Это начальная стадия эпидемии.

$$x'_2 = x_2(1 + ax_1) \approx x_2(1 + a),$$

$$x'_4 = x_4(1 - ex_1 + fx_3) \approx x_4(1 - e).$$

Это мультипликативный рост. Если коэффициент перед x_i больше 1, x_i растёт экспоненциально.

Оценка R_0 :

Для простой системы, где заражение происходит только от одного класса (например x_2) и в начале эпидемии восприимчивые почти равны 1, тогда:

$$R_0 \approx (\text{скорость заражения}) \times$$

× (средняя продолжительность инфекции).

Из уравнения для x_2 имеем:

$$x_2' = x_2(1 + ax_1) \Rightarrow \text{темпы роста} \sim 1 + a.$$

Значит, если мы примем продолжительность инфекции за нормированную единицу, то:

$$R_0 = 1 + a.$$

Если дополнительно учесть вклад латентных носителей x_4 , которые могут передавать инфекцию или же влиять на распространение через коэффициент f , тогда может быть комбинированное репродуктивное число R_0 , состоящее из вкладов от x_2 и x_4 .

Тогда можем записать:

$$R_0 \approx (1 + a) + \theta(f, e),$$

где $\theta(f, e)$ - вклад латентных, т.е. если они могут снова заражать или же активизироваться.

В заключении мы можем сказать, что в приближении начальной стадии эпидемии, базовое репродуктивное число приблизительно равно:

$$R_0 \approx 1 + a$$

или, при включении вклада от носителей x_4 :

$$R_0 \approx 1 + a + \text{вклад от } f \text{ и } e.$$

5. Заключение

В работе рассмотрели дискретную динамическую систему Лотки-Вольтерры, действующую в $X_t = \beta_0 + \beta_1 X_{t-1} + \beta_2 X_{t-2} + \dots + \beta_{t-k} X_k + \varepsilon_t$ с вырожденной кососимметрической матрицей. В работе показали, что с помощью такого типа системы можно моделировать **выпрыски, устойчивые состояния, циклы вирусных болезней. Это может служить основой для анализа устойчивости, анализа репродуктивного числа, воздействия вакцинации и других вмешательств.**

Использованная литература / References

- [1] Barwell A.D. Limit Sets of Discrete Dynamical Systems // A thesis of doctor of Philosophy, The University of Birmingham. — 2010.
- [2] Murray J. D. Mathematical Biology, 3rd ed. Springer, New York, 2007.
- [3] Brauer F. and Castillo-Chavez C. Mathematical Models in Population Biology and Epidemiology. Springer, New York, 2012.
- [4] Болтянский В.Г. Оптимальное управление дискретными системами. — М.: Наука, 1973. С. 448.
- [5] Ganikhodzhaev R.N., Eshmamatova D.B. Quadratic automorphisms of a simplex and the asymptotic behavior of their trajectories., 2006.
- [6] Tadzhieva M. A., Eshmamatova D. B. and Ganikhodzhaev R. N. "Volterra-type quadratic stochastic

operators with a homogeneous tournament," J. Math. Sci. 278, 546–556. 2024.

[7] Eshmamatova D. B., Ganikhodzhaev R. N., and Tadzhieva M. A. "Dynamics of Lotka–Volterra quadratic mappings with degenerate skew-symmetric matrix," UzbekMath. J. 66, 85–97. 2022.

[8] Seytov Sh. J. and Eshmamatova D. B. "Discrete dynamical systems of Lotka–Volterra and their applications on the modeling of the biogen cycle in ecosystem." Lobachevskii J.Math. 44, 1462–1476. 2023.

[9] Eshmamatova D. B., Tadzhieva M. A. and Ganikhodzhaev R. N. "Criteria for the existence of internal fixed points of Lotka–Volterra quadratic stochastic mappings with homogeneous tournaments acting in an $(m - 1)$ -dimensional simplex," J. Appl. Nonlin. Dyn. 12, 679–688. 2023.

[10] Moon J.W. Topics on Tournaments. New York: Holt, Rinehart and Winston. 112 p. 2013.

[11] R. L. Devaney, A First Course in Chaotic Dynamical Systems: Theory and Experiment. Taylor and Francis, 2020.

Информация об авторах/ Information about the authors

Эшмаматова Дилфуза Бахрамовна заведующая кафедрой высшей математики, доктор физико-математических наук (DSc), Ташкентский государственный транспортный университет.

E-mail: 24dil@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1096-2751>

Хакимова Дильдора Абдигаппоровна докторант (PhD) Ташкентского государственного транспортного университета.

E-mail: xakimovadildora47@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-5181-7182>

Завгороднева Светлана Юрьевна ассистент кафедры высшей математики Ташкентского государственного транспортного университета.

E-mail: zavgorodnevasveta22@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0002-7852-7403>

Propagation of spherical shock waves in a contiguous elastic-plastic environment

Sh.A. Kasimov¹, N.A. Shomurodov¹

¹Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This article studies the propagation of one-dimensional spherical shock waves in a homogeneous medium, represented by soil or ground, modeled as a continuous elastic-plastic medium. The research assumes that the loading shock waves in the elastic-plastic medium filling the surrounding space propagate at a constant velocity. Furthermore, the effective use of directional blasting technology in construction, mining-geological industries, and other technical fields requires determining the relevant mechanical parameters of continuous elastic-plastic media subjected to shock loads. Within the theory of small elastic-plastic deformations, the relationship between the components of the stress and strain tensors in a spherical coordinate system is taken into account.

Keywords: elasto-plastic medium, underground capacity, soil, explosion, shock wave, elastic potential, tensor, intensity, deformation, stresses.

Tutash elastik-plastik muhitda sferik zarbali to'liqlarning tarqalishi

Kasimov Sh.A.¹, Shomurodov N.A.¹

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Mazkur maqolada uzluksiz elastik-plastik muhit tarzida modellashirilgan va kuchlanish-deformatsiyalanishi tabiiy holatdagi bir jinsli zamin yoki tuproq (grunt)dan iborat muhitlarda bir o'lchovli sferik zarbali to'liqlarning tarqalishi o'rganilgan. Tadqiqot jarayonida atrof fazoni qoplagan elastik-plastik muhitlarda yuklanish zarbiy to'liqlari o'zgarmas tezlik bilan tarqaladi, deb qaraladi. Shuningdek, Qurilish sohasida, tog'- geologiya sanoati va texnikaning turli tarmoqlarida yo'naltirilgan portlash texnologiyasidan unumli foydalanish, zarbga duchor bo'lgan yuklanish zarbiy to'liqlari ortidagi uzluksiz elastik-plastik muhitlarning tegishli mexanik parametrlarini aniqlash, Kichik elastik-plastik deformatsiyalar nazariyasiga ko'ra, sferik koordinatalar tizimida kuchlanish va deformatsiya tenzorlari komponentlari orasidagi bog'liqlik ko'zda tutilgan.

Kalit so'zlar: elastik-plastik muhit, yer osti sig'imi, tuproq, portlash, zarba to'liqi, elastik potentsial, tenzor, intensivlik, deformatsiya, kuchlanishlar.

1. Kirish

Qurilish sohasida, tog'- geologiya sanoati va texnikaning turli tarmoqlarida yo'naltirilgan portlash texnologiyasidan unumli foydalaniladi. Ushbu texnologiyalarni rivojlantirish fan va texnikaning dolzarb masalalaridan bo'lib, iqtisodiyotning resurs va mablag'larini tejashga imkon beradi. Maqolada ko'rilayotgan masalaning dolzarbligi shu bilan asoslanadi. Taraqqiy etgan mamlakatlarda portlash nazariyasiga bag'ishlangan ko'plab tadqiqotlar o'tkazilgan. Portlash natijasida hosil bo'lgan sferik zarba to'liqlarining tarqalishi haqidagi mavjud adabiyotlarni sharhlash shuni ko'rsatadiki, tuproq massivlari (ayniqsa, turli muhandislik kommunikatsiyalari, masalan, gaz va neft saqlash idishlari, shaxta quduqlari, kanallar va boshqa gidrotehnika inshootlari bilan real aloqada bo'lgan modellar) ko'plab tadqiq qilingan. Shu bilan bog'liq holda, portlashning sferik zarba to'liqlarining buzilmagan elastik-plastik muhitda tarqalishini modellashirish va yechish

usullarini ishlab chiqish jarayonida ilmiy tahlil qilish muammolari dolzarb hisoblanadi.

2. Sferik simmetrik elastik-plastik muhitlarning avtomodel harakati tadqiqi

Kichik elastik-plastik deformatsiyalar nazariyasiga ko'ra, sferik koordinatalar tizimida kuchlanish va deformatsiya tenzorlari komponentlari orasidagi bog'liqlik quyidagi ko'rinishda ifodalanadi:

$$\sigma_r = \lambda \varepsilon + 2 G \frac{\partial u}{\partial x}, \quad \sigma_\varphi = \lambda \varepsilon + 2 G \frac{u}{r} \quad (1)$$

Sferik simmetriya sharoitida, mos ravishda hajmiy deformatsiya va sirpanma deformatsiya intensivligi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\varepsilon = \frac{\partial u}{\partial x} + 2 \frac{u}{r}; \quad \varepsilon_i = \frac{2}{3} \left(\frac{u}{r} - \frac{\partial u}{\partial x} \right) \quad (2)$$

O'tkazilgan tajribalar shuni ko'rsatadiki, o'zgaruvchan koordinatalar $\lambda(\varepsilon, \varepsilon_i)$ va $G(\varepsilon, \varepsilon_i)$ to'liq deformatsiya tenzori komponentlarining funksiyalari sifatida aniqlanadi va elastik potentsial $U(\varepsilon, \varepsilon_i)$ orqali quyidagicha ifodalanadi.

$$\lambda(\varepsilon, \varepsilon_i) = \frac{1}{\varepsilon} \cdot \frac{\partial U}{\partial \varepsilon} - \frac{2}{9} \cdot \frac{1}{\varepsilon_i} \cdot \frac{\partial U}{\partial \varepsilon_i}; \quad G(\varepsilon, \varepsilon_i) = \frac{1}{3 \varepsilon_i} \cdot \frac{\partial U}{\partial \varepsilon_i}$$

$U(\varepsilon, \varepsilon_i)$ ni aniqlash uchun, odatda, eksperimental tadqiqotlar natijalaridan foydalaniladi. Tajribalar kuchlanishlar intensivligi σ_i ning deformatsiya intensivligi ε_i va o'rta normal kuchlanish (yoki aynan shu ma'noda, hajmiy deformatsiy) ε bilan invariant bog'liqligi mavjudligini tasdiqlaydi:

$$\frac{\partial U}{\partial \varepsilon} = \sigma(\varepsilon) \quad \frac{\partial U}{\partial \varepsilon_i} = \sigma_i(\varepsilon, \varepsilon_i) \quad (4)$$

Shu bilan bog'liq holda, umumlashtirilgan modullar $\lambda(\varepsilon, \varepsilon_i)$ va $G(\varepsilon, \varepsilon_i)$ ni aniqlash uchun, mazkur maqolada birinchi marta eksperimental tadqiqotlar natijalari qo'llanilgan. Bu tadqiqotlar gruntlar va tog' jinslarining mexanik xususiyatlarini aniqlash bo'yicha olib borilgan va [2-4] ilmiy ishlarda bayon etilgan:

$$\lambda(\varepsilon, \varepsilon_i) = k_1 + k_2 \varepsilon + k_3 \varepsilon^2 -$$

$$\frac{2 G_0 \operatorname{tg} \psi}{9} \cdot [H_0 + (k_1 \varepsilon + k_2 \varepsilon^2 + k_3 \varepsilon^3)] \cdot (\operatorname{tg} \psi + G_0 \varepsilon_i)^{-1}$$

$$G(\varepsilon, \varepsilon_i) = \frac{G_0 \operatorname{tg} \psi}{3} [H_0 + (k_1 \varepsilon + k_2 \varepsilon^2 + k_3 \varepsilon^3)] \cdot (\operatorname{tg} \psi + G_0 \varepsilon_i)^{-1} \quad (5)$$

Bu yerda, $k_1, k_2, k_3, H_0, \operatorname{tg} \psi, G_0$ - eksperimental konstantalar.

