

# 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**

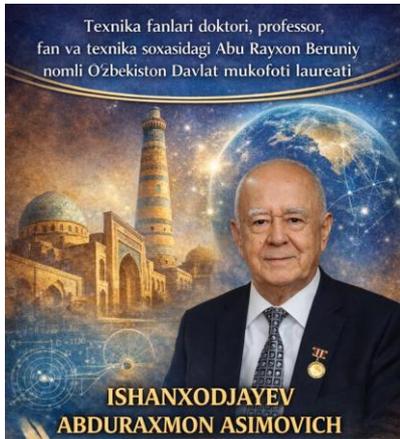
**SPECIAL ISSUE**

**16-february, 2026**



**[engineer.tstu.uz](http://engineer.tstu.uz)**

**ABDURAXMON ASIMOVICH ISHANXODJAYEV TAVALLUDINING  
85 YILLIGIGA BAG‘ISHLANGAN  
“TRANSPORT INSHOOTLARI: ZAMONAVIY TEXNOLOGIYALAR,  
SEYSMIK BARQARORLIK”  
MAVZUSIDAGI XALQARO ILMIIY-AMALIY KONFERENSIYASI  
ILMIY ISHLARI TO‘PLAMI**



Toshkent davlat transport universiteti texnika fanlari doktori, professor, transport qurilishi sohasida taniqli olim, fan va texnika sohasidagi Abu Rayxon Beruniy nomli O‘zbekiston Davlat mukofoti laureati, “Shuxrat belgisi” ordeni, “Sharafli mehnati uchun” medali, “Oliy talim fidoiysi”, Oliy talim alochisi”, “SSSR ixtirochisi”, “Yo‘l ustalarning ustoz”, “Seysmik xavfsizlik sohasi alochisi” ko‘krak nishonlari sohibi **Abduraxmon Asimovich Ishanxodjayev tavalludining 85 yilligiga** bag‘ishlangan **“Transport inshootlari: zamonaviy texnologiyalar, seysmik barqarorlik”** mavzusidagi xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya ilmiy ishlari to‘plami chop etildi.

Abduraxmon Asimovich 100 dan ortiq ilmiy asarlar, shu jumladan, 2 ta monografiya, 2 ta darslik, 18 ta chet elda chop etilgan ilmiy maqola va ishlab chiqarishga tadbir etilgan 6 ta ixtiroga berilgan guvohnoma va patentlar muallifidir. Uning ilmiy maslahatchiligi va ilmiy rahbarligida 2 ta doktorlik, 8 ta nomzodlik va 4 ta texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) ilmiy darajalariga dissertatsiyalar yoqlandi, ko‘p sonli ilmiy-tadqiqot mavzulari – fundamental va amaliy Ilmiy grantlar, yo‘l-ko‘prik qurilishi bo‘yicha Respublika va soha me‘yoriy hujjatlari yaratganlar.

Ishanxodjayev Abduraxmon Asimovich 1962 yilda Toshkent temir yo‘l muhandislari institutini “Sanoat va fuqaro qurilishi” mutaxassisligi bo‘yicha tugatib, bir yil O‘zbekiston suv xo‘jaligi Davlat loyiha instituti muhandisi, to‘rt yil “Toshshaxarqurilish Bosh Boshqarmasi” qurilish tashkilotlarida qurilish ustasi va ish bajaruvchi lavozimlarida ishladi. Shu davrda u hozirgi Respublika Prezidenti devoni binosi qurilishida ishtirok etdi, Toshkent viloyati Bo‘stonliq rayoni “Chimyon” dam olish zonasida tiklanayotgan “Quyoshli” pioner lager qurilishiga rahbarlik qildi. Nihoyat, u 5-yillik loyiha va ishlab chiqarish tajribasiga ega mutaxassis sifatida 1967-yil dekabrda O‘zbekiston Fanlar Akademiyasi mexanika va inshootlar seysmik mustahkamligi institutiga, ushbu institut direktori, o‘sha paytda fan nomzodi, keyinchalik akademik Tursunboy Rashidov ilmiy rahbarligida aspiranturaga kiradi va keyingi 20-yil davomida kichik va katta ilmiy hodim, laboratoriya mudiri lavozimlarida faoliyat ko‘rsatdi.

Shu davrda uning bevosita rahbarligi va ishtirokida O‘zbekiston Fanlar Akademiyasi mexanika va inshootlar seysmik mustahkamligi institutida dunyoda yagona “Metropolitanlar zilzilabardoshligi” laboratoriyasi tashkil etildi. Ushbu laboratoriya Toshkent metropoliteni Chilonzor metro yo‘lini noqulay grunt sharoitlari va yuqori seysmik zonada loyihalash va qurishda, metro qurilishi tajribasida birinchi bo‘lib yirik yig‘ma temirbeton elementlardan tiklanadigan yurish va bekat tonnellarining yangi, zilzilabardosh konstruksiyalari yaratish va tadbir etishda faol qatnashdi. Toshkent metrosi Chilonzor yo‘lining qurilgan bo‘laklarida ulkan eksperimental tadqiqotlar o‘tkazildi, metro tajribasida birinchi bo‘lib muhandis-seysmometrik kuzatuvlar tashkil qilindi. Laboratoriya ilmiy xodimlari va izlanuvchlaridan 10 dan ortiq kishi nomzodlik va doktorlik dissertatsiyalari yoqladilar. Kafedrada bajarilgan



ilmiy-tadqiqotlar natijalarining ishlab chiqarishga tadbiquidan hosil bo'lgan katta miqdordagi iqtisodiy samara institut va O'zbekiston Fanlar Akademiyasi hisobotlarida qayd etildi.

Ustozimiz 30 yildan ortiq muddatda rahbarlik qilgan Toshkent avtomobil-yo'llar instituti "Ko'priklar va transport tonnolari" kafedrasida O'zbekiston Respublikasi, shuningdek, Osiyo, Afrika va Lotin Amerikasi mamlakatlari uchun ko'priksizlik bo'yicha oliy malumotli kadrlar tayyorladilar. Shuni qayd etish lozimki, professor Ishanxodjaev Abduraxmon Asimovich turli yillarda Tojikiston va Qirg'iziston Respublikalari hududlarida, Armaniston Respublikasining Spitak shahrida ro'y bergan kuchli zilzilalar oqibatlarini o'rganish va tahlil qilishda, sobiq Ittifoq Fanlar Akademiyasi prezidiumi qoshidagi seysmologiya va zilzilabardosh qurilish bo'yicha idoralararo kengash azosi sifatida faol ishtirok etdi. Keyingi yillarda u Toshkent shahri va Respublikada qurilayotgan ulkan transport inshootlari konstruksiyalari, shu jumladan Toshkent metropoliteni yer usti xalqa yo'li konstruksiyalarini ekspertiza qilish jarayonlarida ham bevosita ishtirok etdi.

Ishanxodjaev Abduraxmon Asimovich 50 yildan ortiq davrda ilmiy darajalar beruvchi ixtisoslashgan va ilmiy kengashlarning raisi, ilmiy kotibi, a'zosi va ushbu kengashlar qoshidagi ilmiy seminar raisi sifatida 300 dan ortiq mutaxassislarning doktorlik, nomzodlik va falsafa doktori ilmiy darajasini olish jarayonida qatnashdi. Hozirda u Toshkent Davlat Transport Universiteti huzuridagi doktorlik dissertatsiyalari himoyasi bo'yicha ilmiy kengash a'zosi va ushbu ilmiy kengash qoshidagi ilmiy seminar raisi, O'zbekiston mexaniklar jamiyatining kengashi a'zosi, Sharof Rashidov nomli Samarqand Davlat universiteti va O'zbekiston Fanlar Akademiyasi seysmologiya instituti qoshidagi doktorlik dissertatsiyalari himoyasi bo'yicha ilmiy kengashlar a'zosi sifatida ilmiy darajadagi mutaxassislar tayyorlashda faol ishtirok etmoqdalar.

Mazkur ilmiy-amaliy konferensiyaning maqsadi transport qurilishi sohasida olib borilayotgan zamonaviy ilmiy tadqiqotlar yo'nalishlarini muhokama qilish, jumladan ko'priklar va tunnellar qurilishi, metropolitenlar, yuqori seysmik hududlarda transport obyektlarining ishonchligi va seysmik mustahkamligi, zamonaviy hisoblash va loyihalash usullari, hamda innovatsion muhandislik yechimlari bo'yicha ilmiy natijalar almashuvini ta'minlashdan iboratdir.

Konferensiyada O'zbekiston Respublikasi hamda xorijiy mamlakatlarning oliy o'quv yurtlari va ilmiy-tadqiqot institutlari olimlari, shuningdek, muhim ilmiy tadqiqot natijalariga ega bo'lgan ishlab chiqarish vakillari o'z ilmiy ishlari bilan ishtirok etdilar.

**"Transport inshootlari: zamonaviy texnologiyalar, seysmik barqarorlik"** mavzusidagi xalqaro ilmiy-amaliy konferensiyaning asosiy yo'nalishlari quyidagilardan iborat:

1. Transport inshootlari uchun zamonaviy konstruktiv yechimlar va materiallar;
2. Ko'priklar hamda yo'l o'tkazgichlarni diagnostika qilish, ta'mirlash va mustahkamlash texnologiyalari;
3. Seysmik hududlarda transport inshootlarini loyihalash va ekspluatatsiya qilishdagi dolzarb masalalar;
4. Ilg'or xorijiy tajriba, innovatsion yondashuvlar va amaliy tavsiyalar.

Ushbu ilmiy-ma'rifiy to'plam Abduraxmon Asimovich Ishanxodjaevning tabarruk 85 yoshga to'lishi munosabati bilan nashr etilib, unda transport qurilishi sohasida faoliyat yuritayotgan yetakchi olimlar, professor-o'qituvchilar va malakali mutaxassislarning ilmiy izlanishlari jamlangan. To'plamda transport qurilishining dolzarb muammolari, zamonaviy muhandislik yechimlari, ilmiy-nazariy va amaliy tadqiqot natijalari yoritilib, ushbu sohaning bugungi holati va istiqboldagi rivojlanish yo'nalishlari aks ettirilgan. Mazkur nashr Abduraxmon Asimovichning transport qurilishi faniga qo'shgan ulkan hissasiga nisbatan chuqur hurmat va e'tirof ramzi sifatida tayyorlangan.



**ABDURAXMON ASIMOVICH ISHANXODJAYEV TAVALLUDINING  
85 YILLIGIGA BAG'ISHLANGAN "TRANSPORT INSHOOTLARI:  
ZAMONAVIY TEXNOLOGIYALAR, SEYSMIK BARQARORLIK"  
MAVZUSIDAGI XALQARO ILMIIY-AMALIY KONFERENSIYA  
TASHKILY QO'MITASI**

Adilxodjayev Anvar Ishanovich	Universitetdagi istiqbolli va strategik vazifalarni amalga oshirish masalalari bo'yicha rektor maslahatchisi;
Shaumarov Said Sanatovich	Ilmiy ishlar va innovatsiyalar bo'yicha prorektor;
Mirxodjayev Shuxrat Amanullayevich	O'zbekiston yo'l muhandislari uyushmasi raisi;
Shermuxeimedov Ulugbek Zabixullayevich	Ko'priklar va tonnellar kafedrasida kafedra mudiri, t.f.d. DSc, professor;
Axmedov Sherzod Baxodirovich	Avtomobil yo'llaridagi inshootlar muhandisligi kafedrasida kafedra mudiri, t.f.f.d. PhD, dotsent;
Mamadaliyev MuhammadYusuf Botirjon o'g'li	"O'zyo'lko'prik klasteri" Davlat Muassasi, "Ko'prik va sun'iy inshootlarni diagnostika qilish" bo'limi bosh mutaxassis;
Salixanov Saidxon Salixanovich	Ko'priklar va tonnellar kafedrasida professori, t.f.n., professor;
Miralimov Mirzaxid Xamitovich	Avtomobil yo'llaridagi inshootlar muhandisligi kafedrasida professori, t.f.n., professor;
Rahmanov O'sarqul	Ko'priklar va tonnellar kafedrasida professori, t.f.n., professor;
Soatova Nodira Ziyaevna	Avtomobil yo'llaridagi inshootlar muhandisligi kafedrasida dotsenti, t.f.f.d. PhD, dotsent;
Turgunboyeva Jumagul Rahimberdiyevna	Ko'priklar va tonnellar kafedrasida dotsenti, t.f.f.d. PhD, dotsent;
Normurodov Shahboz Ulug'bekovich	Ko'priklar va tonnellar kafedrasida dotsenti, t.f.f.d. PhD, dotsent;
Karimova Anora Baxtiyevna	Ko'priklar va tonnellar kafedrasida dotsenti, t.f.f.d. PhD, dotsent;
Zokirov Faxriddin Zohidjon o'g'li	Ko'priklar va tonnellar kafedrasida dotsenti, t.f.f.d. PhD, dotsent;
Sobirova Ma'mura Mirabdulla qizi	Avtomobil yo'llaridagi inshootlar muhandisligi kafedrasida dotsenti v.b., t.f.f.d. PhD;
Mukarramov Ramazon Xusinovich	Ko'priklar va tonnellar kafedrasida dotsenti v.b., t.f.f.d. PhD;
Rahimjonov Ziyovuddin Qahramon o'g'li	Ko'priklar va tonnellar kafedrasida dotsenti v.b., t.f.f.d. PhD;
Malikov G'anisher Bahromqulovich	Ko'priklar va tonnellar kafedrasida dotsenti v.b., t.f.f.d. PhD;
Abdullayev Abduraxim Rovshan o'g'li	Ko'priklar va tonnellar kafedrasida assistenti, t.f.f.d. PhD;
Kadirova Sharofat Shavkatovna	Ko'priklar va tonnellar kafedrasida katta o'qituvchisi;
Abdusattorov Asqarxo'ja Abdumavlon o'g'li	Ko'priklar va tonnellar kafedrasida assistenti;
Abduraimov Umarali Karimovich	Ko'priklar va tonnellar kafedrasida katta o'qituvchisi;
Xakimova Yoqutxon Tulaganovna	Ko'priklar va tonnellar kafedrasida katta o'qituvchisi;
Mirzayeva Zamira Mahamadazizovna	Ko'priklar va tonnellar kafedrasida katta o'qituvchisi;
O'rozov Humoyun O'tkir o'g'li	Ko'priklar va tonnellar kafedrasida assistenti;