Eksperimental tadqiqotlar natijalarini hisobga olgan holda, ko'rib chiqilayotgan muhitning dinamik harakat tenglamalari tegishli o'zgartirishlardan so'ng ushbu masalaga tatbiq qilingan holda quyidagicha ifodalanadi (6)

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{1}{\rho_0} (1 + \varepsilon_\varphi)^2 \cdot \left[m_\varepsilon + \frac{4}{9} \cdot n_\varepsilon (q_{\varepsilon_i}^{-1} + G_0 q_{\varepsilon_i}^{-2}) \right] \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} - \frac{2}{\rho_0} \cdot \frac{\varepsilon_\varphi}{r} (1 + \varepsilon_\varphi)^2 \cdot \left\{ m_\varepsilon - \frac{2}{3} \cdot n_\varepsilon (q_{\varepsilon_i}^{-1} + G_0 q_{\varepsilon_i}^{-2}) + n_\varepsilon q_{\varepsilon_i}^{-1} (1 + \varepsilon_r) \left[\varepsilon_\varphi (1 + \varepsilon_\varphi)^{-1} \right] \cdot \varepsilon_i \right\} \quad (6)$$

Bu yerda

$$m_\varepsilon = k_1 + 2k_2 \varepsilon + 3k_3 \varepsilon^2$$

$$n_\varepsilon = G_0 \operatorname{tg} \psi [H_0 + (k_1 \varepsilon + k_2 \varepsilon^2 + k_3 \varepsilon^3)] \quad (7)$$

$$q_{\varepsilon_i} = \operatorname{tg} \psi + G_0 \varepsilon_i$$

Mexanikadagi o'lchamliklar nazariyasi (yoki π nazariyasi) dan foydalanib ko'rsatish mumkinki, zarba to'liqidan keyingi gruntning aniqlovchi parametrlaridan faqat quyidagi bitta o'lchamsiz kombinatsiyani tuzish mumkin:

$$\eta = \frac{r}{b_0 t} \quad (8)$$

va shu sababli, masala **avtomodel** bo'ladi [5-7]. Grunt harakatining tenglamasi yechimi quyidagi ko'rinishda qidiriladi

$$u = b_0 t \cdot f(\eta) \quad (9)$$

Bu yerda, $f(\eta)$ - izlanayotgan funktsiya.

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = b_0 \frac{\eta^2}{t} \cdot f''(\eta); \quad \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} = \frac{\eta}{t} \cdot f''(\eta) \quad (10)$$

Shunday qilib, yuqorida bayon etilganlarni hisobga olib, ba'zi o'zgartirishlardan so'ng, grunt harakatining tenglamalari ikkinchi tartibli oddiy differensial tenglama ko'rinishida olinadi:

$$f''(\eta) - Q(\eta, f, f') \cdot \{\eta[\eta^2 - L(\eta, f, f')]\}^{-1} = 0 \quad (11)$$

$$\text{Bu yerda, } L(\eta, f, f') = \frac{1}{\rho_0 b_0} \left[1 + \frac{f(\eta)}{\eta} \right]^2 \cdot$$

$$(k_1 + 2k_2 \varepsilon + 3k_3 \varepsilon^2 + \frac{4}{9} G_0 \operatorname{tg} \psi) \cdot [H_0 + (k_1 \varepsilon + k_2 \varepsilon^2 + k_3 \varepsilon^3)] \cdot [(\operatorname{tg} \psi + G_0 \varepsilon_i)^{-1} + G_0 (\operatorname{tg} \psi + G_0 \varepsilon_i)^{-2}]$$

$$Q(\eta, f, f') = \frac{1}{\rho_0 b_0^2} \frac{f(\eta)}{\eta} \left[1 + \frac{f(\eta)}{\eta} \right]^2 \left\{ \frac{2}{3} (H_0 + k_1 \varepsilon + k_2 \varepsilon^2 + k_3 \varepsilon^3) \cdot [(\operatorname{tg} \psi + G_0 \varepsilon_i)^{-1} + G_0 (\operatorname{tg} \psi + G_0 \varepsilon_i)^{-2}] - (k_1 + 2k_2 \varepsilon + 3k_3 \varepsilon^2) - (H_0 + k_1 \varepsilon + k_2 \varepsilon^2 + k_3 \varepsilon^3) \cdot (\operatorname{tg} \psi + G_0 \varepsilon_i)^{-1} \cdot [1 + f'(\eta)] \left[\frac{f(\eta)}{\eta} \left(1 + \frac{f(\eta)}{\eta} \right) \right]^{-1} \cdot \varepsilon_i \right\}$$

$$\varepsilon = \frac{2 f(\eta) + \eta f'(\eta)}{\eta}; \quad \varepsilon_i = \frac{2}{3} \cdot \left[\frac{f(\eta) - \eta f'(\eta)}{\eta} \right] \quad (12)$$

Shuni ta'kidlash kerakki, (11) tenglamani sonli usullar yordamida yechish uchun zarba to'liqinidagi shartlar asosida aniqlanadigan η^*, f^*, f'^* parametrlaridan foydalanish zarur.

Foydalanilgan adabiyotlar/ References

- [1] Рахматулин Х.А. Динамические задачи упругости и пластичности, Распространение упругих и упругопластических волн (материалы III симпозиума по проблемам прочности и пластичности) Ташкент, 1969.
- [2] Рахматулин Х.А. и др. Вопросы динамики грунтов, Москва: Издательство МГУ им. Ломоносова, 1964, стр. 240.
- [3] Строганов А.С. Горные давления и крепь вертикальных стволов, Москва: Гостехиздат, 1963, стр. 29-55.
- [4] Набиев А.Н. Метод определения основных механических свойств грунтов при высоких напряжениях, ВНИИИС Госстроя, 6683-85.
- [5] Yanvarjon Khodjayev, Shukhrat Kasimov, Bakhtiyor Khalkhadjaev. Prospects for the use of fuel shells in the fuel balance of uzbekistan. Journal Solid State Technology. Vol. 63 No. 6 (2020), pp. 379 – 382. | Scopus Journal.
- [6] Kasimov Sh.A., Kendjayev R.Kh., Islomov Yo.A. mathematical simulation of flow of gas liquid flow in improved devices in pump compressor tubing to increase oil production. AIP Conference Proceedings, Volume 3045,

Issue 1, 050032 (2024), 11 March 2024.
<https://doi.org/10.1063/5.0197374> , pp.7. Melville, New York, 2024.

[7] T. Shoimurotov, I. Togaev, S. Akmalov, F. Babajanov, S. Melikuziyev and Shuxrat Kasimov. "Oil-bitumum saturation Mesozoic and cenozoic deposits in central Asia". E3S Web of Conf. Volume 508, 2024, 07007 . International Conference on Green Energy: Intelligent Transport Systems - Clean Energy Transitions. pp. 6 , 05 April 2024 , France.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202450807007>

Mualliflar haqida ma'lumot/ Information about the authors

Kasimov Shuhrat Abdusamatovich	Dotsent , Toshkent davlat transport universitetit E-mail: shuxrat1812@mail.ru https://orcid.org/0000-0003-4158-7517
Shomurodov Nozimbek Anvar o'g'li	Assistent, Toshkent davlat transport universitetit E-mail: nozimshoh007@gmail.com https://orcid.org/0009-0005-2748-4484

Time series modeling and prediction

L. Sharipova¹, H. Raufov¹

¹Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

Abstract:

We provide an innovative approach to time series analysis that helps automate autoregressive integrated sliding mean-value authorization model (ARIMA) modeling and greatly facilitates the reliable prediction-building process. Our approach is based on optimization modeling and the separation of the time series into defined seasonal effects, autoregressive (AR) terms, moving average (MA) terms, white noise, and any free variation outside the scope of the chosen model. Simultaneous selection of the corresponding delayed terms and evaluation of their coefficients is achieved by minimizing normalized errors subject to constraints including the limit of the number of combined AR and MA terms to achieve the desired savings through mathematical programming. The White Noise estimator device serves as a stationary benchmark signal for determining MA coefficients and is modeled using wavelet functions that facilitate the formation of integer linear constraints. We report the results of numerical testing of this methodology in several real data sets and discuss the main consequences for research and practice. Our models (i) have found that one step above other widely used interpretable methodologies, including random forests and gradient enhancement models, achieves forward forecasting accuracy, offers interpretable results, and is computationally consistent.

Keywords:

Optimization modeling, analysis of time series, prediction of waves, white noise., Error counting.

Vaqtli qatorlarni modellashtirish va bashorat qilish

Sharipova L.¹, Raufov H.¹

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya:

Biz avtoregressiv integratsiyalashgan siljuvchi o'rta qiymat avtoressiya modeli (ARIMA) modellashtirishni avtomatlashtirishga yordam beradigan va ishonchli bashorat tuzish jarayonini ancha osonlashtirilgan vaqt qatorlarini tahlil qilishning innovatsion yondashuvni taqdim etamiz. Bizning yondashuvimiz optimallashtirish modellashtirishga va vaqt qatorini belgilangan mavsumiy effektlarga, avtoregressiv (AR) hadlarga, harakatlanuvchi o'rtacha (MA) hadlarga, oq shovqinga va tanlangan modelning doirasidan tashqaridagi har qanday erkin o'zgarishlarga ajratishga asoslanadi. Tegishli kechiktirilgan hadlarni bir vaqtning o'zida tanlash va ularning koeffitsiyentlarini baholash matematik dasturlash orqali kerakli tejankorlikka erishish uchun birlashtirilgan AR va MA hadlari sonining chegarasini o'z ichiga olgan cheklavlarga bo'ysunadigan normallashtirilgan xatolarni minimallashtirish orqali amalga oshiriladi. Oq shovqinni baholash qurilmasi MA koeffitsientlarini aniqlash uchun statsionar etalon signal bo'lib xizmat qiladi va butun sonli chiziqli cheklavlarni shakllantirishni osonlashtiradigan veyvlet funksiyalari yordamida modellashtiriladi. Biz ushbu metodologiyani bir nechta real ma'lumotlar to'plamlarida raqamli sinovdan o'tkazish natijalari haqida xabar beramiz va tadqiqot va amaliyot uchun asosiy oqibatlarini muhokama qilamiz. Bizning modellarimiz (i) boshqa keng qo'llaniladigan talqin qilinadigan metodologiyalardan, jumladan tasodifiy o'rmonlar va gradiyentni kuchaytirish modellaridan ustun bo'lgan bir bosqich oldinga prognozlash aniqligiga erishishini, talqin qilinadigan natijalarni taklif qilishini va hisoblash jihatdan mos kelishini aniqladik.

Kalit so'zlar:

Optimallashtirish modellashtirish, Vaqt qatorlarini tahlil qilish, To'liqlar, Oq shovqinni bashorat qilish., xatoliklarni hisoblash.

1. Kirish

Matematik statistikaning asosiy masalalaridan biri – o'rganilayotgan hodisalarning makonda o'zgarish va rivojlanish jarayonini tadqiq qilishda vaqtli qatorlarni tuzish va tahlil qilish yo'li bilan hal etiladi. Vaqt qatorining qaralayotgan qiymatining avvalgi qiymatlariga chiziqli

bog'liq holda o'zgarish hodisasiga *avtoregressiya jarayoni* yoki *AR jarayon* deyiladi. Masalan, agar hozir kuzatilayotgan qiymat ana shu kuzatishdan avvalgi faqat bitta qiymatning chiziqli funksiyasi bo'lsa, u holda bunday jarayon *1-tartibli avtoregressiya jarayoni* deyiladi va AR(1) kabi belgilanadi. Xuddi shuningdek, agar qaralayotgan jarayon hozirgidan avvalgi k ta qiymatga chiziqli bog'liq

bo'lsa, u holda bu k -tartibli avtoregressiya jarayoni yoki $AR(k)$ deyiladi:

$$X_t = \beta_0 + \beta_1 X_{t-1} + \beta_2 X_{t-2} + \dots + \beta_{t-k} X_k + \varepsilon_t.$$

Siljuvchi o'rta qiymat avtoressiya modeli (ARMA, *autoregressive moving-average model*) statistikada statsionar vaqt qatorlarini tahlil qilish va bashorat qilish uchun ishlatiladigan matematik modellardan biridir. ARMA modeli vaqt qatorlarining ikkita sodd modellari - avtoressiya modeli (AR) va siljuvchi o'rta qiymat modelini (MA) umumlashtiradi. $ARMA(p, q)$ modeli deb, quyidagi $\{X_t\}$ vaqt qatorini hosil qilish jarayoniga aytiladi:

$$X_t = c + \varepsilon_t + \sum_{i=1}^p \alpha_i X_{t-i} + \sum_{j=1}^q \beta_j X_{t-j},$$

bu yerda p va q – model tartibini belgilaydigan butun sonlar, c – o'zgarmas son, $\{\varepsilon_t\}$ – “oq shovqin”, ya'ni matematik kutilmasi nolga teng bog'liqsiz va bir xil taqsimlangan (odatda normal) tasodifiy miqdorlar ketma-ketligi, hamda $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_p$ va $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_q$ mos ravishda avtoregressiya va siljuvchi o'rta qiymat koeffitsientlarini ifodalovchi haqiqiy sonlar.

ARIMA (inglizcha *AutoRegressive Integrated Moving Average*) – siljuvchi o'rta qiymatli avtoregressiyaning integrallangan modeli – bu ARMA modelining nostatsionar vaqt qatorlari uchun umumlashtirilgani hisoblanadi. Bunda nastatsionar vaqt qatori biror tartibli ayirmalar usuli (integrallangan qatorlar) yordamida statsionar qatorga olib kelinadi. Demak bu modelda ayirma tartibini ifodalovchi yana bitta parametr qo'shiladi.

$ARIMA(p, d, q)$ modeli vaqt qatorining d tartibli ayirmalari $ARMA(p, q)$ modeliga bo'ysunishini anglatadi.

Statsionar bo'lmagan vaqt qatorlari uchun $ARIMA(p, d, q)$ modeli quyidagi ko'rinishga ega:

$$\Delta^d X_t = c + \varepsilon_t + \sum_{i=1}^p a_i \Delta^d X_{t-i} + \sum_{j=1}^q b_j \varepsilon_{t-j},$$

bu yerda ε_t – statsionar vaqt qatori, c , a_i , b_i – model parametrlari, Δ^d – vaqt qatorining d tartibli ayirmalar operatori Avtoregressiv integral siljuvchi o'rta (ARIMA) modelashtirish vaqt qatorlarini tahlil qilishda keng qamrovli yondashuv sifatida ta'sirchan natijalarga erishdi. ARIMA vaqt qatorining tuzilishi haqida tushuncha beradigan talqin qilinadigan natijalarni taqdim etadi, “qora quti” tizimlardan farqli o'laroq, masalan, ajoyib bashorat aniqligini ta'minlashi mumkin bo'lgan, ammo talqin qilinmaydigan ba'zi mashinali o'rganish usullari. Ilovalar barcha funksional sohalarida qaror qabul qiluvchilar tomonidan foydalanish uchun talabni modelashtirish va bashorat qilishni o'z ichiga oladi. Biroq, ARIMA modelashtirish asosiy bosqichlarda subyektiv fikrlashga asoslangan ko'p bosqichli jarayondir. Muqobil sifatida biz vaqt qatorlari ma'lumotlaridan ARIMAg'a o'xshash modelni ajratib olishning innovatsion usulini taklif qilamiz, bu esa o'z navbatida kelajakdagi qiymatlarni bashorat qilish uchun ishlatiladi. Bizning yondashuvimiz an'anaviy ARIMA modelashtirishning ko'plab afzalliklarini o'z ichiga olishga

qaratilgan, ammo ARIMA modelini qurish bilan bog'liq bo'lgan subyektiv fikrlarning aksariyati obyektiv tanlovlar bilan kamaytiriladi yoki hatto yo'q qilinadi. Ushbu yondashuvning asosiy jihati mos keladigan kechikish muddatlari va koeffitsientlarini, shuningdek, belgilangan mavsumiy ta'sirlarni tanlashni avtomatlashtirish va aniq sozlash uchun matematik dasturlashdan foydalanishdir. Yondashuv, shuningdek, ma'lumotlarning taqsimlanishi yoki xatolar haqidagi taxminlarga bog'liq bo'lmagan ma'noda parametrsizlanmagandir.

Biz taklif qilgan matematik dasturlash formulalari vaqtli qatorni avtoregressiv (AR) hadlarga va siljuvchi o'rta qiymatli (MA) hadlarga ajratishga asoslangan bo'lib, har bir qoldiq had keyinchalik oq shovqin va "erkin" variatsiyaga bo'linadi, bu esa statsionar deb hisoblanmaydi. Oq shovqin freymvorkka xos bo'lib, bashorat o'zgaruvchisi unga MA atamali orqali javob beradi. Qoldiqning bo'linishi vaqt qatoridagi qoldiq shovqinlar bashoratiga noma'lum bo'lgan bir nechta manbalar tufayli yuzaga kelishi mumkinligini aks ettiradi. Ushbu manbalardan keladigan shovqinlar bir-biriga xalaqit berishi mumkinligi sababli, MA shartlarini keltirib chiqaradigan oq shovqin komponentini iloji boricha aniqroq aniqlash muhimdir, bu ma'lumotlarga eng yaxshi moslikni topish uchun optimallashtirish modellari yechish orqali amalga oshiriladi. Dekompozitsiyaga doimiy mavsumiy effektlarni ham kiritish mumkin. Opt-ARIMA deb nomlangan asosiy optimallashtirish modeli mavsumiy ta'sirlar va AR hamda MA hadlari soniga cheklavlarga hamda oq shovqinni tavsiflash uchun cheklavlarga rioya qilgan holda, taklif etilgan dekompozitsiyaga asoslangan moslashuv bilan namunadagi me'yoriy xatoliklarni minimallashtirishga intiladi. Oq shovqin baholovchisi Opt-ARIMA da matematik dasturda tegishli cheklavlarni qanoatlantiruvchi qaror o'zgaruvchilari vektori sifatidagi elementar rol, aposteriori aniqlangan qoldiqlar massivi sifatidagi an'anaviy ko'rinishdan farqli o'laroq. Bu vektor o'z navbatida MA koeffitsiyentlarini aniqlash uchun statsionar etalon signal bo'lib xizmat qiladi. Erkin variatsiya optimallashtirish modellari tomonidan filtrlangan ichki oq shovqinni aniq aks ettiradigan maxsus holat ARIMA modeliga mos keladi, unda qoldiqlar vektori qarama-qarshi belgili oq shovqin vektorlarining yig'indisidan iborat va shuning uchun shovqinni bekor qiladigan model. Konstruksiya ko'ra, Opt-ARIMA o'zi aniqlagan har qanday ARIMA modelida shovqinni bekor qilish darajasini va qoldiq vektorning oq shovqinga yaqinligini maksimal darajada oshirishga intiladi.