## SO‘Z BOSHI

**52 YILLIK  
HAMKORLIK,  
ShOGIRDLIK  
VA DO‘STLIK**

Ustozim Ishanhodjaev Abduraxmon Asimovich bilan tanishganimga, birga hamkorlikda ishlay boshlaganimga 52 yil bo‘libdi. 1975 yil O‘zbekiston Milliy universitetining amaliy matematika va mexanika fakulteti bitiruvchisi edim. Diplom oldi amaliyotiga O‘zbekiston Fanlar Akademiyasining mexanika va inshootlar seysmik mustahkamligi institutiga yuborildim. Shu yili bu yerda “Metropolitanlar zilzilabardoshligi” laboratoriyasi ochilgan ekan. Unga yosh bilimli va g‘ayratli olim **Ishanhodjaev Abduraxmon Asimovich** laboratoriya mudiri etib tayinlangan ekanlar. Shu laboratoriyada diplomoldi amaliyotini o‘tib, “Metropolitan tonnellarining bo‘ylama tebranishlari” mavzusida diplom ishini yozib, muvaffaqiyatli himoya qildim. O‘qishni bitirgach shu laboratoriyaga yo‘llanma bilan ishga keldim. Abduraxmon Asimovichning rahbarligi ostida ilmiy-tadqiqot ishlarini olib borish bilan birga, ularning yurish turishlari, kishilar bilan muloqoti, go‘zal hulq atvorlarini o‘zimiz uchun namuna qilib oldik. Keyinchalik, ilmiy tadqiqot ishlarini Moskva shahrida davom ettirish niyatini bildirganimda, o‘zlari birga boshlab borib, yaqin do‘stlari, taniqli olim Ilichev Vyacheslav Aleksandrovichga shogird qilib berdilar. Xizmat safarlarida birga yurganimizda menga harajat qilishimga yo‘l qo‘ymas edilar. O‘zlarining baquvvat qo‘llari bilan mening qo‘limni mahkam ushlab, to‘lov qildirmas edilar. Nomzodlik

dissertatsiyasini himoya qilganimdan keyin laboratoriyadagi bir guruh yosh olimlar bilan birgalikda o‘sha paytdagi ittifoq yoshlar markaziy ko‘mitasining mukofotini olishga erishdik. Bu vaqtga kelib Ustoz na faqat respublikada, balki o‘sha paytdagi ittifoq miqyosida ko‘zga ko‘ringan olimlar qatoridan joy olgan edilar.

Kasbiy hamkorligimiz rivojlanib, oilaviy do‘stlikka ham aylanib ketdi. Uylariga borganimizda Naziraxon kelinoyining samimiylik bilan kutib olishlari, sahiylik bilan mehmon qilishlari, farzandlarining odobini ko‘rib, bunday baxtli oilaga chin dildan havas qilar edik.

Qizimni turmushga berganimda to‘y qish paytiga to‘g‘ri kelib, Qamchiq dovoni bekilib qoldi. To‘y kuni Abduraxmon Asimovich yuk mashinasining kabinasida yetib kelganlarida qalbimiz fahr tuyg‘lariga to‘lib ketgan edi.

Abduraxmon akadagi mardlik, do‘stlarga nisbatan mehribonlik, saxiylik, har doim yordamga tayyor turish xislatlari kamdan kam odamlarda uchraydi. Bugungi kunda qutlug‘ 85 yoshga to‘lishlari arafasida Ustozga sihat - salomatlik, uzoq umr, oilaviy baxt tilayman. U kishidagi g‘ayrat, ilmga bo‘lgan intilish, ilmni boshqarish shijoati, shogirdlarga bo‘lgan muhabbat hech qachon so‘nmasin. Kelajakda kasbiy faoliyatlarida va ilmiy ishlarida ulkan muvaffaqiyatlar tilayman. **RAXMAT USTOZ!**

*Sharafiiddin Yuldashev,  
Namangan davlat texnika  
universiteti professori,  
texnika fanlar doktori*





## ILM VA INSONIYLIK UYG‘UNLIGI TIMSOLI

Inson hayotining mazmuni uning jamiyat uchun qilgan xizmatlari, qoldirgan ma’naviy va ilmiy merosi bilan belgilanadi. Ayrim insonlar borki, ularning nomi muayyan sohaning taraqqiyoti, butun bir ilmiy maktabning shakllanishi bilan uzviy bog‘lanib ketadi. Ana shunday insonlar qatoriga hech shubhasiz **Abduraxmon Asimovich Ishanxodjayevni** kiradilar.

Abduraxmon Asimovich ko‘p yillik ilmiy-pedagogik faoliyati davomida ko‘priklar va tonnellar sohasini rivojlantirishga, transport infratuzilmasining murakkab masalalariga ilmiy yechimlar taklif etishga salmoqli hissa qo‘shgan yetuk olim sifatida keng jamoatchilikka yaxshi tanish. U kishining ilmiy ishlari, tayyorlagan ilmiy va muhandis kadrlari va tashkiliy faoliyati mamlakatimiz muhandislik ilmi taraqqiyotida alohida o‘rin tutadi.

Abduraxmon Asimovichning ilmiy faoliyatini kuzatar ekanman, u kishida ilmga nisbatan o‘ta mas’uliyatli va halol munosabatni ko‘raman. Ilmiy natijaga erishishda shoshma-shosharlikka yo‘l qo‘ymaslik, har bir masalani chuqur tahlil qilish, xulosalarni amaliyot bilan bog‘lash - bu fazilatlar u kishining ilmiy uslubiga xosdir. Shu jihatdan, Abduraxmon Asimovich nafaqat ilmiy natijalar muallifi, balki ilmiy madaniyatni shakllantiruvchi shaxs sifatida ham e’tirof etiladi.

U kishining rahbarlik faoliyati alohida ta’kidga loyiq. Kafedra va ilmiy jamoalarda ishlarni tizimli tashkil etish, yosh mutaxassislarni qo‘llab-quvvatlash, ilmiy izlanishlarga to‘g‘ri yo‘nalish berish masalalarida Abduraxmon Asimovich katta tajriba va tashkilotchilik salohiyatini namoyon etgan. U kishining rahbarligida ko‘plab ilmiy yo‘nalishlar jonlanib, amaliy ahamiyatga ega tadqiqotlar olib borilgan.

Abduraxmon Asimovichning inson sifatidagi fazilatlarini ham uning shaxsiyatini yanada yuksak qiladi. U kishida vazminlik, mulohazalilik, hurmat va o‘dod birinchi o‘rinda turadi. Munosabatlarda samimiyligni saqlagan holda, har bir insonning fikrini eshitish va anglash qobiliyati u kishiga xos bo‘lgan muhim xususiyatlardandir. Shu bois, Abduraxmon Asimovich bilan muloqot qilgan har qanday inson u kishidan ma’naviy boyluk va hayotiy tajriba oladi.

Yoshlar bilan ishlashda Abduraxmon Asimovich alohida e’tiborga loyiq uslubni qo‘llaydi. U kishining yondoshuvida talabchanlik va ishonch uyg‘unlashgan. Yosh tadqiqotchilar va o‘qituvchilar uchun u kishi maslahatchi, yo‘l ko‘rsatuvchi, kerak paytda qat’iy, ammo adolatli pozitsiyani ushlaydigan shaxs sifatida qabul qilinadi. Bunday munosabat kadrlar shakllanishida juda muhim ahamiyatga ega. Abduraxmon Asimovich tarbiyasida shakllangan mutaxassislarning bugungi kunda nafaqat O‘zbekistonda, balki xorijiy davlatlarda ham samarali faoliyat olib borayotgani u kishining ilmiy-pedagogik merosi uzluksiz davom etayotganining yaqqol dalilidir. Bu holat har qanday olim uchun katta iftixor va e’tirof hisoblanadi.

Abduraxmon Asimovichni kuzatar ekanman, u kishida ilm va insoniylik bir-birini to‘ldirib turayotganini ko‘raman. Ilmiy yutuqlar ortidan quvish bilan birga, inson qadrini unutmaslik, jamoada sog‘lom muhitni saqlash, yosh avlodni ma’naviy jihatdan qo‘llab-quvvatlash bu fazilatlar u kishining hayotiy pozitsiyasini belgilaydi.

Yubiley munosabati bilan **Abduraxmon Asimovich Ishanxodjayevga** mustahkam sog‘liq, uzoq umr, oilaviy xotirjamlik va ilmiy-ijodiy faoliyatlarida yangi muvaffaqiyatlar tilayman. U kishining boy ilmiy va hayotiy tajribasi yana ko‘p yillar davomida yosh avlod uchun ibrat maktabi bo‘lib xizmat qilishiga ishonaman.

*Shermuxamedov Ulugbek  
Zabixullayevich,  
texnika fanlar doktori, professor*



## Parameters of underground metro structure interaction with soil under seismic loads and methods for their determination

K.S. Sultanov<sup>1</sup><sup>a</sup>

<sup>1</sup>Institute of Mechanics and Seismic Stability of Structures named after M.T. Urazbaev, Uzbekistan Academy of Sciences, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** The seismic strength or resistance of underground structures mainly depends on the forces of their interaction with the surrounding soil. These interaction forces are governed by specific laws. The simplest law includes an interaction coefficient, which is the primary parameter. The values of this coefficient are determined experimentally. For underground metro structures, experimentally determining the interaction coefficient under dynamic (seismic) loads is a highly challenging problem. This paper suggests a straightforward method to estimate interaction parameters, including the interaction coefficient, based on the strength characteristics of the soil surrounding underground metro structures.

**Keywords:** subway, tunnels, soil, seismic impact, interaction, seismic resistance, friction, stress, contact surface

## Параметры взаимодействия подземных конструкций метрополитена с грунтом при сейсмических воздействиях и методы их определения

К.С. Султанов<sup>1</sup><sup>a</sup>

<sup>1</sup>Институт механики и сейсмостойкости сооружений имени М.Т. Уразбаева Академии наук Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан

**Аннотация:** Прочность при сейсмических воздействиях или сейсмостойкость подземных конструкций, главным образом, определяются силами их взаимодействия с окружающей грунтовой средой. Силы взаимодействия определяются из соответствующих законов. Простейший закон взаимодействия содержит коэффициент взаимодействия, которая является основным параметром взаимодействия. Значения коэффициента взаимодействия, определяется экспериментально. Для подземных конструкций метрополитена, экспериментального определения значения коэффициента взаимодействия при динамических (сейсмических) нагрузках, архисложная проблема. Здесь предлагается определения значений параметров взаимодействия, в том числе коэффициента взаимодействия, простым методом на основе прочностных характеристик грунта окружающей подземной конструкции метрополитена.

**Ключевые слова:** метрополитен, тоннели, грунт, сейсмические воздействие, взаимодействие, сейсмостойкость, трение, напряжения, контактная поверхность

### 1. Введение

Метрополитен, безусловна, является основным и решающим транспортным средством во всех мегаполисах. С увеличением пассажир-потоков обеспечения безопасности и надежности метрополитена становится важным вопросом. Строительства и эксплуатация метрополитена в сейсмоопасных регионах требует еще и обеспечения его сейсмической безопасности.

Фундаментальные основы сейсмической безопасности или сейсмостойкости подземных сооружений созданы в [1-5]. Сейсмостойкость подземных конструкций метрополитена исследована в [4,6]. В [7,8] рассмотрены сейсмостойкость подземных трубопроводов, аналогично [1-5]. Результаты исследований [1-5] включены республиканским нормативным документам [9].