ARIMA modellari qavariq bo'lmagan ikki chiziqli funksiyalarni, ya'ni berilgan vaqt qatoriga mos keladigan uzluksiz o'zgaruvchilar ko'paytmalarining karralilarini o'z ichiga oladi. Ushbu atamalar to'g'ridan-to'g'ri matematik dasturlash ta'rifi kiritish, hatto eng zamonaviy global optimallashtirish yechimlari uchun ham jiddiy hisoblash muammolarini keltirib chiqaradi. Biroq, oq shovqinni baholash uchun veyvletlardan foydalanish bizga faqat aralash butun sonli chiziqli cheklavlardan foydalangan holda Opt-ARIMA ni shakllantirish imkonini beradi. Veyvletlar vaqt qatorlari va boshqa signallarni vaqt-chastotaviy tahlil qilish metodologiyasining markazida bo'lgan va signallarni tahlil qilish va sintez qilish uchun foydali vositalar bo'lgan

asosiy funksiyalardir. Vaqt sohasida oq shovqin xalaqit signaliga yaqinlashishni mustaqil va bir xil binomial taqsimlangan koeffitsiyentli veyvlet yoyilma sifatida sintez qilishimiz mumkinligini isbotlaymiz. So'ngra bu koeffitsiyentlarni xarakterlovchi deterministik tenglamani hosil qilamiz, uni ikkilik o'zgaruvchilar orqali ifodalash mumkin. Muqobil ravishda, biz Opt-ARIMA (fw) deb nomlangan soddalashtirilgan va osonroq yechiladigan modelni shakllantirishimiz mumkin, bu yerda "fw" oq shovqinga yaqinlashadigan o'zgarma vektorni olish orqali o'zgarma oq shovqinni baholashni ko'rsatadi. Buni bizni qiziqtirgan vaqt qatoriga veyvlet almashtirishni qo'llash orqali amalga oshiramiz, bu esa ketma-ket korrelyatsiyani sezilarli darajada kamaytiradi. Opt-ARIMA yoki Opt-ARIMA (fw) yechimi ARIMA yoki ARIMAGA o'xshash modelni keltirib chiqaradi, bu esa oldindan bashorat qilish uchun vaqt qatorining vaqt gorizontidan keyingi bir davrni baholashi mumkin. Adabiyotlarda bir-biri bilan bog'liq tadqiqot oqimlari mavjud bo'lsa-da, bu yerda o'rganilgan aniq muammo ilgari ko'rib chiqilmagan. Bizning ishimiz vaqt qatorlari tahlili va prognozlash natijalarining aniqligini oshirish imkoniyatiga ega. Biz matematik dasturlash va vaqt qatorining dekompozitsiyasiga yoyilmasiga asoslangan yangi, ARIMAGA o'xshash prognozlash yondashuvini ishlab chiqamiz, bu esa MA atamalarini sifatida oq shovqin va erkin o'zgarishni o'z ichiga oladi, MA atamalarining aniqligini oshirish imkoniyatiga ega bo'lgan signal, erkin o'zgarishning aniq baholanishi esa "vaqt qatorini stasionarlashtirish" uchun qo'llaniladigan nochiqli o'zgartirishlarga muqobil variantni taklif etadi.

2. Oq shovqin va to'liqlar

O'rta nola va chekli dispersiya bilan bir xil taqsimlangan mustaqil tasodifiy miqdorlar ketma-ketligi oq shovqin jarayonini o'z ichiga oladi, bu taqsimot normal bo'lsa Gauss taqsimoti deb ataladi. Oq shovqin jarayonidagi tasodifiy kattaliklar o'zaro bog'liq bo'lmaganligi sababli ketma-ket korrelyatsiyalanmaydi, ya'ni avtokorrelyatsiyalanadi. ARIMA modelashtirishda foydalanish uchun taxminiy Gauss oq shovqin signalini sintez qilish uchun ushbu bo'limda veyvletlardan foydalanamiz. Veyvletlar kvadrati bilan integrallanuvchi funksiyalar uchun ortogonal asoslarni tashkil etuvchi funksiyalar bo'lib, Fyurje tahlilining klassik usullarini to'ldiruvchi chastotali tahlil uchun asosni ta'minlaydi [1]. "Veyvlet funksiyalar vaqt va chastota bo'yicha lokallashtirish" bo'lib, vaqt sohasida signallarni tahlil va sintez qilish uchun foydalidir. Mos xususiyatlarga ega bo'lgan "ona veyvlet" funksiya ψ berilgan bo'lsa, veyvlet funksiyalarning bazasi quyidagicha qurilishi mumkin

$$\psi_{m,b}(t) = 2^{-m/2} \psi(2^m t - b); m, b \in \mathbb{Z}, t \in \mathbb{R}. \quad (1)$$

Bu yerda $t \in \{1, \dots, 2^n\}$, m masshtab yoki kengayish, k translyatsiya deb ataladi. Biz

$Q_i = \{(t, m, b) : 1 \leq t \leq 2^n, 0 \leq m \leq n-1; 0 \leq b \leq 2^m - 1, 2^m t - b = i\}$ ni shunday indekslar to'plami sifatida aniqlaymizki, (1) da ona veyvlet funksiyaning argumenti $i \in \{1, \dots, 2^n\}$ qiymatini qabul qiladi.

Ushbu to'plamlar bo'yicha yig'indilarni ko'rib chiqamiz, bunda quyidagi natija foydali bo'ladi.

Lemma. Har qanday $i \in \{1, \dots, 2^n\}$ uchun $|Q_i| = n$, ya'ni $|Q_i|$ to'plamida n ta element mavjud. Ixtiyoriy $i \in \{1, \dots, 2^n\}$ uchun $X_{t,m,b} \in \{\pm \lambda_0\}$ tasodifiy miqdorni qarab chiqamiz, bu yerda $m \in \{0, \dots, n-1\}$, $b \in \{0, \dots, 2^m - 1\}$. $X_{t,m,b}$ tasodifiy miqdorlar bog'liqsiz va bir xil taqsimlangan hamda $P(X_{t,m,b} = \lambda_0) = P(X_{t,m,b} = -\lambda_0) = \frac{1}{2}$ deb faraz qilamiz. Endi quyidagi tasodifiy miqdorni aniqlaymiz

$$V_{i,n} = \sum_{(t,m,b) \in Q_i} X_{t,m,b} \psi(2^m t - b) = \sum_{(t,m,b) \in Q_i} 2^{\frac{m}{2}} X_{t,m,b} \psi_{m,b}(t), \quad \forall i \in \{1, \dots, 2^n\}$$

Har bir $i \in \{1, \dots, 2^n\}$ uchun $n \rightarrow \infty$ da $\left[\frac{1}{\sqrt{n}} V_{i,n}\right]_{n=1}^{\infty}$ tasodifiy miqdorlar ketma-ketligi o'rta qiymati 0 va dispersiyasi $[\psi(i)]^2 \lambda_0^2$ bo'lgan normal taqsimotga yaqinlashadi va $[V_{i,n}]_{n=1}^{\infty}$ to'plamdagi tasodifiy miqdorlar vaqt sohasida erkli bo'ladi. Tasodifiy miqdorning matematik kutilmasi

$$E[X_{i,m,b}] = \frac{\lambda_0}{2} - \frac{\lambda_0}{2} = 0$$

va dispersiya quyidagich

$$\text{Var}[X_{i,m,b}] = E[X_{i,m,b}^2] - (E[X_{i,m,b}])^2 = (\lambda_0^2 / 2 + \lambda_0^2 / 2) - 0 = \lambda_0^2$$

Vaqt qatorining umumiy modeli

$$X(t) = F(t) + \varepsilon(t), t = 1, 2, 3 \dots N$$

Bu yerda: $X(t)$ – kuzatilgan signal, $F(t)$ – asosiy qism, $\varepsilon(t)$ – tasodifiy xatolik va u oq shovqin tashkil qiladi, $\varepsilon(t) \sim WN(0, \sigma^2)$.

Veyvlet funksiyasi orqali shovqinni quyidagicha ajratiladi:

$$X(t) \xrightarrow{DWT} \{A_j(t), D_j(t)\}, j = 1, 2, 3 \dots J$$

$A_j(t)$ – Approksimatsiya koeffitsienti – foydali signalning past chastotali komponentalari.

$D_j(t)$ – Detal koeffitsiyenti – yuqori chastotali komponentalar, ya'ni shovqinga to'g'ri keladi.

Saralash orqali shovqinni silliqlaymiz:

$$\tilde{D}_j(t) = \text{sign}(D_j(t) * \max(|D_j(t)| - \lambda, 0))$$

Bu yerda λ – saralash qiymati $\lambda = \sigma \sqrt{2 \log N}$

Tozalangan signal $\tilde{F}_t$ uchun ARIMA(p, d, q) modeli quyidagicha yoziladi:

$$\phi(B)(1-B)^d \tilde{F}(t) = \theta(B)\eta(t)$$

Bu yerda: B – siljitish operatori, d – 1-tartibli farqlash, $\phi(B)$ – avtoregressiya operatori, $\theta(B)$ – siljishdagi o'rta qiymat operatori, $\eta(t)$ – oq shovqin operatori.

Yuqoridan moslashtirilgan model quyidagi ko'rinishda olib kelinadi:



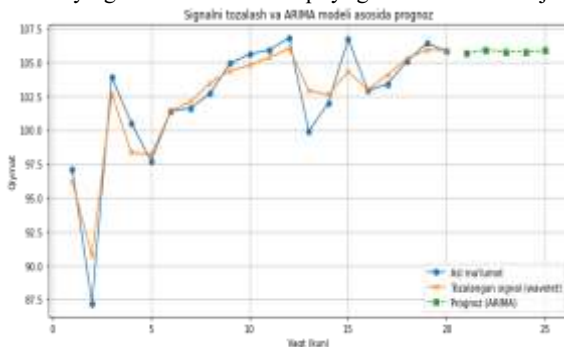
$$(1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2)(1 - B)\tilde{F}(t) = (1 + \theta_1 B)\eta(t)$$

3. Sonli yechim

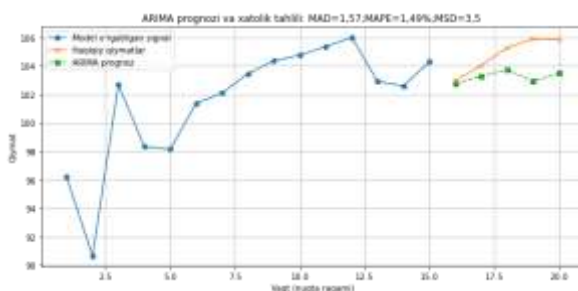
Pastdagi jadvalda 20 haftada qurilish ishida olingan ma'lumotlar (<https://stat.uz/uz/rasmiy-statistika/construction-2>) asosida yuqoridagi formulalardan foydalangan holda sonli yechimni qaraymiz va analiz qilinadi.

1	97,1
2	87,2
3	103,9
4	100,5
5	97,7
6	101,4
7	101,6
8	102,7
9	104,9
10	105,6
11	105,9
12	106,8
13	99,9
14	102
15	106,7
16	102,9
17	103,4
18	105,1
19	106,4
20	105,8

Biz python dan foydalangan holda quyidagi natijalarni olamiz. Grafikda ko'k chiziq shovqinli o'lchovlar, chiziq veyvlet funksiyasi yordamida silliqlangan chiziqlar, yashil esa keying 3 hafta uchun qo'yilgan bashorat natijasi.