В работах [1-7], динамическая теория сейсмостойкости подземных конструкций,

разрабатывалась на основе стационарной теории колебаний, деформируемых тел. Это означает, что фронт сейсмической волны ушел далеко в перед и колебания подземного трубопровода установилась. Кроме этого в этих работах грунтовая среда вокруг трубопровода не рассматривалась и она зманялась силами взаимодействия приложенными в виде касательных напряжений трения на внешнюю поверхность трубопровода. Такая постановка была оправдана, тем что решения задачи сейсмостойкости подземных конструкций, даже такой очень простой конструкции, как подземный трубопровод, с учетом нестационарности процесса их колебаний и с учетом волновых процессов в грунтовой среде, была очень сложная задача. Однако, была ясно, что при решении задачи сейсмостойкости подземных сооружений, в том числе подземных трубопроводов [1-10], не рассматривается очень важная часть, начало процесса,

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0002-5526-9862>



когда сейсмическая волна начинает воздействовать на подземную конструкцию. Также была ясно, что волновые процессы в грунте игнорируются в теориях [1-10].

Волновые задачи близкие к задачам сейсмостойкости подземных трубопроводов, фундаментально рассмотрены в [11-15]. В [11,12] получены аналитические решения нестационарных волновых задач о распространении плоской ударной волны в упругом стержне с внешним сухим трением. Здесь также не учитывается внешняя среда. Постановка задачи в [11,12] и [1-5,7,8] по сути, одинаковые, однако здесь рассматривается начала процесса распространения волны в стержне. В [13] экспериментально исследована распространения ударной волны в струне окруженной песком. Получены в первые затухание ударной волны в струне, благодаря проявлению силы трения между упругой струной и сухим внешним песочным грунтом. Работы [11-13] служили основой волновых задач сейсмостойкости подземных трубопроводов в [14]. В [14] обширными натурными и лабораторными экспериментальными исследованиями показана, что волновые процессы в грунтах, играют важную решающую роль при определении оценке сейсмостойкости подземных конструкций. Экспериментально показана, даже в случае распространения плоской взрывной волны вдоль трубопровода, возникает существенное нормальное к внешней поверхности трубы, напряжение. Показана также экспериментально, двух стадийность процесса взаимодействия подземного трубопровода с окружающим его грунтом. Раздельное рассмотрение этих стадий, в прикладных задачах сейсмостойкости, как это сделано в [1-10], является не точным. На основе результатов обширных натуральных и лабораторных экспериментальных исследований взаимодействия подземных трубопроводов с грунтом и фрагментов подземных внешних поверхностей подземных конструкций с окружающей его грунтом, в [14] разработана волновая теория сейсмостойкости подземных сооружений.

Волновая теория показывает, что волновые процессы в грунте, при распространении сейсмической волны, играют определяющую роль при формировании напряженного состояния в подземном трубопроводе. В дальнейшем по истечении времени процесс установится и трубопровод может совершать стационарные колебательные движения. Однако, на этом этапе тоже игнорировать динамическим напряженным состоянием окружающий трубопровод грунта, приводит не точностям. Здесь, необходимо отметить, что игнорирования грунтовой средой, в [1-10], была вынужденная мера. Чтобы получить решения сложных задач сейсмостойкости, даже для простейшей подземной конструкции как подземный трубопровод, необходима была упростить задачу. Поэтому волновая теория [14], является логическим продолжением, динамической теории сейсмостойкости подземных сооружений [1-10].

Локальность и двух стадийность процесса взаимодействия подземных конструкций с окружающим их грунтом, следующий существенный вывод, вытекающий из волновой теории. Благодаря этому выводу, становятся возможным, разработать простейших, общедоступных методов определения значений параметров взаимодействия подземных конструкций с грунтом. Волновая теория, развивается и

усовершенствуется последующими исследованиями в [15-21]. В [15] рассмотрены задачи стационарной колебании подземных трубопроводов с учетом волновых процессов в грунтовой среде. В [16,17] обсуждаются фундаментальные вопросы деформирования грунтов и распространения и затухания сейсмических волн в грунтовых средах. Нелинейность и двух стадийность законов взаимодействия подземных сооружений с грунтом обоснована в [18]. Образование контактного слоя грунта между подземной конструкцией и грунтом, при их динамическом взаимодействии, показана в [19]. Показана, что толщина контактного слоя зависит от физико-механических характеристик грунта и скорости взаимодействия. В [20, 21] исследованы свойства законов взаимодействия подземного трубопровода с грунтом и механизмы образования продольных напряжений в трубопроводе при распространении низкочастотных сейсмических волн в грунте.

Краткий анализ работ по сейсмостойкости подземных сооружений показывают, что напряженно – деформированное состояние подземных конструкций всецело зависит от законов взаимодействия. Законы взаимодействия имеют параметры характеризующие механические свойства процесса взаимодействия. Разработка методов определения значения этих параметров является первостепенной актуальной проблемой сейсмостойкости подземных сооружений, таких как метрополитен.

## 2. Методика исследования

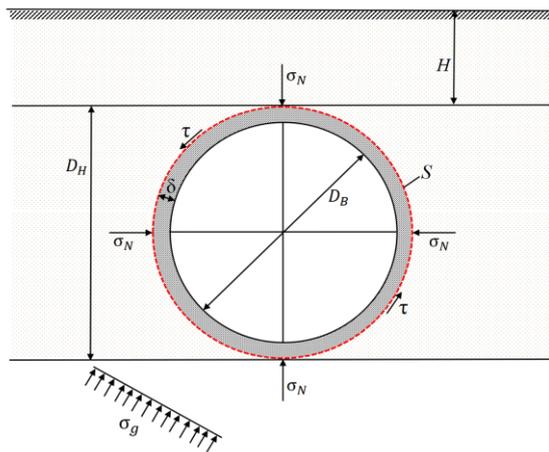
При воздействии сейсмической волны при землетрясении, на подземные конструкции метрополитена, такие как тоннели круглого или четырехугольного сечения, стационарные сооружения, происходит колебания этих конструкций и их взаимодействия с окружающим их грунтом. Процесс взаимодействия, например, тоннеля метрополитена круглого сечения с грунтом (рис.1).

Тоннель метрополитена круглого сечения с внешним диаметром  $D_N$ , внутренним диаметром  $D_B$  и толщиной стенки  $d$ , показана на рис.1. Тоннель метрополитена расположена на глубине  $H$ . При воздействии сейсмической волны на подземный тоннель с внешним диаметром  $D_N = 6m$ , начинается движения грунта и тоннеля в грунтовой среде. Сейсмическая нагрузка на тоннель передается через грунт. При этом, в зависимости от частоты и амплитуды сейсмической нагрузки  $\sigma_g$ , тоннель начинает колебательное движение. В силу различия массы железобетонного тоннеля и грунта образуется относительное их смещение и, следовательно, касательное напряжения  $\tau$  на поверхности контакта тоннеля с грунтом. В состоянии покоя тоннель находится под статическим давлением  $\sigma_{NS}$ . Очевидно, что по контуру внешней поверхности тоннеля, в различных ее точках, эта давления будет разное. При воздействии сейсмической давлением к статическому давлению (напряжению) добавляется динамическая давления  $\sigma_{ND}$ . Суммарная давления или ее нормальная составляющая на внешнюю поверхность, определяется по формуле

$$\sigma_N = \sigma_{NS} + \sigma_{ND} \quad (1)$$

В силу различия нормального напряжения  $\sigma_N$ , по круглому контуру тоннеля, касательное напряжения  $\tau$  также будет различными.

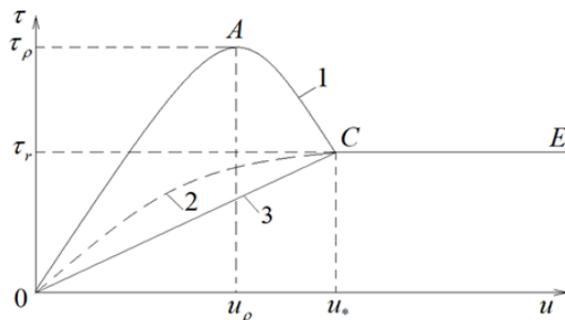




**Рис.1. Схематическое представление тоннеля метрополитена круглого сечения**

Как показывают результаты экспериментальных исследований [1-14], закон изменения  $\tau$ , достаточно сложный. Схематически, обобщая результаты опытов по определению  $\tau$ , ее изменения в зависимости от относительного смещения при постоянном нормального напряжения, можно представить как на рис.2.

Процесс взаимодействия в любой точке внешней поверхности подземного тоннеля с грунтом, при воздействии сейсмической волны может пойти по кривым 1-3 на рис.2 в зависимости от физико-механического состояния контактного слоя грунта. Процесс взаимодействия пойдет по кривой 1, в случае не нарушенного грунта вокруг тоннеля. В этом случае, проявляется пиковое значения касательного напряжения, потом ее спад и постоянства ее значения. В случае нарушенной, вернее разрушенного грунта вокруг тоннеля, процесс взаимодействия пойдет по кривой 2. Упрощая кривой 2, получаем ломанную 3, где процесс взаимодействия пойдет по прямым линиям  $OC$  и  $CE$ .



**Рис.2. Схематическое представление закона изменения силы взаимодействия  $\tau$  от относительного смещения  $u$  при постоянном нормального напряжении  $\sigma_N$**

Во всех случаях процесс взаимодействия, состоит из двух стадий. Первая стадия, когда сила взаимодействия развивается в зависимости от относительного смещения. Вторая стадия, когда сила взаимодействия не зависит от относительного смещения. Очевидно, в этой стадии взаимодействия выполняется закон Амонтона - Кулона. Следовательно, в обеих стадиях, сила взаимодействия

зависит от нормального к внешней поверхности напряжения.

В случае кривая 1, происходит разрушения контактного слоя грунта. Разрушения особенно интенсивно происходит на участке  $AC$  кривой 1. Контактный слой грунта полностью разрушится в точке  $C$ , где относительное смещение  $u$  достигает своего предельного значение  $u^*$ . Повторное взаимодействия уже пойдет по кривой 2. В этом случае в процессе взаимодействия, происходит переукладка зёрен грунта и частичное разрушение, благодаря чему процесс взаимодействия происходит нелинейно. В [21] показана, что эти стадии взаимодействия необходимо рассматривать вместе. Так как, в зависимости от значения нормального давления, относительного смещение, в отдельных точках контактной поверхности может наступит вторая стадия взаимодействия, т.е. процесс взаимодействия является локальным.

Во всех случаях процесс взаимодействия, состоит из двух стадий. Первая стадия, когда сила взаимодействия развивается в зависимости от относительного смещения. Вторая стадия, когда сила взаимодействия не зависит от относительного смещения. Очевидно, в этой стадии взаимодействия выполняется закон Амонтона- Кулона. Следовательно, в обеих стадиях, сила взаимодействия зависит от нормального к внешней поверхности напряжения.

В случае кривая 1, происходит разрушения контактного слоя грунта. Разрушения особенно интенсивно происходит на участке  $AC$  кривой 1. Контактный слой грунта полностью разрушится в точке  $C$ , где относительное смещение  $u$  достигает своего предельного значение  $u^*$ . Повторное взаимодействия уже пойдет по кривой 2. В этом случае в процессе взаимодействия, происходит переукладка зёрен грунта и частичное разрушение, благодаря чему процесс взаимодействия происходит нелинейно. В [21] показана, что эти стадии взаимодействия необходимо рассматривать вместе. Так как, в зависимости от значения нормального давления, относительного смещение, в отдельных точках контактной поверхности может наступит вторая стадия взаимодействия, т.е. процесс взаимодействия является локальным.

В простейшем идеализированном случае процесс локального взаимодействия подземного тоннеля метрополитена с грунтом, пойдет по прямым линиям  $OCE$ . В этом случае законами взаимодействия являются

$$\tau = K_x u \text{ при } u < u^* \quad (2)$$

$$\tau_r = c + f \sigma_N \text{ при } u = u^* \text{ или } u > u^* \quad (3)$$

где  $c$  – коэффициент сцепления, а  $f$  – коэффициент внутреннего трения грунта,  $K_x$  – коэффициент жесткости контактного слоя грунта.

Параметры  $c$ ,  $f$ ,  $u^*$  являются параметрами взаимодействия подземного тоннеля метрополитена с окружающим его грунтом. Законы (2) и (3), как уже отметили выше являются локальными законами. Они выполняются в каждой точке внешней поверхности тоннеля контактирующей с грунтом. Определения



значений параметров взаимодействия  $K_x$ ,  $c$ ,  $f$ ,  $u^*$  необходимо для решения задачи сейсмостойкости подземного тоннеля в частности, любых подземных сооружений в целом.