Grafikdan qurilish ishlari hajmining o'sish sur'atlarining o'zgarish tendensiyasini kuzatishimiz mumkin. Grafikni yaxlit olib qaraydigan bo'lsak, u bir necha qismlarga bo'linganini ko'rish mumkin.



Vizual tahlilga ko'ra, dastlab hajm pasayish tendensiyasiga ega, keyin ikkinchi oydan boshlab o'sish boshlanadi. 6 oydan 12 oygacha o'sish kuzatiladi. 12 oydan 16 oygacha o'sish o'zgarib turadi va 16 haftadan 19 haftagacha yana o'sish kuzatiladi. Umuman olganda, aytish mumkinki, qurilish ishlari hajmi o'sish tendensiyasiga ega. Demak, trend mavjud. Shuningdek, grafikdan ma'lumotlarning mavsumiyligi va davriyligi yo'qligi haqida xulosa qilishimiz mumkin.

Asl signal statistikasi:

- N = 20
- Min = 87.20
- Max = 106.80
- O'rtacha = 102.38
- Dispersiya = 20.94
- Qiyshayish (Skewness) = -1.90
- Cho'qqilik (Kurtosis) = 4.05

Tozalangan signal statistikasi:

- N = 20
- Min = 90.69
- Max = 106.01
- O'rtacha = 102.37
- Dispersiya = 14.91
- Qiyshayish (Skewness) = -1.64
- Cho'qqilik (Kurtosis) = 2.32

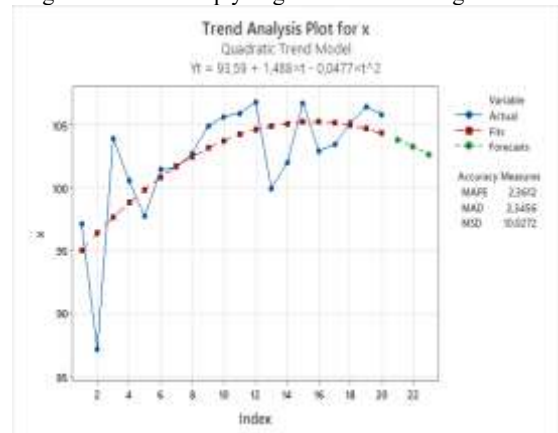
Prognoz (ARIMA) statistikasi:

- N = 5
- Min = 105.68
- Max = 105.92
- O'rtacha = 105.80
- Dispersiya = 0.01
- Qiyshayish (Skewness) = 0.00
- Cho'qqilik (Kurtosis) = -1.30

Vaqt qatori uchun modellarning har biri bo'yicha hisob-kitoblarni amalga oshirib, eng yaxshi modelni tanlash uchun hisob-kitob ma'lumotlarini jadvalda taqdim etamiz.

Model turlari	MSD
Chiziqli model	12,0239
Kvadratik model	10,0272
Eksponensial model	12,1400
Logarifmik model S – egri chiziqli	10,2338

Kvadratik model mavjud ma'lumotlarni eng aniq tavsiflaydi, chunki bu modelda o'rtacha kvadratik og'ish (MSD) eng kichik. Ushbu vaqt qatorini tavsiflovchi trend tenglamalari quyidagi ko'rinishga ega:



$$Y_t = 93,59 + 1,488 \times t - 0,0477 \times t^2$$

Keyingi 3 hafta uchun prognoz quyidagicha:

Period	Forecast
21	104,51
22	104,75
23	104,61

4. Natija

Ushbu ishda qurilish ishlari hajmining oylik o'sish sur'atining vaqtga bog'liqligini o'rgandik. Dastlab, O'zbekiston Respublikasida qurilish ishlarining o'sish sur'atlari bo'yicha asosiy statistik ma'lumotlarni aniqladik. Keyin hajmning vaqtga bog'liqlik grafigi tuzildi, uning asosida trend mavjudligi to'g'risida dastlabki xulosa chiqarildi. So'ngra trendning chiziqli, kvadratik (parabolik), logistik va eksponensial o'sish modellari tahlil qilindi va taqqoslandi. Har bir model uchun xatoliklar aniqlandi va shu asosda parabolik model tanlandi. Ko'rinib turibdiki olingan xatoliklarni hisobga olganda biz taklif qilgan ARIMA modeli oddiy modeldan optimallashtirish va xatoliklar yetarli darajada bartaraf qilingan. Ushbu modelni

EEG signalni shovqindan tozalash;
Rasmlardagi shovqinni kamaytirish;
Seismik signallarni filtrlash;
Kompressiyadan oldingi signal optimallashtirish;
Masalarida ham qo'llash taklif qilinadi.

Foydalanilgan adabiyotlar/ References

- [1] Liu Z.Z., Kulperger R., Yu H. (2016) The Doubly Adaptive LASSO for Vector Autoregressive Models. In: Li W., Stanford D., Yu H. (eds) *Advances in Time Series Methods and Applications*. Fields Institute Communications, vol 78. Springer, New York, NY. Griffin Jr. A. C., "Cotton Ginners' Handbook", Agricultural Handbook No. 503. Washington, D.C.: USDA, 1997.
- [2] Khandelwal, I., Adhikari, R., Verma, G., 2015. ANN Models based on DWT Decomposition. *Procedia Comput. Sci.* 48, 173–179.
- [3] Salles, R., Belloze, K., Porto, F., Gonzalez, P.H., Ogasawara, E., 2019. Nonstationary time series transformation methods: An experimental review. *ISSN 0950-7051 Knowl.-Based Syst.* 164, 274–291.
- [4] Gilbert, K., 2005. An ARIMA supply chain model. *Manag. Sci.* 51 (2), 305–310.
- [5] Miller, A. (2002) *Subset Selection in Regression*. Chapman and Hall/CRC; 2 nd ed. Nason, G.P., Savchev, D., 2014. White noise testing using wavelets. *Stat* 3 (1), 351–362.
- [6] Bergmeir, Christoph, Benítez, Jos'e M., 2012. On the use of cross-validation for time series predictor evaluation. *Inf. Sci.* 191, 192–213.

Информация об авторах/ Information about the authors

Sharipova Lola Tashkent Davlat Transport Universiteti, O'zbekiston
E-mail: lolaxonr@gmail.com

Raufov Humoyun Tashkent Davlat Transport Universiteti, O'zbekiston
E-mail: humoyunraufov3334@gmail.com

Instantaneous axis of helical motion of a rigid body

M.Z. Sadulaeva¹, J.S. Abdinabiev², S.S. Turdiev¹

¹Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

²National Research University "TIAME", Uzbekistan

Abstract: This study investigates the state of the instantaneous screw axis (ISA) during the motion of a rigid body. It also introduces a method for altering the representation of rigid body motion. The paper demonstrates how translational and rotational motion parameters of a rigid body can be expressed as functions of the invariants of instantaneous screw motion (ISM). By using these invariants, a more generalized and compact formulation of rigid body motion is achieved. The approach helps to describe complex motion behaviors with greater clarity and mathematical efficiency. This framework is applicable to a wide range of mechanical and robotic systems, offering improved insight into motion analysis and control through ISM-based modeling techniques.

Keywords: Instantaneous screw axis, invariant description of motion, inverse problem

Мгновенная ось винтового движения твердого тела

Садуллаева М.З.¹, Абдинабиев Ж.С.², Турдиев С.С.¹

¹Тошкентский государственный университет транспорта, Тошкент,

²Национальный исследовательский университет «ТИАМЭ», Узбекистан

Аннотация: В данной работе исследуется состояние мгновенной оси винта (ISA) во время движения жесткого тела. Также вводится метод изменения представления движения жесткого тела. В работе показано, как параметры поступательного и вращательного движения жесткого тела могут быть выражены как функции инвариантов мгновенного винтового движения (ISM). Использование этих инвариантов позволяет получить более обобщенную и компактную формулировку движения жесткого тела. Этот подход помогает описать сложное поведение движения с большей ясностью и математической эффективностью. Этот подход применим к широкому кругу механических и роботизированных систем, предлагая более глубокое понимание анализа движения и управления с помощью методов моделирования на основе ISM.

Ключевые слова: Мгновенная ось винта, инвариантное описание движения, обратная задача

1. Введение

В отличие от традиционного представления движения в терминах не связанных друг с другом перевода и вращения, Гулио Моцци в 1763 году доказал, что любое общее движение твердого тела может быть описано мгновенной винтовой осью (ISA) [1,2]. Одним из применений концепции ISM в кинематике жесткого тела является инвариантное описание движения жесткого тела, представленное Дж. Шуттером [3]. Дж. Анджелес описал автоматическое вычисление винтовых параметров движения жесткого тела как для конечного, так и для бесконечно удаленного положения [5,6]. Глубокое исследование винтового исчисления и его приложений в механике в терминах векторного анализа представлено в работе [7].

В данной работе состояние ISA будет определяться как функции инвариантов. Кроме того, будет рассмотрена проблема перехода между двумя различными методами определения движения жесткого тела.

2. Обратная задача

Движение жесткого тела может быть описано с помощью шести независимых инвариантов мгновенного винтового движения (ISM) [3]. Выражения для этих шести инвариантов (i_{1-6}) получаются в следующем виде [3]:

$$\begin{aligned} i_1 &= f_1(\omega), i_2 = f_2(\omega, v), i_3 = f_3(\omega, \dot{\omega}), \\ i_4 &= f_4(\omega, \dot{\omega}, v, \dot{v}), i_5 = f_5(\omega, \dot{\omega}, \ddot{\omega}), \\ i_6 &= f_6(\omega, \dot{\omega}, \ddot{\omega}, v, \dot{v}, \ddot{v}), \end{aligned} \quad (2.1)$$

где ω и v - векторы угловой и поступательной скоростей соответственно.

В этом разделе будет рассмотрена обратная задача перехода от инвариантного описания к традиционному описанию движения твердого тела. Традиционные параметры можно записать как функции инвариантов. В зависимости от точки отсчета векторы скорости могут

быть найдены из следующих уравнений:

$$\omega = i_1 \cdot e_x,$$

$$v = i_2 \cdot e_x + p \times (i_1 \cdot e_x),$$

где e_x - единичный вектор, p - вектор, начинающийся из опорной точки и перпендикулярный ISA. Радиус-вектор и угловой вектор будут вычислены с помощью

$$r(t) = \int_{t_0}^t v(t) dt = \int_{t_0}^t i_1(t) \cdot e_x(t) dt,$$

$$\theta(t) = \int_{t_0}^t \omega(t) dt = \int_{t_0}^t [i_2(t) \cdot e_x(t) + p(t) \times (i_1(t) \cdot e_x(t))] dt. \quad (2.2)$$

Переменные в функциях управления могут быть выражены как функции инвариантов с помощью уравнений (2.2), и тогда функция управления будет функцией инвариантов.

3. Движение ISA

Положение ISA можно определить по положению точки, находящейся на ISA, и вектору e_x . Без потери общности была выбрана центральная точка о (см. рис. 1), и ее движение будет рассмотрено ниже. Если положение жесткого тела, углы Эйлера и векторы скоростей определяются как

$$\xi = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}, \eta = \begin{bmatrix} \phi \\ \theta \\ \psi \end{bmatrix}, \dot{\xi} = v = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{bmatrix},$$

$$\omega = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -\sin\theta \\ 0 & \cos\phi & \cos\theta\sin\phi \\ 0 & -\sin\phi & \cos\theta\cos\phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix},$$

где x, y, z - координаты опорной точки жесткого тела.

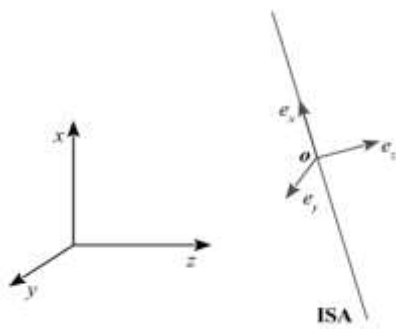


Рис. 1. ISA в декартовой системе координат

Тогда единичные векторы e_x и e_y будут определены следующим образом:

$$e_x = \frac{\omega}{\|\omega\|} = \begin{bmatrix} \frac{(\dot{\phi} - \dot{\psi}\sin\theta)}{\gamma} \\ \frac{(\dot{\theta}\cos\phi + \dot{\psi}\cos\theta\sin\phi)}{\gamma} \\ \frac{(\dot{\psi}\cos\theta\cos\phi - \dot{\theta}\sin\phi)}{\gamma} \end{bmatrix},$$

$$e_y = \frac{\omega \times \dot{\omega}}{\|\omega \times \dot{\omega}\|}, \quad (3.1)$$

Где

$$\gamma = \|\omega\| = \sqrt{\dot{\phi}^2 + \dot{\theta}^2 + \dot{\psi}^2 - 2\dot{\phi}\dot{\psi}\sin\theta},$$

$$\dot{\omega} = [\dot{\omega}_x \quad \dot{\omega}_y \quad \dot{\omega}_z]^T, \quad (3.2)$$

$$\omega_x = \ddot{\phi} - \ddot{\psi}\sin\theta - \dot{\psi}\dot{\theta}\cos\theta,$$

$$\omega_y = \ddot{\theta}\cos\phi - \ddot{\phi}\dot{\theta}\sin\phi + \ddot{\psi}\cos\theta\sin\phi - \dot{\psi}\dot{\theta}\sin\theta\sin\phi + \dot{\phi}\dot{\psi}\cos\theta\cos\phi,$$

$$\omega_z = \ddot{\psi}\cos\theta\cos\phi - \ddot{\psi}\dot{\theta}\sin\theta\cos\phi - \dot{\psi}\dot{\phi}\cos\theta\sin\phi - \dot{\theta}\sin\phi - \dot{\phi}\cos\phi.$$

Положение центральной точки о можно определить через ζ :

$$\zeta = [\hat{x} \quad \hat{y} \quad \hat{z}]^T \quad (3.3)$$

где $\hat{x}, \hat{y}, \hat{z}$ - координаты о.

Вектор скорости о состоит из двух составляющих скоростей: одна направлена вдоль e_x и ее значение равно i_6 (6-й инвариант), а другая - вдоль e_y и ее значение равно i_4 (4-й инвариант). Таким образом, для движения о можно записать следующее выражение:

$$\zeta = i_6 \cdot e_x + i_4 \cdot e_y, \quad (3.4)$$

где

$$i_4 = e_y \cdot \dot{p},$$

$$i_6 = e_x \cdot \dot{p} - \frac{d}{dt} \frac{(e_x \times e_y) \cdot \dot{p} \cdot \|\omega\|^2}{\|\omega \times \dot{\omega}\|}. \quad (3.5)$$

Уравнение (3.4) - это уравнение движения центральной точки о. Уравнения (3.1) и (3.4) достаточны для определения движения ISA. Теперь ниже рассматриваются выражения i_4 и i_6 как функции управляющих параметров. Согласно второму закону Ньютона

$$m\ddot{r} = F, \quad I\ddot{\theta} = \tau, \quad (3.6)$$

Где F - полная сила, τ - полный момент, m - масса твердого тела, I - матрица инерции. Известно, что

$$F = \frac{dP}{dt}, \quad \tau = \frac{dL}{dt}, \quad (3.7)$$

где P и L - линейный и угловой моменты соответственно.

Уравнения (3.5) приобретают вид

$$i_4 = \mathbf{e}_y \cdot \dot{\mathbf{p}} = \frac{(\hat{\mathbf{L}} \times \hat{\mathbf{r}}) \cdot (\hat{\mathbf{r}} \times \mathbf{P} + \hat{\mathbf{L}} \times \mathbf{F}) \|\hat{\mathbf{L}}\|^2 - 2(\hat{\mathbf{L}} \times \mathbf{P}) \cdot (\hat{\mathbf{L}} \cdot \hat{\mathbf{r}})}{m \|\hat{\mathbf{L}}\|^4},$$

$$i_6 = \frac{\hat{\mathbf{L}} \cdot (\hat{\mathbf{r}} \times \mathbf{P})}{m \|\hat{\mathbf{L}}\|^2} - \frac{d}{dt} \left[\frac{(\hat{\mathbf{L}} \times (\hat{\mathbf{L}} \times \hat{\mathbf{r}})) \cdot (\hat{\mathbf{r}} \times \mathbf{P} + \hat{\mathbf{L}} \times \mathbf{F}) \|\hat{\mathbf{L}}\|^2 - 2(\hat{\mathbf{L}} \times \mathbf{P}) \cdot (\hat{\mathbf{L}} \cdot \hat{\mathbf{r}})}{m \|\hat{\mathbf{L}}\|^3} \right],$$

Где $\hat{\mathbf{L}} = \mathbf{I}^{-1} \mathbf{L}$, $\hat{\mathbf{r}} = \mathbf{I}^{-1} \mathbf{r}$. Если жестким телом является квадрокоптер, то матрица инерции может быть записана как

$$\mathbf{I} = \begin{bmatrix} I_x & 0 & 0 \\ 0 & I_y & 0 \\ 0 & 0 & I_z \end{bmatrix}.$$

3. Заключение

В данном исследовании был проведен тщательный анализ движения мгновенной оси винта (ISA) при движении жесткого тела и успешно получены соответствующие уравнения движения. Значительное внимание было уделено формулировке векторов скорости в терминах инвариантов, связанных с мгновенным движением винта (ISM). Взаимосвязи для векторов положения и скорости были получены аналитическим путем, что позволило создать четкую математическую основу для описания движения жесткого тела с использованием принципов ISM. Также было показано, что состояние ISA зависит от 4-го и 6-го инвариантов.

Полученные результаты показывают, что векторы положения и скорости жесткого тела могут быть представлены в явном виде через первый и второй инварианты ISM, что упрощает анализ и улучшает физическое понимание движения. Кроме того, выяснилось, что динамическое состояние и ориентация ISA определяются в основном четвертым и шестым инвариантами. Это позволяет глубже понять роль, которую играют эти инварианты в общей характеристике движения системы. Представленные результаты способствуют разработке более обобщенного и эффективного метода моделирования и анализа движения жесткого тела, особенно в системах, включающих сложные механические взаимодействия или требующих высокой точности, таких как робототехника, биомеханика и аэрокосмические механизмы.

Использованная литература / References

- [1] Mozzi, G., "Discorso Matematico sopra il Rotamento Momentaneo dei Corpi," Stamperia del Donato Campo, Napoli, 1763.
- [2] Ceccarelli, M., 1995, "Screw Axis Defined by Giulio Mozzi in 1763," Ninth World Congress IFToMM, Milano, Italy, pp. 3187–3190.
- [3] Joris De Schutter, "Invariant description of rigid body motion trajectories", Journal of Mechanisms and Robotics, 2010.
- [4] A. P. Markeev, "Theoretical Mechanics (Teoreticheskaya mekhanika)" (in Russian), Moskva Nauka 1990, pp. 63-69.

[5] Jorge Angeles, "Automatic Computation of the Screw Parameters of Rigid-Body Motions. Part I: Finitely-Separated Positions", Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, 1986, Vol. 108, pp. 32-38.

[6] Jorge Angeles, "Automatic Computation of the Screw Parameters of Rigid-Body Motions. Part II: Infinitesimally-Separated Positions", Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, 1986, Vol. 108, pp. 39-43.

[7] F. M. Dimentberg, "The screw calculus and its applications in mechanics", Moskva Nauka 1965.

Информация об авторах / Information about the authors

М.З. Садуллаева	Доцент кафедры высшей математики, Ташкентский государственный транспортный университет, Узбекистан E-mail: mavjuda1975m@mail.ru https://orcid.org/0000-0002-6999-3472
Ж.С. Абдинабиев	Кафедра механики и компьютерного моделирования, Национальный исследовательский университет «ТИАМЭ», Узбекистан E-mail: jasur.nuuz@gmail.com https://orcid.org/0000-0002-3708-9614
С.С. Турдиев	Ассистент кафедры высшей математики, Ташкентский государственный транспортный университет, Узбекистан E-mail: s.turdiyev@alumni.nsu.ru https://orcid.org/0000-0003-3599-1716

Method for determining the optimal length of the transition part of a railway track plan

A. Artikbaev¹, M.Y. Ergashaliev¹

¹Tashkent State University of Transport, Tashkent, Uzbekistan

Annotation: On a curved section of a railway track, to smooth out the turn, a curve is considered whose curvature can be equal to the curvature of a circle, and a smooth transition is formed in an optimal way.
Key words: The transition part of the railway track, Optimal choice, has a curvature, circle, clothoid, function.

Метод определения оптимальной длины переходной части плана железнодорожной пути

Артикбаев А.¹, Эргашалиев М.Й.¹

¹Тошкентский государственный университет транспорта, Ташкент, Узбекистан

Аннотация: На изогнутом участке железнодорожного пути, для сглаживания поворота, рассматривается кривая, кривизна которой может быть равна кривизне окружности, и формируется плавный переход оптимальным способом.
Ключевые слова: Переходной часть, железнодорожной пути, Оптимальный выбор, имеет кривизну, окружности, клотоида, функция.

1. Введение

Известно [1],[4], что переходная часть плана железнодорожной пути, служит для обеспечения плавного перехода состава от прямой к дуге окружности. Это явление можно описать математический в следующем виде:

Естественно, прямая часть имеет нулевую кривизну. Дуга окружности имеет кривизну, $k = \frac{1}{R}$ - где R - радиус кривой части плана железнодорожной пути.