### 3. Результаты исследования

Из параметров взаимодействия  $K_x$ ,  $c$ ,  $f$ ,  $u^*$ , последние три  $c$ ,  $f$ ,  $u^*$  являются прочностными характеристиками грунта. Из-за локальности процесса взаимодействия, значения этих параметров можно определить экспериментально в лабораторных условиях. Экспериментальные методы определения  $c$ ,  $f$ ,  $u^*$  общеизвестны. Проблема заключается в определении значения параметра  $K_x$ . В [1,3-5] предлагается определения значения параметра  $K_x$  экспериментально. В этом случае, по предложенной методике [1,4,5], необходимо проведение натурных экспериментов с подземным тоннелем. В [14] были проведены для определения значения параметра  $K_x$ , натурные эксперименты. Сейсмическая нагрузка в виде плоской волны создавалась взрывом. Аналогичный эксперимент с подземным тоннелем метрополитена организовать является сложным и экономически нецелесообразным. Отсюда экспериментальный метод определения значения параметра  $K_x$  становится невозможным.

Однако, существует другой, достаточно простой путь определения значения параметра  $K_x$ . В точке  $C$  на рис.2, значения сил взаимодействия по формуле (2) и (3) должны быть равными. Для точного выполнения этого условия, необходимо в уравнении (2) также присутствия нормального напряжения, т.е.

$$K_x = K_N \sigma_N \quad (4)$$

где  $K_N$  – коэффициент взаимодействия подземного тоннеля с грунтом.

Далее его значения определяется из условия равенства сил взаимодействия в точке  $C$  диаграммы на рис.2 следующими уравнениями

$$\tau = \tau_r = K_N \sigma_N u_* = c + f \sigma_N \quad (5)$$

$$K_N = \frac{f}{u_*} + \frac{c}{\sigma_N u_*} \quad (6)$$

В случае разрушенной структуры грунта, когда значения коэффициента сцепления  $c=0$  или незначительно, формула (6) предельно упрощается

$$K_N = \frac{f}{u_*} \quad (7)$$

Используя формулы (6) или (7) определяется значения параметра (коэффициента взаимодействия)  $K_N$ . Далее используя (4) определяется значения коэффициента жесткости контактного слоя грунта  $K_x$ .

В случае, когда взаимодействия происходит по кривым 1 или 2 на рис.2, процесс взаимодействия описывается более сложными уравнениям [14].

Закон взаимодействия тоннеля с грунтом для кривых 1, 2 уравнения (2) принимает вид

$$\tau = K_x(\sigma_N, I_S)u \quad (8)$$

где  $K_x(\sigma_N, I_S)$  – нелинейный коэффициент жесткости контактного слоя грунта.

Изменение разрушения контактного слоя грунта в уравнении (8) характеризуется параметром  $I_S = |u/u_*|$ . Параметр  $I_S$  определяет степень разрушенности структуры грунта в процессе взаимодействия. В случае  $I_S = 0$ , грунт на контактом слое считается неразрушенным, а в случае  $I_S = 1$  – полностью разрушенным. В остальных случаях  $0 < I_S < 1$ .

На основе опытных данных, в [14] коэффициент жесткости описывается уравнением

$$K_x(\sigma_N, I_S) = K_x^*(\sigma_N) \exp[\alpha_u(1 - I_S)] \quad (9)$$

где  $K_x^*$  – секущий коэффициент жесткости при  $u = u_*$ ;  $\alpha_u$  – коэффициент, характеризующий диапазон изменения  $K_x$ .

При  $I_S = 0$  из (9) получим

$$K_x(\sigma_N) = K_x^*(\sigma_N) \exp(\alpha_u) \quad (10)$$

Согласно результатов опытов [14], зависимость  $K_x^*(\sigma_N)$  является линейной функцией и определяется соотношением

$$K_x^*(\sigma_N) = K_N \sigma_N \quad (11)$$

Из (11) и (5) при  $u = u_*$  получим формулу (6) или (7).

Отсюда следует, что значения  $u_*$  является постоянным для данного вида грунта и конструкции подземного тоннеля метрополитена.

Значения пикового касательного напряжения или силы взаимодействия  $\tau_p$  зависят от значения  $\alpha_u$ . С увеличением  $\alpha_u$  значение  $\tau_p$  увеличивается. При  $\alpha_u = 0$ , соответствующем случаю, когда разрушения контактного слоя грунта не учитываются, зависимость  $\tau(u)$  в первой стадии взаимодействия является линейной (кривая 3). Уравнения (9) переходит в (4), а уравнения (8) в (2). Значения коэффициента  $\alpha_u$  определяется экспериментально в лабораторных условиях, также как значения  $c$ ,  $f$ ,  $u^*$ .

Таким образом, волновая теория сейсмостойкости подземных сооружений, где в отличие от динамической теории [1-5], процесс взаимодействия считается локальным, определения параметров взаимодействия становится возможным в лабораторных условиях.

### 4. Заключение

1. Показана основные преимущества и недостатки динамической и волновой теории сейсмостойкости подземных сооружений. Показаны применимости линейных и нелинейных локальных законов взаимодействия в задачах сейсмостойкости подземных тоннелей метрополитена.

2. Приведены и проанализированы основные соотношения линейных и нелинейных уравнений законов взаимодействия, их области применения в зависимости от значений относительного смещения. Показана двух стадийность процесса взаимодействия подземных сооружений с грунтом и следствия,



вытекающие из этого случая.

3. Предложены методы определения параметров, входящих в линейный и нелинейный законы взаимодействия подземного тоннеля метрополитена, из результатов прочностных испытаний на сдвиг в лабораторных условиях.

## Использованная литература / References

[1] Рашидов Т.Р. Динамическая теория сейсмостойкости сложных систем подземных сооружений. Ташкент: Фан, 1973. 180 с.

[2] Ильюшин А.А., Рашидов Т.Р. О действии сейсмической волны на подземный трубопровод // Изв. АН РУз. Сер.техн. наук. 1971. -№1. - С. 3.

[3] Рашидов Т.Р., Хожметов Г.Х., Мардонов Б. Колебания сооружений, взаимодействующих с грунтом. Ташкент: Фан, 1973. - 174 с.

[4] Рашидов Т.Р., Ишанходжаев А.А., Дорман И.Я. и др. Сейсмостойкость тоннельных конструкций метрополитена. М.: Транспорт, 1975. - 120 с.

[5] Рашидов Т.Р., Хожметов Г.Х. Сейсмостойкость подземных трубопроводов. Ташкент: Фан, 1985. - 152 с.

[6] Мубараков Я.Н. Сейсמודинамика подземных сооружений типа оболочек. Ташкент: Фан, 1989. - 190 с.

[7] O'Rourke M.J., Liu X. Response of Buried Pipelines Subject to Earthquake Effects. – MCEER: Univ. at Buffalo, USA. – 1999. – 249 p.

[8] O'Rourke T.D., Jung J.K., Argyrou C. Underground pipeline response to earthquake-induced ground deformation // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. – 2016.– Vol.91.– P. 272–283.

[9] КМК 2.01.03-19 Строительство в сейсмических районах / Минстрой РУз. - Ташкент, 2019. -111 с.

[10] Бородавкин П.П. Подземные магистральные трубопроводы. Проект тирование и строительство. М.: Недра, 1982. - 384 с.

[11] Никитин Л.В. Статика и динамика твердых тел с внешним трением. Москва. Изд. Московский лицей. 1998. – 272 с.

[12] Никитин Л.В. Динамика упругих стержней с внешним сухим трением// Успехи механики. 1988. т.11. - № 4. - С. 53-106.

[13] Веклич П.А., Малышев Б.М. Распространение волн в упругих стержнях, находящихся в среде с сухим трением // Труды института механики МГУ. Задачи

механики твердого деформируемого тела. М.: Изд. МГУ, 1985. - С. 64-99.

[14] Султанов К.С. Волновая теория сейсмостойкости подземных сооружений. Ташкент, Фан: 2016. 392 с.

[15] Israilov M.S. Solution of the External Pochhammer–Chree Problem and Bending Seismic Vibrations of the Pipeline in Infinite Elastic Continuum // Mechanics of Solids. – 2023.– Vol.58.– P.26–37.

[16] Sultanov K.S. A non-linear law of the deformation of soft soils // Journal of applied mathematics and mechanics. – 1998. – Vol. 62 (3). - P. 465-472.

[17] Sultanov K.S. The attenuation of longitudinal waves in non-linear viscoelastic media // Journal of applied mathematics and mechanics. – 2002.– Vol. 66 (1). - P.115-122.

[18] Sultanov K.S. Laws governing the interaction of underground structures with soil during their relative displacement // International applied mechanics. - 1993. – Vol. 29 (3). - P.217-223.

[19] Bakhodirov A.A., Ismailova S.I., Sultanov K.S. Dynamic deformation of the contact layer when there is shear interaction between a body and the soil // Journal of applied mathematics and mechanics. – 2015. – Vol. 79 (6). - P.587-595.

[20] Sultanov, K.S., Vatin, N.I. Wave Theory of Seismic Resistance of Underground Pipelines // Applied Sciences. – 2021. – № 4. – Pp. 1797. DOI:10.3390/app11041797. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/4/1797>.

[21] Sultanov K.S. Contact interaction of an underground pipeline with soil under dynamic impacts // Facta universitatis-series. Mechanical engineering. – 2024. – Vol. 22 (3). – P.485-501.

## Сведения об авторе / Information about the author

**Султанов  
Карим  
Султанович /  
Sultanov  
Karim  
Sultanovich**

Главный научный сотрудник  
Института механики и  
сейсмостойкости сооружений имени  
М.Т. Уразбаева Академии наук  
Республики Узбекистан,  
д-р физ.-мат. наук, профессор.  
E-mail: [sultanov.karim@mail.ru](mailto:sultanov.karim@mail.ru)  
Tel.: +998909702535  
<https://orcid.org/0000-0002-5526-9862>



## Vibrations of a rigid beam elastically connected to deformable supports under seismic loads

B. Mardonov<sup>1</sup><sup>a</sup>, N.A. Nishonov<sup>1</sup><sup>b</sup>, M.J. Berdibaev<sup>1</sup><sup>c</sup>, A.Ch. Khurramov<sup>1</sup><sup>d</sup>,  
R.R. Azamov<sup>2</sup><sup>e</sup>

<sup>1</sup>Institute of Mechanics and Seismic Stability of Structures named after M.T. Urazbaev, Uzbekistan Academy of Sciences, Tashkent, Uzbekistan

<sup>2</sup>National Research Institute for Seismic Safety and Resilient Construction under Tashkent University Architecture and Civil Engineering, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** In practice, there are problems related to the calculation of groups of piles buried in the ground environment with different depths of immersion. At the same time, the main attention is paid to assessing the influence of the external ground environment on the magnitude of pile movement and the development of contact forces at the points of connection of piles with load-bearing beams is evaluated. As the results of monitoring the condition of bridge structures under the action of external forces, especially seismic ones, show, the greatest structural damage occurs at the junction of piles with beams. The oscillatory process of a rigid beam in contact with two piles through elastic elements is studied. The influence of stiffness coefficients on the frequency response of beam vibrations is estimated.

**Keywords:** bridge, beam, support, vibration, displacement, ground, seismic load

## Колебания жесткой балки, упруго соединенной с деформируемыми опорами, при сейсмических нагрузках

Б. Мардонов<sup>1</sup><sup>a</sup>, Н.А. Нишонов<sup>1</sup><sup>b</sup>, М.Ж. Бердибаев<sup>1</sup><sup>c</sup>, А.Ч. Хуррамов<sup>1</sup><sup>d</sup>,  
Р.Р. Аъзамов<sup>2</sup><sup>e</sup>

<sup>1</sup>Институт механики и сейсмостойкости сооружений имени М.Т. Уразбаева Академии наук Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан

<sup>2</sup>Национальный исследовательский институт сейсмической безопасности и устойчивого строительства при Ташкентском архитектурно-строительном университете, Ташкент, Узбекистан

**Аннотация:** На практике встречаются задачи, связанные с расчетами группы свай, заглубленных в грунтовую среду на различную глубину погружения. При этом основное внимание уделяется оценке влияния внешней грунтовой среды на величину перемещения свай и развития контактных усилий в местах связи свай с несущими балками. Как показывают результаты наблюдения состояния мостовых сооружений при действии внешних сил, особенно сейсмических, наибольшие повреждения конструкции происходят в местах стыка свай с балками. В работе изучен колебательный процесс жесткой балки, контактирующей с двумя сваями через упругие элементы. Дана оценка влияния коэффициентов жесткостей на АЧХ колебания балки.