2. Постановка задачи

Это явление можно описать математический в следующем виде:

Переходная часть если его обозначаем через $\gamma(s)$ - такая кривая, чтобы его кривизна менялась от 0 до $\frac{1}{R}$ - таким образом, чтобы переход по этой части предоставлено техническим требованиям, предъявляемой для обеспечения комфортабельности движения по этому пути [2]. Математическое описание требований предъявляемой к переходной части.

Для выяснения всех требований предъявляемой к переходной части плана железнодорожной пути, выбираем специальную декартовую систему координат.

Для этого считаем состав движется по прямой l_1 и должен вращается в направлении прямой l_2 . Примем прямые l_1 и l_2 при пересечение образуют угла α . Ось абсцисс Ox выбираем так чтобы отрицательная часть оси

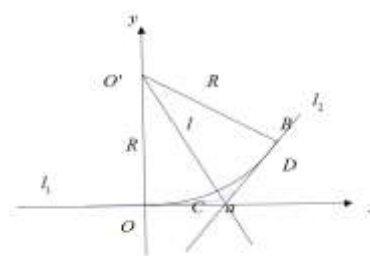
совпадало с лучом прямой l_1 начало луча была в начале координат $O(0,0)$. Ось ординат Oy перпендикулярна к прямой l_1 и его положительное направление соответствовало в сторону поворота. Прямая, график которого соответствует cl_2 , с осью Ox пересекается в точке $(a, 0)$. Тогда эти прямые соответственно имеют уравнения:

$$l_1: y = 0, l_2: y = tg(\alpha)x - atg(\alpha)$$

Окружность радиусом R и касающаяся обоим прямым l_1 и l_2 , имеет следующую уравнению,

$$\begin{cases} x = R \cos \varphi \\ y = R + R \sin \varphi \end{cases} \quad (1)$$

Обозначаем через B - точку касания окружности с прямой l_2 . Относительно прямой l - проходящей через точки $(0, R)$ и $(a, 0)$, точки касания окружности с прямыми l_1 и l_2 будет симметричными. Хорда OB - окружности будет перпендикулярной kl .



3. Выбор дуги кривой линии

Надо отметить, дуга окружности в целом $\widehat{OB}$ - не может быть кривой частью плана железнодорожной пути. Потому что в точках O и B кривизна кривой резко меняется от 0 до $\frac{1}{R}$.

Поэтому надо выбирать кривую $\gamma(s)$ - кривизна которого отвечала к требованиям переходной части.

Пусть дуга OC заданная уравнением $y = f(x)$ - кривая отвечающая требованиям переходной части. Соответственно, кривая BD - определяется симметрично относительно прямой l_2 и будет переходной частью второго конца кривой части плана железнодорожной пути.

Оптимальный выбор длины переходной части.

Предположим кривая OC - отвечающая всем требованиям переходной части, кривой пути задана уравнением $y = f(x)$ $x \in [0, x_0]$ где x_0 - координата проекции условной точки $C(x_0, f(x_0))$

Причем в точке $x = x_0$ кривая имеет кривизну равную $k_0 = \frac{1}{R}$.

Так как при $0 < x < x_0$ - кривая $f(x)$ имеет кривизну $k(x) < \frac{1}{R}$, то кривая OC должна иметь ординату $y = f(x)$ - меньше, чем ордината дуги $\widehat{OB}$ - окружности (1).

Кривизна кривой, заданной уравнением $y = f(x)$, вычисляется по формуле:

$$\frac{f''(x)}{(1 + f'^2(x))^{\frac{3}{2}}} = k(x)$$

Причем $k(0) = 0, k(x_0) = \frac{1}{R}$ (*).

Нахождение уравнению переходной части эквивалентно к решению дифференциального уравнения

$$f''(x) = k(x)(1 + f'^2(x))^{\frac{3}{2}} \quad (*)$$

Допустим, кривизна $k(x)$ переходной части, линейно зависит от длины дуги.

$$k(x) = m \cdot s + n$$

Из условий (*)-представлено переходной части получаем $m = 0$ и $n = \frac{1}{Rs_0}$ где

$$s_0 = \int_0^{x_0} \sqrt{1 + f'^2(t)} dt,$$

Очевидно, для решения уравнения (*) функция $f(x)$ - должен принадлежать классу $C^2(D)$ то есть являться дважды дифференцируемой функцией.

Переходная часть начинается из конца прямой части и заканчивается соединением дугу окружности с принятой R - радиусам.

Кривизна окружности постоянна и равна $\frac{1}{R}$. Следовательно, кривизна переходной кривая в конце должна иметь кривизну равную на $\frac{1}{R}$.

Это возможно только в том случае, когда связь окружность имеют радиус R в этой точке [3],[5].

Значит соприкасающаяся окружность кривой должен быть равным окружностью заданной уравнением (3).

Но сама окружность, заданной уравнением (1) - не может быть соприкасающаяся окружностью, потому что кривая, заданная уравнением $y = f(x)$ не может пересекаться с окружностью (2)

Потому что для пересечения кривой с окружностью его кривизна должен быть больше $\frac{1}{R}$. Тогда в точке пересечения получаем разрыв функции кривизны, то есть в этом случае общая кривая в точке пересечения имеют различные кривизны.

Следовательно, если окружность (1) перенесем параллельно, так чтобы она с переходной кривой имела общую касательную.

Тогда кривая состоящая из переходной части и дугой перенесенной окружности будет.

Искомой кривой отвечающая техника экономическим требованиям.

Пример определения длины переходной части.

Определение длины дуги переходной части рассмотрим для конкретно заданной кривой, когда переходная часть будет графиком клотоиды.

Пусть клотоида задана параметрическими уравнениями:

$$\begin{cases} x = \int_0^s \cos\left(\frac{t^2}{2}\right) dt, \\ y = \int_0^s \sin\left(\frac{t^2}{2}\right) dt. \end{cases} \quad (2)$$

где s - длина дуги кривой.

Воспользуемся векторным уравнением рассматриваемых кривых, клотоида (2) и окружности (1). Так как в точке перехода клотоида и соприкасающаяся окружность имеют общую касательную, то касательные к будут равны.

Тогда $\vec{R}_s = \vec{r}_s, |\vec{R}_s| = |\vec{r}_s|$ - из этого получаем:

$$\begin{cases} \cos \frac{s^2}{2A^2} - 1 = -R \sin s \\ \sin \frac{s^2}{2A^2} = R \cos s \end{cases} \quad (3)$$

После некоторых преобразований получаем:

$$\cos \frac{s^2}{2A^2} = \cos s$$

Отсюда.

$$s = \frac{s^2}{4A^2} + 2\pi n, n \in \mathbb{Z}$$

или

$$s^2 - 4A^2s + 8A^2\pi n = 0$$

Искомая длина переходной части должна удовлетворять этому квадратному уравнению.

Учитывая $A^2 = Rs$, получаем при $n = 1$:

$$s_1 = \frac{8\pi n R}{4R - 1}$$

4. Вывод

Значит, длина оптимальная длина переходной части определяется в зависимости от радиуса кривой дороги.

Использованная литература / References

- [1] Линчкова Елена Павловна, «Разработка математической модели трассы железнодорожного пути для реконструкции плана», Москва, (2016).
- [2] Wladyslaw Koc, “Smoothed transition curve for railways”, Transportation Overview-7(2019)
- [3] A.Artykbaev, M.M.Toshmatova, “Drawing up a road plan in difficult sections”, Vol1, Issue2,(2024)
- [4] A.Artykbaev, M.M.Toshmatova, “Geometric approach to define a railway plan model”, Bulletin of the Karaganda University. Mathematics Series, No. 3(115), 2024, pp. 26–33.

- [5] G.V.Velichko, P.I.Pospelov, “Analysis of the properties of new forms of transitional sections of railway and highway curves”, Materials Science and Engineering 1159(2021)012022.

Информация об авторах/ Information about the authors

Артикбаев А. Высшая математика, профессор Ташкентского государственного университета транспорта
e-mail: aartykbaev@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6228-8749>

Эргашалиев М.Й. Высшая математика, Базовый докторант(PHD)Ташкентского государственного университета транспорта, Узбекистан
e-mail: ergashaliyevm@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0007-4372-4657>

D. Allayorova, M. Ikramova <i>Study of siltation intensity of water reservoir</i>	4
Z. Yerkebayev, M. Aliev <i>Biological purification of drinking water using hydrobionts</i>	7
N. Khudaiberganova, A. Rizaev, G. Rikhsikhodzhaeva <i>Adsorption of benzene vapors in oil waste-based adsorbents</i>	10
U. Bahramov, Sh. Esanmurodov, N. Khakimova <i>Development of a quality management system for housing and communal services (HCS)</i>	13
A. Arifjanov, F. Babajanov, J. Donoboev <i>Feature of river flow in the riverbed</i>	16
J. Shukurov, S. Omandavlatov, O. Ochildiyev, O. Yunusov <i>Compositional analysis of treated wastewater at the Termez city wastewater treatment plant</i>	20
U. Bakhramov, U. Umarov, K. Kuvondikov <i>Improving the methods of alternative design of water supply and distribution systems</i>	23
D. Umarova, O. Musaev, U. Umarov, A. Rizaev, N. Hudayberganova <i>Setting the task of automating the method of designing the longitudinal profile of engineering networks</i>	26
K. Rakhimov, A. Rizaev, S. Sabirova <i>Change in energy in the interposition of flows</i>	30
A. Obidjonov, B. Kakharov, A. Babaev, U. Chorshanbiev <i>Open channel coating protection technology when saving water resources</i>	33
U. Umarov, F. Abduljalilov <i>Yangihayot district grunt (drainage) water seasonal analysis study</i>	36
U. Umarov, F. Abduljalilov <i>Study of natural purification of drainage water in unlined ditches</i>	39
K. Kuvondikov, N. Khudayberganova, G. Rikhsikhodjaeva, E. Khayrullaev <i>Methods of washing filters in wastewater systems and their effectiveness</i>	42
M. Ruzibaeva, U. Umarov, A. Rizaev, U. Bakhramov <i>Analysis on local redcurrant sand for water filter loading</i>	46