**Ключевые слова:** мост, балка, опора, колебания, перемещение, грунт, сейсмическая нагрузка

### 1. Введение

В настоящее время в связи с ростом населения и развитием городов строительство автомобильных дорог в городах значительно увеличилось. Мосты являются важной частью дорожных сетей и играют важную роль в снижении транспортной нагрузки, поддержании работы автомобильных мостов в случае бедствия, такого как землетрясение. Мосты и другие конструкции в сейсмических регионах должны обладать способностью противостоять землетрясениям [1-3].

При проектировании свайных фундаментов следует учитывать следующие факторы: грунтовые условия

площадки строительства; гидрогеологический режим; особенности устройства свай; наличие шлама под нижним концом свай. Из анализа данных о разрушении мостов [3, 4] отмечается значительное влияние местных условий на сильное движение грунта и последующее повышение уязвимости мостов на участках с мягким грунтом. Многие мосты и возвышенные дорожные пути пересекают водные объекты, где распространены отложения мягкого грунта. Во время землетрясения Хёго-Кен Нанбу (Кобе, 1995) произошел значительный ущерб и обрушение мостов, построенных рядом или в пределах залива Осака [5, 6].

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0002-5192-2107>

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0003-3281-8053>

<sup>c</sup> <https://orcid.org/0000-0002-4858-8232>

<sup>d</sup> <https://orcid.org/0000-0003-3591-6468>

<sup>e</sup> <https://orcid.org/0009-0008-8506-9715>



Кроме того, многие участки подверглись разжижению, что привело к постоянным деформациям подструктуры и потере устойчивости опоры мостов (рис.1).



**Рис.1. Обрушение пролетного строения моста Нишиномия-ко при землетрясении Хёго-Кен-Нанбу в 1995 году**

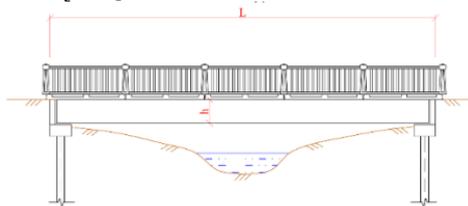
Участки грунта, расположенные непосредственно над разломом, приходят в движение со значительными горизонтальными и вертикальными ускорениями грунта, а также большими импульсами скорости. Движения грунта вблизи разлома могут предъявлять большие деформационные требования к податливым конструкциям. Это обстоятельство требует, что все расчеты свай, свайных фундаментов и их оснований следует выполнять с использованием расчетных значений характеристик материалов и грунтов.

При землетрясениях опоры и пролетные строения мостов динамически взаимодействуют друг с другом и их совокупность реагирует на движения основания как единая колебательная система. Поэтому основной задачей теории сейсмостойкости мостовых сооружений является исследование совместных колебаний пролетных строений и опор, вызванных колебаниями основания [7-12].

Основной метод исследования состоит в кратком описании подсистем мониторинга с реальными примерами и иллюстрацией основных принципов работы и анализа.

## 2. Методология

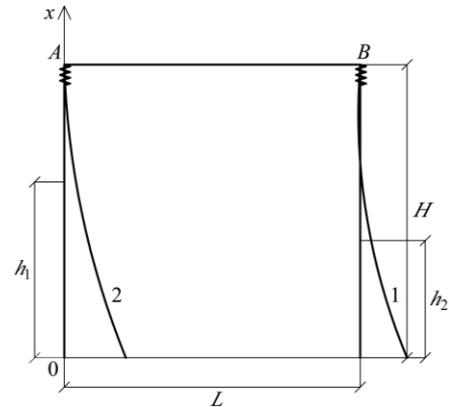
При землетрясениях опоры и пролетные строения мостов динамически взаимодействуют друг с другом и их совокупность реагирует на движения основания как единая колебательная система. Поэтому основной задачей теории сейсмостойкости мостовых сооружений является исследование совместных колебаний пролетных строений и опор, вызванных колебаниями основания [7-12].



**Рис.2. Схема однопролетного балочного моста**

В данной работе рассмотрен однопролетный железобетонный мост (рис.2), который представлен в виде двух одинаковых свай равной длины,

контактирующих с пролетным строением. В данной работе изучены колебания двух свай в виде балок квадратного сечения с равными длинами  $L$ , частично заложенных в грунтовую среду, и совместно несущих жесткую балку массой  $M$ , причем каждая свая взаимодействует с грунтовой средой по закону Винклера (рис. 2 и 3). Основание совершает горизонтальное движение по закону  $w = W \sin \omega t$ .



**Рис.3. Схема колебаний двух свай, несущих жесткую балку с упругими элементами**

Установим начало координат в нижнем сечении 1-свай и направим ось  $Ox$  вертикально вверх. Обозначим через  $w_{11}(x,t)$  и  $w_{12}(x,t)$  прогибы 1-ой балки соответственно на участках  $0 < x < h_1$ ,  $h_1 < x < H$ . Аналогично обозначим через  $w_{21}(x,t)$  и  $w_{22}(x,t)$  прогибы второй балки соответственно на участках  $0 < x < h_2$ ,  $h_2 < x < H$  ( $H$  - общая высота свай).

В каждой зоне прогибы свай  $w_{ij}(x,t)$  и перемещение балки  $w(t)$  удовлетворяют уравнениям

$$EJ \frac{\partial^4 w_{11}}{\partial x^4} + m \frac{\partial^2 w_{11}}{\partial t^2} + k_1 w_{11} = 0 \quad 0 < x < h_1 \quad (1)$$

$$EJ \frac{\partial^4 w_{12}}{\partial x^4} + m \frac{\partial^2 w_{12}}{\partial t^2} = 0 \quad \text{при } h_1 < x < H \quad (2)$$

$$EJ \frac{\partial^4 w_{21}}{\partial x^4} + m \frac{\partial^2 w_{21}}{\partial t^2} + k_2 w_{21} = 0 \quad 0 < x < h_2 \quad (3)$$

$$EJ \frac{\partial^4 w_{22}}{\partial x^4} + m \frac{\partial^2 w_{22}}{\partial t^2} = 0 \quad \text{при } h_2 < x < H \quad (4)$$

и следующим граничным условиям

$$\frac{\partial w_{11}}{\partial x} = 0, \quad \text{при } x=0 \quad (5)$$

$$EJ \frac{\partial^3 w_{11}}{\partial x^3} = k_{01} (w_{11} - w_0)$$

$$w_{11} = w_{12},$$

$$\frac{\partial w_{11}}{\partial x} = \frac{\partial w_{12}}{\partial x}, \quad \frac{\partial^2 w_{11}}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 w_{12}}{\partial x^2} \quad \text{при } x=h_1 \quad (6)$$

$$= \frac{\partial^2 w_{12}}{\partial x^2}, \quad \frac{\partial^3 w_{11}}{\partial x^3} = \frac{\partial^3 w_{12}}{\partial x^3}$$



$$\frac{\partial w_{21}}{\partial x} = 0, \quad \text{при } x=0 \quad (7)$$

$$EJ \frac{\partial^3 w_{21}}{\partial x^3} = k_{02}(w_{21} - w_0)$$

$$w_{21} = w_{22},$$

$$\frac{\partial w_{21}}{\partial x} = \frac{\partial w_{22}}{\partial x}, \quad \frac{\partial^2 w_{21}}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 w_{22}}{\partial x^2} \quad \text{при } x=h_2 \quad (8)$$

$$= \frac{\partial^2 w_{22}}{\partial x^2}, \quad \frac{\partial^3 w_{21}}{\partial x^3} = \frac{\partial^3 w_{22}}{\partial x^3}$$

$$w'_{12} = 0, \quad w'_{22} = 0,$$

$$w'''_{12} = -\frac{k_{11}}{EJ}(w_{12} - w), \quad \text{при } x=H \quad (9)$$

$$w'''_{22} = -\frac{k_{12}}{EJ}(w_{22} - w),$$

где  $EJ$  - изгибная жесткость балки,  $m$  - погонная масса свай,  $k_1, k_2$  - коэффициенты постели для каждой зоны контакта сваи (балки) с грунтом соответственно,  $k_{01}, k_{02}$  - коэффициенты жесткости контакта при сдвиге нижнего сечения сваи с основанием,  $k_{11}, k_{12}$  - коэффициенты жесткости упругого контакта балки со сваями.

Решения уравнений (1) - (4) и амплитуда колебания балки  $w(t)$  представим в виде

$$w_{ij}(x,t) = W_{ij}(x) \sin \omega t, \quad w = W_b \sin \omega t,$$

где функции  $W_{ij}(x)$  удовлетворяют уравнениям и следующим условиям

$$EJ \frac{\partial^4 w_{11}}{\partial x^4} + (k_1 - m\omega_0^2)W_{11} = 0 \quad 0 < x < h_1 \quad (10)$$

$$EJ \frac{\partial^4 w_{12}}{\partial x^4} - m\omega_0^2 W_{12} = 0 \quad \text{при } h_1 < x < H \quad (11)$$

$$EJ \frac{\partial^4 w_{21}}{\partial x^4} + (k_2 - m\omega_0^2)W_{21} = 0 \quad 0 < x < h_2 \quad (12)$$

$$EJ \frac{\partial^4 w_{22}}{\partial x^4} - m\omega_0^2 W_{22} = 0 \quad \text{при } h_2 < x < H \quad (13)$$

$$W'_{11} = 0,$$

$$W'''_{11} - k_{01}W_{11} / EJ = \quad \text{при } x=0 \quad (14)$$

$$= k_{01}W_0 / EJ$$

$$W_{11} = W_{12}, \quad W'_{11} = W'_{12},$$

$$W''_{11} = W''_{12}, \quad W'''_{11} = W'''_{12}, \quad \text{при } x=h_1 \quad (15)$$

$$W'_{12} = 0,$$

$$W'''_{12} - k_{02}W_{11} / EJ = \quad \text{при } x=0 \quad (16)$$

$$- k_{02}W_0 / EJ$$

$$W_{21} = W_{22}, \quad W'_{21} = W'_{22},$$

$$W''_{21} = W''_{22}, \quad W'''_{21} = W'''_{22}, \quad \text{при } x=h_2 \quad (17)$$

$$W'_{12} = 0, \quad W'_{22} = 0,$$

$$W'''_{12} = -\frac{k_{11}}{EJ}(W_{12} - W_1), \quad \text{при } x=H \quad (18)$$

$$W'''_{22} = -\frac{k_{12}}{EJ}(W_{22} - W_1),$$

Полагая  $k_2 < k_1$ ,  $\omega_0 < \sqrt{k_2/4m}$ , решения уравнений (9)-(12) представим через функции Крылова

$$W_{11} = C_1 Y_1(\beta_1(\xi - \bar{h}_1)) +$$

$$+ C_2 Y_2(\beta_1(\xi - \bar{h}_1)) +$$

$$+ C_3 Y_3(\beta_1(\xi - \bar{h}_1)) +$$

$$+ C_4 Y_4(\beta_1(\xi - \bar{h}_1)), \quad \text{при } 0 < \xi < \bar{h}_1$$

$$W_{12} = C_1 S_1[\omega(\xi - \bar{h}_1)] +$$

$$+ C_2 \frac{\beta_1}{\omega} S_2[\omega(\xi - \bar{h}_1)] +$$

$$+ C_3 \frac{\beta_1^2}{\omega^2} S_3[\omega(\xi - \bar{h}_1)] +$$

$$+ C_4 \frac{\beta_1^3}{\omega^3} S_4[\omega(\xi - \bar{h}_1)] \quad \text{при } \bar{h}_1 < \xi < 1$$

$$W_{21} = B_1 Y_1(\beta_2(\xi - \bar{h}_2)) +$$

$$+ B_2 Y_2(\beta_2(\xi - \bar{h}_2)) +$$

$$+ B_3 Y_3(\beta_2(\xi - \bar{h}_2)) +$$

$$+ B_4 Y_4(\beta_2(\xi - \bar{h}_2)) \quad \text{при } 0 < \xi < \bar{h}_2$$

$$W_{22} = B_1 S_1[\omega(\xi - \bar{h}_2)] +$$

$$+ B_2 \frac{\beta_2}{\beta_0} S_2[\omega(\xi - \bar{h}_2)] +$$

$$+ B_3 \frac{\beta_2^2}{\beta_0^2} S_3[\omega(\xi - \bar{h}_2)] +$$

$$+ B_4 \frac{\beta_2^3}{\beta_0^3} S_4[\omega(\xi - \bar{h}_2)] \quad \text{при } \bar{h}_2 < \xi < 1$$