M. Ruzibaeva, U. Umarov, A. Rizaev, U. Bakhramov <i>Possibilities of using local raw material - black sand for water purification filters</i>	50
D. Allayarov, A. Arifjanov <i>Effects of climate change in uzbekistan on floods.....</i>	54
H. Kosimova, M. Abdukadirova <i>Rainwater harvesting and treatment technologies: efficiency and prospects in the context of Uzbekistan.....</i>	57
Sh. Abdukhalilova, E. Mukhtorov <i>Innovative technologies in the production of electricity through waste processing: International experience and perspectives</i>	60
Sh. Abdukhalilova <i>Modern equipment for ecology protection.....</i>	63
D. Atakulov, D. Zhumabaeva, K. Rakhimov <i>The use of advanced computational methods in reliable river flow prediction.....</i>	65
A. Obidjonov, A. Suvankulov, A. Babaev, U. Chorashanbiev <i>Assessment of hydraulic efficiency of inter-farm irrigation channels in the context of field research.....</i>	71
M. Musajonov, A. Ibadullaev, U. Chorashanbiev <i>Structural analysis of disperse systems and energy-efficient rheological modeling in hydrotransport processes</i>	74
R. Khalilova <i>Environmental education is the basis of environmental protection activities.....</i>	79
M. Muzaffarova <i>Influence of annual atmospheric precipitation on the potential for sand encroachment on roads.....</i>	83
Sh. Tadjibayev <i>Increasing the stability of the railway track surface using modern building materials.....</i>	87
Kh. Umarov, J. Kodirov, R. Choriev <i>Methodology for calculating the strength of balastless track design.....</i>	90
Sh. Normurodov, D. Lintang, Y. Usmonaliev, H. Normurodov <i>Assessment of the stability of the excavation tunnel and vertical movements of the earth's surface.....</i>	94

M. Miralimov, K. Urazov, K. Juraev

*Calculation of the walls of the Road Bridge Approach lift trailer to strength, located on the 165-km section of the M-39 Highway on the Syrdarya-Jizzakh line.....*99

F. Abdukodirov, T. Khasanov

*Application of modern computational methods in bridge support modeling: capabilities of the Lira-CAD software tool.....*102

D. Zokirov

*Technology of underwater laying of concrete mortar in the construction of bridge structure foundations.....*106

A. Adylkhodjaev, A. Babajanov

*Effectiveness assessment of monofunctional hardening accelerators in low-temperature curing concrete.....*109

A. Adilkhodzhaev, A. Baymurzaev

*Fiber concrete. Prospects for development and application.....*113

J. Jiemuratov

*High-strength fine-grained concrete based on natural zeolite.....*115

O. Mirzakhidova, K. Lesov, A. Uralov

*Organization and technology of manual laying of geosynthetic materials in technological "WINDOWS" without removing the rail grating.....*119

O. Mirzakhidova, K. Lesov, A. Uralov, M. Kenzhaliev

*Increasing the stability of the track in areas of rail joints through the use of geosynthetic reinforcing materials.....*124

Z. Kakharov, I. Purtseladze

*Leak detection methods on main pipelines.....*127

A. Abdujabarov, M. Mekhmonov

*Development of mobile structures to protect railway tracks from rockfall.....*130

A. Ilyasov, A. Nazibekov, B. Azirbaev

*Properties of geopolymer concrete using fly ash.....*133

R. Auezbaev, P. Lepesbaeva

*Production and application of ceramovermiculite materials based on layered vermiculite in Uzbekistan.....*136

D. Mirzajonov, E. Shipacheva

*Multifunctional residential complex as a new type of residential building.....*139



V. Soy, J. Turgaev, N. Takhirzhanov <i>Strength investigation of modified vermiculite concrete.....</i>	142
N. Mukhammadiev, M. Mukhammadrasulov, D. Tursinaliev <i>Flexible concrete (ECC) and its potential for sustainable construction in Uzbekistan</i>	145
S. Komilov <i>The main factors in determining optimal operating modes when compacting road foot grills with vibrating catocs.....</i>	148
S. Komilov <i>Method of detecting interaction paramaters between the physical model valet and grunt.....</i>	151
A. Abdusattarov, N. Ruzieva <i>Methodological approaches to the implementation of the calculation of shell pipelines beyond the limits of elasticity under cyclic loading.....</i>	154
G. Khalfin <i>Current trends and innovative solutions in the construction sector.....</i>	161
U. Akishev, K. Lesov <i>Comprehensive assessment of the probability and severity of accidents at the mines of Donskoy gok using the Kinney method.....</i>	164
G. Khalfin <i>The introduction of the latest technologies and devices in the field of railway transport conditions.....</i>	168
A. Islomov <i>The maintenance of rails is a minor factor contributing to the extension of the service life of the railway track.....</i>	171
A. Islomov <i>Impact of high-speed trains on the service life of the rails.....</i>	174
A. Abdujabarov, M. Khamidov, M. Mekhmonov <i>Study and mitigation measures for the effects of stresses and vibrodynamic forces on rails resulting from the movement of freight train wheels.....</i>	177
I. Hikmatova, F. Zokirov <i>Determination of the displacements of the conjugated ends of the span structures of bridge structures and recommendations for selecting modern designs of deformation joints.....</i>	182

U. Rakhmanova, Z. Mirzayeva, G. Ismailova, A. Abdusattorov

Equations of motion of a polymer pipeline interacting with the ground under seismic influences.....186

Z. Sattorov, N. Madraymov

Prospects for the use of ash and rock waste as a secondary resource in the energy industry.....189

Z. Sattorov, I. Ganiev

Improving the properties of high-strength fibrobetones with local mineral filler and complex chemical additive.....193

U. Abdullaev

Optimization of concrete mixture compositions with a superplasticizer additive as well as a binary microwave.....198

S. Yunusov, Sh. Mahmudova, M. Husainov, D. Muminov

Stress state analysis in belt drive systems and determination of their optimal operating modes.....202

Sh. Turdiev, U. Ziyamukhamedova

A literature review on the recycling of waste from medium-alloy high-speed steel using green technologies for the environmentally sustainable manufacturing of milling cutters.....207

M. Turakulov, N. Tursunov

Development and implementation of synthetic cast iron casting technology for the manufacture of a friction wedge.....212

M. Turakulov, N. Tursunov

Investigation of the conditions forming the operational characteristics of the friction wedge of the vibration damper.....215

H. Samandarov, J. Sobirov, A. Ibadullaev, E. Teshabaeva, N. Sipatdinov

Development of rubber compounds for machine-building purposes.....219

D. Khodzhikoriev, M. Khamrakulov, Z. Sayfullaeva, G. Khamrakulov

Classification characteristics of furniture products.....224

D. Khodzhikoriev, M. Khamrakulov, Z. Sayfullaeva, G. Khamrakulov

Commodity research of furniture products.....227



S. Negmatov, T. Ulmasov, N. Abed, V. Sergienko, S.

Bukharov, V. Tulyaganova, S. Bozorboev

Study of the influence of technological factors on the properties of acoustic composites containing natural fibers and targeted additives.....

231

N. Abed, M. Tukhtasheva, S. Negmatov, K. Negmatova,

Sh. Kasimov, J. Negmatov, A. Abdulazibdulakahorov,

I. Muradov, N. Ergashev

Compilation of analysis of tribotechnically modified composite polymer materials and their physicochemical, tribotechnical properties used in mechanical engineering.....

235

N. Abed, S. Negmatov, A. Grigoriev, S. Eminov,

V. Tulyaganova, B. Jabbarov, S. Bazarbayev, S. Shamsieva

Investigation of the triboelectrization process of composite polymer materials depending on the type and nature of polymers and fillers...

239

Z. Negmatov, A. Khursanov, K. Negmatova

Investigation of the physico-chemical properties and flotation ability of the developed experimental batches of composite chemical flotation reagents-foamers KHF-VS-B.....

243

D. Musabekov, K. Negmatova, D. Raupova, H. Rakhimov

Creation and development of a technological line for the production of composite chemical reagents-demulsifiers used in the technology of dehydration and desalination of petroleum emulsion.....

247

M. Ulugova, S. Negmatov, N. Talipov

Investigation of physico-chemical processes forming the structure of water-resistant composite materials based on modified gypsum binders.....

251

M. Kasimova, K. Negmatova

Research and development of effective dye composition formulations for use in the dyeing process of cotton fabric.....

255

B. Kodirov, S. Shaumarov, S. Kandahorov

Analysis of the technological properties of industrial waste-based structural gasobeton.....

259

B. Kodirov, S. Shaumarov, S. Kandahorov

Evaluation of spatial-structural properties and thermal technical indicators of autoclave-free aerated concrete produced from industrial waste.....

264

S. Negmatov, N. Erniezov, K. Negmatova, Zh. Negmatov, S. Saidkulov, G. Gulmurodova, Sh. Tursunov, G. Toshpulatova, T. Ibodullaev, D. Kholbozorova <i>Study of physicochemical properties and sorption capacity of developed composite sorbents KHR-OKS for use in the process of cyanidation and sorption.....</i>	270
Sh. Kasimov, O. Anorov, N. Shomurodov <i>Determination of the constructive sizes of cavitation mixers</i>	275
O. Anorov, F. Sultanova <i>Quadratic stochastic operators as operators describing Fisher's generalized model</i>	278
M. Toshmatova <i>Features the elevation of the outer rail in the curved part of the road</i>	280
B. Sipatdinova, D. Ibragimova <i>Innovative approaches to architectural design of youth centers in the era of information society.....</i>	283
R. Kendjaev, U. Shamsieva <i>Multivariate regression model for factors affecting natural gas production in the Republic of Uzbekistan</i>	285
Y. Islamov <i>The use of green infrastructure elements in urban planning: environmental and economic efficiency.....</i>	287
F. Yusupov, A. Eshkabilov <i>Complete dynamics of quadratic stochastic quasi non-Volterra operator</i>	290
F. Davletova, S. Tuichieva <i>Coefficients of the weighting optimal quadrature formula in the sobolev space.....</i>	293
R. Isanov, P. Samsokov <i>The problem of the removal of solid particles from the Earth's surface formed by the movement of a high-speed train.....</i>	296
Zh. Azimov, A. Turaev <i>Models of random processes with particle interaction.....</i>	298
A. Eshkabilov, A. Turaev <i>About some application of the Rademacher function</i>	301



D. Ibrohimova

*On the geometry of nodal sets of eigenfunctions of fractional powers of the laplace operator.....*305

A. Alimov, E. Aliev

*Leibniz algebras generated using the image of Euclidean algebras.....*308

J. Azimov, N. Namozov

*Analysis of the annual change in the volume of cargo turnover of road transport through the time series model.....*311

D. Eshmamatova, D. Khakimova, S. Zavgorodneva

*Analysis of the dynamics of the viral infection spread model.....*314

Sh. Kasimov, N. Shomurodov

*Propagation of spherical shock waves in a contiguous elastic-plastic environment.....*319

L. Sharipova, H. Raufov

*Time series modeling and prediction.....*322

M. Sadullaeva, J. Abdinabiev, S. Turdiev

*Instantaneous axis of helical motion of a rigid body.....*327

A. Artykbaev, M. Ergashaliev

Method for determining the optimal length of the transition part of a railway track plan 330