где  $Y_j(z)$  и  $S_j(z)$  - функции Крылова

$$Y_1 = \cos \beta_1 z \operatorname{ch} \beta_1 z, \quad Y_2 = (\sin \beta_1 z \operatorname{ch} \beta_1 z + \cos \beta_1 z \operatorname{sh} \beta_1 z),$$

$$Y_3 = \sin \beta_1 z \operatorname{sh} \beta_1 z, \quad Y_4 = (\sin \beta_1 z \operatorname{ch} \beta_1 z - \cos \beta_1 z \operatorname{sh} \beta_1 z),$$

$$S_1 = 0.5 * (\operatorname{ch} \omega z + \cos \omega z), \quad S_2 = 0.5 * (\operatorname{sh} \omega z + \sin \omega z),$$

$$S_3 = 0.5 * (\operatorname{ch} \omega z - \cos \omega z), \quad S_4 = 0.5 * (\operatorname{sh} \omega z - \sin \omega z),$$

$$\xi = \frac{x}{H}, \quad \omega = \sqrt{\frac{mL^4 \omega_0^2}{EJ}}, \quad \beta_1 = \sqrt[4]{\omega_1^2 - \omega^2},$$

$$\beta_2 = \sqrt[4]{\omega_2^2 - \omega^2}, \quad \omega_1 = \sqrt{\frac{k_1 L^4}{4EJ}},$$

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{k_2 L^4}{4EJ}}, \quad \bar{h}_1 = \frac{h_1}{H}, \quad \bar{h}_2 = \frac{h_2}{H}.$$

Рассмотрим случай жесткого контакта сваи с основанием, где полагаем  $k_{01} \rightarrow \infty$  и  $k_{02} \rightarrow \infty$ . Постоянные



$C_i, B_i$  ( $i=1,2,3,4$ ) определяются из граничных условий (13), (15), (17)-(18), которые записываем в виде

$$c_{11}C_1 + c_{12}C_2 + c_{13}C_3 + c_{14}C_4 = W_0, \quad (19)$$

$$c_{12}C_1 + c_{22}C_2 + c_{23}C_3 + c_{24}C_4 = 0, \quad (20)$$

$$b_{11}B_1 + b_{12}B_2 + b_{13}B_3 + b_{14}B_4 = W_0, \quad (21)$$

$$b_{21}B_1 + b_{22}B_2 + b_{23}B_3 + b_{24}B_4 = 0, \quad (22)$$

$$a_{11}C_1 + a_{12}C_2 + a_{13}C_3 + a_{14}C_4 = W_1, \quad (23)$$

$$a_{21}C_1 + a_{22}C_2 + a_{23}C_3 + a_{24}C_4 = 0, \quad (24)$$

$$d_{11}B_1 + d_{12}B_2 + d_{13}B_3 + d_{14}B_4 = W_1, \quad (25)$$

$$d_{21}B_1 + d_{22}B_2 + d_{23}B_3 + d_{24}B_4 = 0, \quad (26)$$

$$\begin{aligned} c_{11} &= Y_1(-\beta_1\bar{h}_1), c_{12} = Y_2(-\beta_1\bar{h}_1)\omega/2\beta_1, \\ c_{13} &= Y_3(-\beta_1\bar{h}_1)\omega^2/2\beta_1^2, c_{14} = Y_4(-\beta_1\bar{h}_1)\omega^3/4\beta_1^3, \\ c_{21} &= -\beta_1Y_4(-\beta_1\bar{h}_1), c_{22} = \omega Y_1(-\beta_1\bar{h}_1), \\ c_{23} &= Y_2(-\beta_1\bar{h}_1)\omega^2/2\beta_1, c_{24} = Y_3(-\beta_1\bar{h}_1)\omega^3/2\beta_1, \\ b_{11} &= Y_1(-\beta_1\bar{h}_2), b_{12} = \omega Y_2(-\beta_2\bar{h}_2)\omega/2\beta_2, \\ b_{13} &= Y_3(-\beta_2\bar{h}_2)\omega^2/2\beta_2^2, b_{14} = Y_4(-\beta_2\bar{h}_2)\omega^3/4\beta_2^3, \\ b_{21} &= -\beta_2Y_4(-\beta_2\bar{h}_2), b_{22} = \omega Y_1(-\beta_2\bar{h}_2), \\ b_{23} &= Y_2(-\beta_2\bar{h}_2)\omega^2/2\beta_2, b_{24} = Y_3(-\beta_2\bar{h}_2)\omega^3/2\beta_2, \\ a_{11} &= S_1(\omega\bar{h}_{11}), a_{12} = \frac{\beta_1 S_2(\omega\bar{h}_{11})}{\omega}, \\ a_{13} &= \frac{\beta_1^2 S_3(\omega\bar{h}_{11})}{\omega^2}, a_{14} = \frac{\beta_1^3 S_4(\omega\bar{h}_{11})}{\omega^3}, \\ a_{21} &= S_4(\omega\bar{h}_{11}), a_{22} = \frac{\beta_1 S_1(\omega\bar{h}_{11})}{\omega}, \\ a_{23} &= \frac{\beta_1^2 S_2(\omega\bar{h}_{11})}{\omega^2}, a_{24} = \frac{\beta_1^3 S_3(\omega\bar{h}_{11})}{\omega^3}, \\ d_{11} &= S_1(\omega\bar{h}_{21}), d_{12} = \frac{\beta_2 S_2(\omega\bar{h}_{21})}{\omega}, \\ d_{13} &= \frac{\beta_2^2 S_3(\omega\bar{h}_{21})}{\omega^2}, d_{14} = \frac{\beta_2^3 S_4(\omega\bar{h}_{21})}{\omega^3}, \\ d_{21} &= S_4(\omega\bar{h}_{21}), d_{22} = \frac{\beta_2 S_1(\omega\bar{h}_{21})}{\omega}, \\ d_{23} &= \frac{\beta_2^2 S_3(\omega\bar{h}_{21})}{\omega^2}, d_{24} = \frac{\beta_2^3 S_3(\omega\bar{h}_{21})}{\omega^3}. \quad (27) \end{aligned}$$

где  $W_0$  – перемещение основания,  $W_1$  и  $W_2$  – соответственно перемещения сечения  $x=H$  сваи,

$$\bar{h}_{11} = 1 - \bar{h}_1, \bar{h}_{21} = 1 - \bar{h}_2,$$

$$\bar{h}_1 = h_1/H, \bar{h}_2 = h_2/H.$$

Полагаем  $C_i = r_i W_1 + s_i W_0$ ,  $B_i = q_i W_1 + n_i W_0$ ,  $i=(1, 2, 3, 4)$  (28)

где  $r_i, s_i, q_i$  и  $n_i$  определяются из системы (19) - (26)

$$r_1 = \frac{r_{22}}{\Delta_1}, s_1 = -\frac{r_{12}}{\Delta_1}, r_2 = \frac{r_{11}}{\Delta_1}, s_2 = -\frac{r_{21}}{\Delta_1},$$

$$r_3 = r_1\Delta_{11} + r_2\Delta_{12}, s_3 = s_1\Delta_{11} + s_2\Delta_{12},$$

$$r_4 = r_1\Delta_{21} + r_2\Delta_{22}, s_4 = s_1\Delta_{21} + s_2\Delta_{22},$$

$$r_{11} = c_{11} + c_{13}\Delta_{11} + c_{14}\Delta_{21},$$

$$r_{12} = c_{12} + c_{13}\Delta_{12} + c_{14}\Delta_{22},$$

$$r_{21} = a_{11} + a_{13}\Delta_{11} + a_{14}\Delta_{21},$$

$$r_{22} = a_{12} + a_{13}\Delta_{12} + a_{14}\Delta_{22},$$

$$\Delta_1 = r_{11}r_{22} - r_{21}r_{12}, \Delta_{11} = \frac{c_{24}a_{21} - a_{24}c_{21}}{\Delta_0},$$

$$\Delta_{12} = \frac{c_{24}a_{22} - a_{24}c_{22}}{\Delta_0}, \Delta_{21} = \frac{a_{23}c_{21} - c_{23}a_{21}}{\Delta_0},$$

$$\Delta_{22} = \frac{a_{23}c_{22} - c_{23}a_{22}}{\Delta_0}, \Delta_0 = c_{23}a_{24} - a_{23}c_{24}.$$

$$q_1 = \frac{q_{22}}{\nabla_1}, n_1 = -\frac{q_{12}}{\nabla_1}, q_2 = \frac{q_{11}}{\nabla_1}, n_2 = -\frac{q_{21}}{\nabla_1},$$

$$q_3 = q_1\nabla_{11} + q_2\nabla_{12}, n_3 = s_1\nabla_{11} + n_2\nabla_{12},$$

$$q_4 = q_1\nabla_{21} + q_2\nabla_{22}, s_4 = n_1\nabla_{21} + n_2\nabla_{22},$$

$$q_{11} = b_{11} + b_{13}\nabla_{11} + b_{14}\nabla_{21},$$

$$q_{12} = b_{12} + b_{13}\nabla_{12} + b_{14}\nabla_{22},$$

$$q_{21} = d_{11} + d_{13}\nabla_{11} + d_{14}\nabla_{21},$$

$$q_{22} = d_{12} + d_{13}\nabla_{12} + d_{14}\nabla_{22},$$

$$\nabla_1 = q_{11}q_{22} - q_{21}q_{12}, \nabla_{11} = \frac{b_{24}d_{21} - d_{24}b_{21}}{\nabla_0},$$

$$\nabla_{12} = \frac{b_{24}d_{22} - d_{24}b_{22}}{\nabla_0}, \nabla_{21} = \frac{d_{23}b_{21} - b_{23}d_{21}}{\nabla_0},$$

$$\nabla_{22} = \frac{d_{23}b_{22} - b_{23}d_{22}}{\nabla_0}, \nabla_0 = b_{23}d_{24} - d_{23}b_{24}.$$

Перерезывающие силы в сечении  $x=H$  каждой сваи будут равны

$$EJ \frac{d^3 W_{21}(H)}{dx^3} = A_{11}W_1 + A_{01}W_0, \quad (29)$$

$$EJ \frac{d^3 W_{22}(H)}{dx^3} = A_{12}W_1 + A_{02}W_0,$$

$$A_{11} = r_1\omega^3 S_2(\omega\bar{h}_{11}) + r_2\omega^2 \beta_1 S_3(\omega\bar{h}_{11}) + r_3\beta_1^2 \omega S_4(\omega\bar{h}_{11}) + r_4\beta_1^3 S_1(\omega\bar{h}_{11}),$$

$$A_{01} = s_1\omega^3 S_2(\omega\bar{h}_{11}) + s_2\omega^2 \beta_1 S_3(\omega\bar{h}_{11}) + s_3\beta_1^2 \omega S_4(\omega\bar{h}_{11}) + s_4\beta_1^3 S_1(\omega\bar{h}_{11}),$$

$$A_{12} = q_1\omega^3 S_2(\omega\bar{h}_{21}) + q_2\omega^2 \beta_2 S_3(\omega\bar{h}_{21}) + q_3\beta_2^2 \omega S_4(\omega\bar{h}_{21}) + q_4\beta_2^3 S_1(\omega\bar{h}_{21}),$$

$$A_{02} = n_1\omega^3 S_2(\omega\bar{h}_{21}) + n_2\omega^2 \beta_2 S_3(\omega\bar{h}_{21}) + n_3\beta_2^2 \omega S_4(\omega\bar{h}_{21}) + n_4\beta_2^3 S_1(\omega\bar{h}_{21}),$$

Из условий упругого контакта сваи с балкой следует



$$EJ \frac{d^3 W_{21}(H)}{dx^3} = -k_1(W_1 - W_b), \quad (30)$$

$$EJ \frac{d^3 W_{21}(H)}{dx^3} = -k_2(W_2 - W_b),$$

где  $W_b$  – перемещение балки,  $k_1$  и  $k_2$  - коэффициенты жесткости связи балки со сваями. Сравнивая формулы (29) и (30), установим связи между перемещениями сечений свай  $W_1$ ,  $W_2$  и балкой  $W_b$  основания  $W_0$  из которых определяем

$$\left( \bar{k}_1 = \frac{k_1 H^3}{EJ}, \bar{k}_2 = \frac{k_2 H^3}{EJ} \right).$$

$$W_1 = \frac{\bar{k}_1}{k_1 + A_{11}} W_b - \frac{A_{01}}{\bar{k}_1 + A_{11}} W_0,$$

$$W_2 = \frac{\bar{k}_2}{k_2 + A_{12}} W_b - \frac{A_{02}}{\bar{k}_2 + A_{12}} W_0.$$

Из уравнения движения балки под действием упругих сил следует

$$-m\omega_0^2 W_b = -k_1(W_1 - W_b) - k_2(W_2 - W_b). \quad (31)$$

Здесь  $m$  – масса балки.

Поставляя из (31) выражения  $W_1$  и  $W_2$ , получаем

$$W_b = W_0 \frac{\alpha_0}{\alpha_1 + m_1 \omega^2}$$

$$\text{где } \alpha_0 = -\frac{A_{01}}{k_1 + A_{11}} \bar{k}_1 - \frac{A_{02}}{k_2 + A_{12}} \bar{k}_2,$$

$$\alpha_1 = \frac{A_{11}}{k_1 + A_{11}} \bar{k}_1 + \frac{A_{12}}{k_2 + A_{12}} \bar{k}_2, \quad m_1 = \frac{mH}{\rho J}.$$

### 3. Результаты исследования

На рис. 4 представлены кривые зависимости перемещения балки от безразмерной частоты для различных значений коэффициентов жесткости  $k_1$  и  $k_2$  связи свай с балкой. В расчетах принято:

$E=2 \cdot 10^{10}$  Па,  $H=8$  м,  $h_1=0.6H$ ,  $h_2=0.4H$ ,  $m=3000$  кг,  $\rho=6000$  кг/м<sup>3</sup>,  $W_0=5$  мм площадь поперечного квадратного сечения свай со сторонами равными 0.3 м.

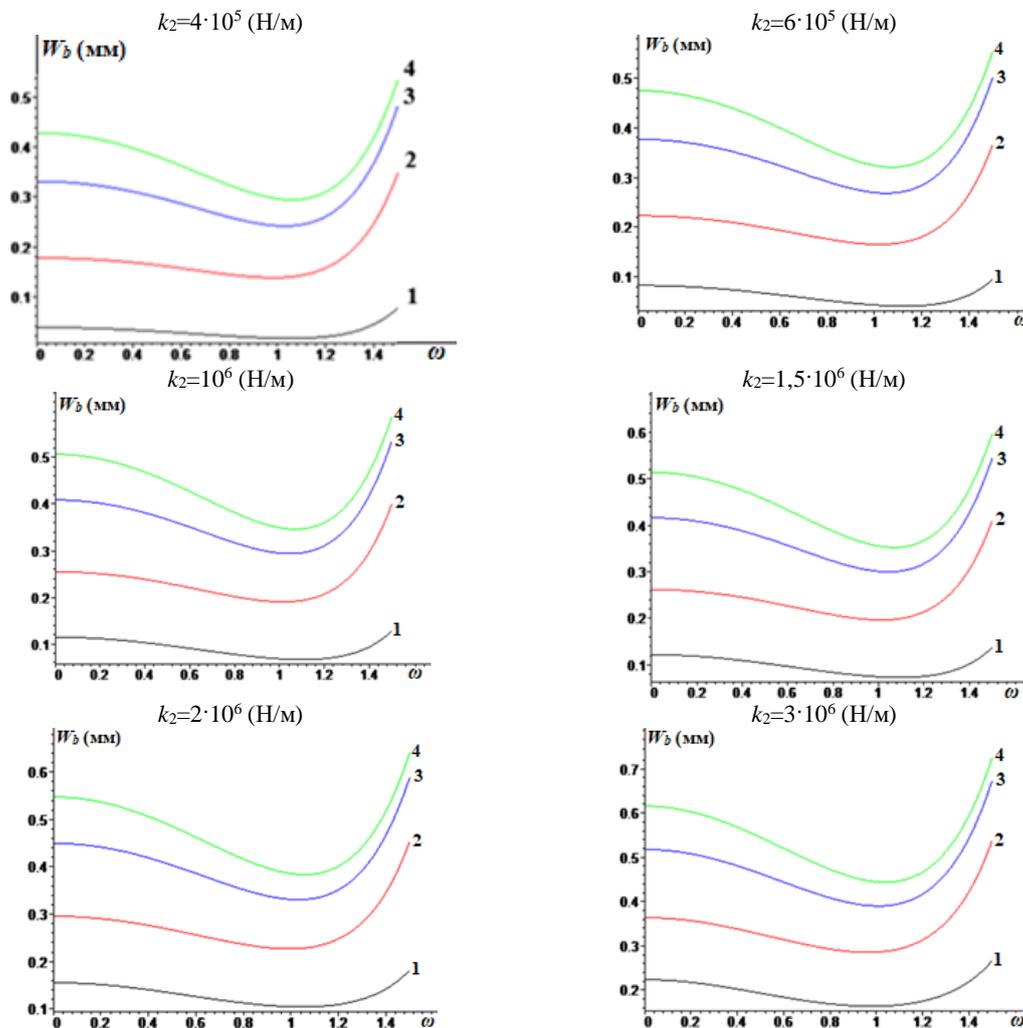


Рис.4. Кривые изменения амплитуды колебаний балки  $W_b$  (мм) от безразмерной частоты  $\omega$  при различных значениях коэффициентов жесткости  $k_1$  и  $k_2$  (Н/м):  
1- $k_1=10^6$ , 2- $k_1=6 \cdot 10^6$ , 3- $k_1=10^6$ , 4- $k_1=10^7$

Из анализа кривых представленных на рис.4 следует,

что перемещение балки в принятых интервалах



изменения частоты с ростом коэффициентов жесткости упругих элементов также увеличивается. При частотах близких к единице амплитуда колебаний балки принимает минимальные значения. Резонансные явления для выбранных параметров и интервала изменения частоты отсутствуют. Таким образом, можно сделать вывод, наличие грунтов с высокими коэффициентами постели могут в значительной степени влиять на амплитудные частотные характеристики колебаний балки.

#### 4. Заключение

Характер колебательного процесса двух жёстко связанных между собой свай в значительной степени определяется разностью глубин заложения свай в грунтовую среду. При сохранении глубины погружения одной сваи и уменьшении глубины другой наблюдается рост амплитуды колебаний жёстко связанной со сваями массивной недеформируемой балки (рис.4). Анализ результатов расчёта прогибов и напряжений выявил существенное различие в характере распределения прогибов по длине двух свай с разной глубиной заложения. Причем, для сваи с большей глубиной заложения ее максимальные прогибы достигаются вблизи контакта с основанием, тогда как у сваи с меньшей глубиной заложения прогибы непрерывно уменьшаются по длине (рис.4). Из анализа законов распределения напряжений по длине свай следует (рис.4), что максимальные значения напряжений возникают в нижних сечениях свай, причем их наибольшие значения достигаются в свае, имеющей большую глубину заложения в грунтовую среду.

#### Использованная литература / References

- [22] B. Mardonov., M. Berdibaev., A. Khurramov. Vibrations of a Girder on Rigid Supports of Finite Mass Interacting With Soil under Seismic Loads. E3S Web of Conferences. 2021. №264. P.02038. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126402038> CONMECHYDRO, 2021.
- [23] B. Mardonov., N. Nishonov., M. Berdibaev. Calculation of beam road bridges for seismic loads taking into account the interaction of supports with the ground. AIP Conference Proceedings 2612, 040017 (2023); <https://doi.org/10.1063/5.0113617>. Published Online: 15 March 2023.
- [24] Карцивадзе Г.Н. Сейсмостойкость дорожных искусственных сооружений при сильных землетрясениях. М.: Транспорт, 1974, 260 с.
- [25] Шестоперов Г.С. Сейсмостойкость мостов. М.: Транспорт, 1984.–143 с.
- [26] Chung, R. et al., The January 17, 1995 Hyogoken-Nanbu (Kobe) Earthquake, NIST Special Publication 901, National Institute of Standards and Technology, July 1996, 544 pp.
- [27] EERI, Earthquake Engineering Research Institute, The Hyogo-Ken Nanbu Earthquake, January 17, 1995, Preliminary Reconnaissance Report, Feb. 1995, 116 pp.
- [28] Rashidov T.R., Shermuxamedov U.Z. Transport inshootlaring zilzilabardoshligi: darslik / Rashidov T.R., Shermuxamedov U.Z. – Toshkent: Complex Print, 2020. - 408 b.

[29] B. Mardonov., N. Nishonov., Kh. Baybulatov., M. Berdibaev. The effect of a seismic wave on a two-span beam on rigid supports interacting with the ground E3S Web of Conferences 401, 03070 / CONMECHYDRO – 2023. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340103070>.

[30] Пастернак П.Л. Основы нового метода расчета фундаментов на упругом основании при помощи двух коэффициентов постели. Гос. изд. литературы по строительству и архитектуры М.-Л., 1954.

[31] Рашидов Т.Р., Кузнецов С.В., Мардонов Б.М., И.Мирзаев И. Прикладные задачи сейсмодинамики сооружений. Книга 1. Ташкент изд-во Навруз 2019, 568 с.

[32] Джонсон К. Механика контактного взаимодействия.

[33] Власов В.З., Леонтьев Н.Н. Балки, плиты и обложки на упругом основании. М.1960, 491с.

#### Сведения об авторах / Information about the authors

**Мардонов  
Батиржан /  
Mardonov  
Batirjan**

Главный научный сотрудник  
Института механики и  
сейсмостойкости сооружений  
имени М.Т. Уразбаева  
Академии наук Республики  
Узбекистан.,  
д-р физ.-мат. наук, профессор.  
E-mail: [batsam@list.ru](mailto:batsam@list.ru)  
Tel.: +998949465614  
<https://orcid.org/0000-0002-5192-2107>

**Нишонов  
Неъматилла  
Асатиллаевич /  
Nishonov  
Nematilla  
Asatillayevich**

Старший научный сотрудник  
Института механики и  
сейсмостойкости сооружений  
имени М.Т. Уразбаева  
Академии наук Республики  
Узбекистан., (PhD).  
Email: [nematilla81@mail.ru](mailto:nematilla81@mail.ru)  
Tel.: +998977819727  
<https://orcid.org/0000-0003-3281-8053>

**Бердибаев Марс  
Жанабаевич /  
Berdibaev Mars  
Janabaevich**

Старший научный сотрудник  
Института механики и  
сейсмостойкости сооружений  
имени М.Т. Уразбаева  
Академии наук Республики  
Узбекистан., (PhD).  
E-mail: [mars.berdibaev@mail.ru](mailto:mars.berdibaev@mail.ru)  
Tel.: +998913959041  
<https://orcid.org/0000-0002-4858-8232>

**Хуррамов Асрор  
Чориевич /  
Khurramov  
Asror  
Choriyevich**

Младший научный сотрудник  
Института механики и  
сейсмостойкости сооружений  
имени М.Т. Уразбаева  
Академии наук Республики  
Узбекистан.  
E-mail:  
[asorbekxuramov@mail.ru](mailto:asorbekxuramov@mail.ru)  
Tel.: +998909446530



<https://orcid.org/0000-0002-8338-2053>

**Rahmatali  
Rohatali ogli**

Ташкентском архитектурно-  
строительном университете.

E-mail:

[azamovrahmatalia@gmail.com](mailto:azamovrahmatalia@gmail.com)

Tel.: +998946845540

<https://orcid.org/0009-0008-8506-9715>

**Аъзамов  
Раҳматали  
Роҳатали угли /  
A'zamov**

Базовый докторант  
Национальный  
исследовательский института  
сейсмической безопасности и  
устойчивого строительства при



# Experience in Implementation and Prospects for the Development of Structural Health Monitoring Systems at Transport and Civil Infrastructure Facilities

A. Belyi<sup>1,2</sup><sup>a</sup>, Sh. Kadirova<sup>1</sup><sup>b</sup>, Mamadaliev MuhammadYusuf<sup>3</sup><sup>c</sup>

<sup>1</sup>Tashkent University of Architecture and Civil Engineering, Tashkent, Uzbekistan

<sup>2</sup>K2 Engineering LLC, Moscow, Russia

<sup>3</sup>“O‘zyo‘lko‘prik Klasteri” State Institution, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** The paper presents a theoretical analysis of the integrated operation of structural health monitoring (SHM) subsystems applied to transport and civil infrastructure facilities. Bridge structures are identified as the primary field of SHM implementation due to their complex operational conditions. The study considers instrumental monitoring (stress–strain condition, accelerations, inclinations) and geodetic monitoring (GNSS-based displacement control). Advantages, limitations, and practical applications of each subsystem are discussed. It is demonstrated that the integrated use of monitoring subsystems significantly improves measurement accuracy and enhances reliability of structural condition assessment and forecasting.

**Keywords:** structural health monitoring, bridges, GNSS, stress–strain condition, accelerations, inclinometers, displacement monitoring

## Опыт реализации и перспективы развития систем мониторинга инженерных конструкций на объектах транспортной и гражданской инфраструктуры

Belyi A.A.<sup>1,2</sup><sup>a</sup>, Kadirova Sh.Sh.<sup>1</sup><sup>b</sup>, Мамадалиев МухаммадЮсуф<sup>3</sup><sup>c</sup>

<sup>1</sup>Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

<sup>2</sup>ООО “K2 Engineering” Москва, Россия

<sup>3</sup>«Ўзйўлқўприк кластер» Гос. Учреждение, Ташкент, Узбекистан

**Аннотация:** В статье представлен теоретический анализ интегрированной работы подсистем мониторинга состояния конструкций (SHM), применяемых на объектах транспортной и гражданской инфраструктуры. В связи со сложными условиями эксплуатации мостовые сооружения выделяются в качестве основного направления внедрения SHM. В исследовании рассматривается инструментальный мониторинг (напряженно-деформированное состояние, ускорения, наклоны) и геодезический мониторинг (контроль перемещений на основе ГНСС). Обсуждаются преимущества, ограничения и практические применения каждой подсистемы. Показано, что комплексное использование подсистем мониторинга значительно повышает точность измерений и повышает надежность оценки и прогнозирования состояния конструкций.

**Ключевые слова:** мониторинг состояния конструкций, мосты, ГНСС, напряженно-деформированное состояние, ускорения, инклинометры, мониторинг перемещений

## 1. Введение

В настоящее время системы мониторинга являются наиболее адекватным и точным инструментом по диагностике объектов гражданского и транспортного строительства как во время их возведения, так и особенно в период последующей эксплуатации [[34], [36], [37], [39], [42], [43]]. Эта тенденция наблюдается параллельно с новыми современными подходами глобального информационного моделирования и обследования искусственных сооружений [[44]]. Различными примерами применения систем

мониторинга являются транспортные объекты: мосты [[41], [42], [45], [46], [48]], тоннели [[49], [50]], набережные, дамбы [[51]] и гидротехнические сооружения, а также отдельные элементы объектов транспортной инфраструктуры [[52], [53], [54]], но основной сферой применения систем мониторинга являются мостовые конструкции [[38], [41], [42], [45], [46], [48], [55], [56]]. По всей видимости это связано со сложными условиями их эксплуатации, что, впоследствии, напрямую влияет на степень сложности

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0002-2825-1368>

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0009-0007-6148-9785>

<sup>c</sup> <https://orcid.org/0009-0007-0059-8072>



работ по их ремонту и содержанию: зачастую мостовые сооружения расположены через большие реки, заливы, искусственные преграды.

Кроме того, данная тема (системы мониторинга с классификацией на типы и комбинации) до сих пор не имеет всестороннего анализа и результатов. Несмотря на ряд диссертаций за последние годы [[57], [58], [59], [60], [61], [62], [63], [64]], вопрос координации и одновременной работы подсистем мониторинга до сих пор открыт для исследований и требует некоторого анализа.

В этой связи основная цель настоящей статьи – теоретическая иллюстрация совместной работы различных подсистем мониторинга конструкций, делающих исследования в области управления техническим состоянием конструкций гораздо простыми и, что более важно, точными. С этой целью даны описания некоторых подсистем, с их возможностями, преимуществами и недостатками

## 2. Методология

Мониторинг [2, 7, 16] – это процесс постоянного контроля за текущим состоянием любого объекта с накоплением и оценкой собираемой информации, контроля изменения технического состояния во времени и взаимодействия объекта контроля с природными и техногенными факторами.

Как указано в работе [9], стремительный рост числа большепролетных и высотных искусственных сооружений по всему миру очевидно привел к ускорению развития и внедрения систем инструментального мониторинга.

Основной метод исследования состоит в кратком описании подсистем мониторинга с реальными примерами и иллюстрацией основных принципов работы и анализа.

Вкратце, данные (англ. data, D), необходимые для заказчика, могут быть получены от подсистем мониторинга, что может описано следующим образом:

$$D = \{ \text{SDC} \& \text{INCL} \& \text{ACC} \& \text{DISP} \} \quad (1),$$

где

SDC – Напряженно-деформированное состояние (англ. Stressed-Deformed Condition) (напряжения и деформации);

INCL – Наклоны (англ. Inclines) (углы поворота);

ACC – Ускорения (англ. Acceleration) (ускорения сами по себе и их производные, такие как вибрации и частотные характеристики);

DISP – Перемещения (англ. Displacement) (абсолютные и относительные).

Напряженно-деформированное состояние (SDC) обычно контролируется тензометрическим способом. Для его реализации разработаны специальные приборы – тензометры. Они измеряют деформацию в определенной точке (зоне) элемента конструкции, и затем, используя закон Гука, определяются напряжения. Деформации, измеряемые на отрезке, называемом базой S, при работе в упругой стадии характеризуются малыми значениями. Тензометрами измеряют абсолютное удлинение (укорочение)  $\Delta S$  и по ним определяют среднюю относительную деформацию:

$$\varepsilon = \Delta S / S \quad (2).$$

Для того чтобы средняя относительная деформация точнее отражала истинную, база S должна быть по возможности меньшей.

При линейном напряженном состоянии для определения напряжения достаточно измерить  $\Delta S$  – на базе, расположенной по направлению действующего усилия. По полученному значению  $\varepsilon$  и известному модулю упругости E вычисляют напряжение:

$$\sigma = \varepsilon E \quad (3).$$

Подсистема контроля ускорений предоставляет динамические параметры сооружений в виде наборов ускорений и частотных картин колебаний. Они (параметры) интегрально содержат данные о жесткостях, массах сооружения и внешних воздействиях.

Результаты измерений при «динамическом мониторинге» позволяют выявить скрытые изменения прочностных свойств конструкций [15]. Таким образом, в задачи динамического мониторинга входит следующее:

- определение доминирующих частот свободных колебаний;
- оценка влияния сейсмической активности на динамическую работу сооружения;
- установление уровня влияния транспортных нагрузок на динамические характеристики;
- анализ частот с целью оценки и прогноза изменения технического состояния.

Подсистема контроля наклонов/углов поворота возможно самая простая технически среди других, так она требует лишь базовых геометрических и физических познаний для проектирования, выбора и расстановки специализированных датчиков.

Как известно, инклинометры (или наклонометры) измеряют угол наклона различных объектов относительно гравитационного поля Земли. В настоящее время наибольшее применение нашли двухкоординатные инклинометры для возможности проведения измерений в двух направлениях (как правило, вдоль и поперек оси сооружения).

Вкратце работа инклинометров описывается в работе [13]. Их основой являются древние наблюдения, связанные с уровнем воды.

При использовании инклинометров у них есть одно существенное ограничение в области применения. Когда инклинометр расположен в зоне, с одинаковыми углами поворота с двух сторон. Например, это середина разрезной балки. Даже при поворотах на большую величину в опорных зонах датчик не наклонится. Поэтому располагать инклинометры следует в точках пересечения гармоник ряда Фурье с осью стержня [14], что для большепролетных сооружений определяется по формуле:

$$y(x) = y_0 + \sum_{i=1}^n \left( y_{si} \sin \frac{\pi i x}{L} + y_{ci} \cos \frac{\pi i x}{L} \right) \quad (4)$$

Подсистема перемещений контролируется методами геодезического мониторинга (подсистема спутникового позиционирования ГНСС).

В основе спутниковой системы мониторинга деформаций лежит принцип дифференциального (относительного) спутникового позиционирования с помощью сигналов ГНСС.

Геометрические дальности до спутников вычисляется методом разрешения фазовой неоднозначности OTF (On-the-fly - разрешение неоднозначности «на лету», используемое к быстро



смещаемым точкам) или Quasy-Static (квази-статика, когда предварительно известны координаты точек и их смещение медленное).

После того как будут найдены геометрические дальности до спутников, методом пространственной линейной засечки определяется пространственный вектор (приращение координат) между спутниковыми антеннами базовой станции и станции мониторинга:

$$D = (XB - XA, YB - YA, ZB - ZA)T \quad (5)$$

где,  
XA, YA, ZA – значения координат точки мониторинга;  
XB, YB, ZB – значения координат базовой станции.

### 3. Результаты исследования

В целом, анализируя различные подсистемы мониторинга, следует подчеркнуть тот факт, что методы инструментального мониторинга зачастую используются совместно практически на всех внеклассных и больших мостах. Так, это подтверждается публикациями [1, 8, 9, 13, 15, 23], а также исследованиями авторов настоящей статьи [16, 22]; практически нереально использовать отдельные элементы мониторинга. Только в отдельных случаях можно использовать какой-то один тип датчика (оборудования), а не комплексный набор разнообразных сенсоров.

Авторы вкратце описали теорию каждой из подсистем. Легко обнаружить, что каждая из них имеет абсолютно разную физическую и математическую подоснову. Однако вместе, в совокупности, возможно получить единую интегральную систему мониторинга конструкций.

В таблице 1 мы дали оценку преимуществ и недостатков каждой из подсистем. “+++” обозначает высокую точность и возможности подсистемы, “++” – среднюю, “+” – частичное использование, “-” – невозможность контроля параметров подсистемой.

Таблица 1

Подсистема	SDC	ACC	INCL	DISP
Инструментальный мониторинг	+++	+++	++	+
Геодезический мониторинг	-	++	+++	+++

### 4. Заключение

1). Мониторинг конструкций – современный и точный инструмент по управлению техническим состоянием мостовых объектов.

2). Следует выделять две основных подсистемы мониторинга – инструментальный и геодезический, позволяющие контролировать все параметры, требуемые для контроля – data (D).

3). Параметры контроля (Data (D) состоят из четырех групп характеристик: SDC – напряженно-деформированное состояние (напряжения и деформации); INCL – инклинометрия (углы поворота); ACC – ускорения (сами по себе и производные характеристики, такие как вибрации и частоты); DISP – перемещения (абсолютные и относительные).

4). Некоторые характеристики могут быть получены только определенными (уникальными) датчиками, но в большинстве случаев различные средства

инструментального и геодезического мониторинга следует использовать совместно.

5). Одновременное использование различных подсистем мониторинга делает результаты измерения более точными, а анализ и прогноз состояния – более интегральным (комплексным).

### Список литературы / References

[34] Sumitro S. Structural Health Monitoring System Applications in Japan / S. Sumitro, M.L. Wang. / In: Ansari F. (eds) Sensing Issues in Civil Structural Health Monitoring. Springer, Dordrecht, 2005. – pp. 495-504. [https://doi.org/10.1007/1-4020-3661-2\\_49](https://doi.org/10.1007/1-4020-3661-2_49).

[35] Andersen J. E. Structural health monitoring systems. / J. E. Andersen, M. Fustinoni. Italy: L&S S.r.l. Servizi Grafici, 2006. – 126 p.

[36] Rucker W. Guideline for structural health monitoring. Final report / W. Rucker, F. Hille, R. Rohrmann. SAMCO, Berlin, 2006. – 63 p.

[37] Li J and Hao H. Damage detection of shear connectors under moving loads with relative displacement measurements. Mech Syst Signal Pr 2015; 60–61: 124–150.

[38] Ana Paula Camargo Larocca, João Olympio De Araújo Neto, Jorge Luiz Alves Trabanco, Augusto César Barros Barbosa, André Luiz Barbosa Nunes Da Cunha, Ricardo Ernesto Schaal. Uso de receptores GPS de 100 HZ na detecção de deflexões verticais milimétricas de pontes de concreto de pequeno porte [The use of GPS at a rate of 100 HZ to detect millimetric vertical deflections of small sized concrete bridges]. Bol. Ciênc. Geod., sec. Artigos, Curitiba, v. 21, no 2, p.290-307, abr-jun, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-21702015000200017>

[39] Lienhart, W., Ehrhart, M. State of the art of geodetic bridge monitoring. Structural Health Monitoring 2015: System Reliability for Verification and Implementation - Proceedings of the 10th International Workshop on Structural Health Monitoring, IWSHM 2015 DOI: 10.12783/SHM2015/58

[40] Mustafa Furkan, Qiang Mao, Matteo Mazzetti, John DeVitis, S. Paul Sumitro, Fred Faridazar, A. Emin Aktan, Franklin Moon, Ivan Bartoli. An investigation on wireless sensors for asset management and health monitoring of civil structures. Sensors and Smart Structures Technologies for Civil, Mechanical, and Aerospace Systems 2016, edited by Jerome P. Lynch, Proc. of SPIE Vol. 9803, 98033E doi: 10.1117/12.2218908.

[41] Mosbeh R. Kaloop and Jong Wan Hu. Dynamic Performance Analysis of the Towers of a Long-Span Bridge Based on GPS Monitoring Technique/ Journal of Sensors Volume 2016 (2016), Article ID 7494817, 14 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2016/7494817>

[42] Yang Y. Specifications and applications of the technical code for monitoring of building and bridge structures in China. // Y. Yang, Q. S. Li, B. W. Yan. Advances in Mechanical Engineering. – 2017. – Vol. 9 (1). p. 1–10. DOI: 10.1177/1687814016684272.

[43] Geoffrey R. Thomas, Akbar A. Khatibi. Durability of structural health monitoring systems under impact loading. Procedia Engineering 188 ( 2017 ) 340 – 347

[44] Антонюк А.А., Чижов С.В. Принципы информационного моделирования транспортных сооружений // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №3 (2017)

[45] Wenzel H. Health monitoring of bridges. / H. Wenzel. Chichester: John Wiley & Sons, 2009. – 621 p.



[46] Ященко А.И. От водяного уровня до высокоточного инклинометра // А.И. Ященко. Журнал "Геопроби", № 4/2010. – М.: Информационное агентство "ГРОМ", 2010 – С. 17 - 19.

[47] Andrei Belyi, German Osadchy, Kirill Dolinskiy. Practical Recommendations for Controlling of Angular Displacements of High-Rise and Large Span Elements of Civil Structures // Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2018) – С. 176-183. 10.1109/EWDTS.2018.8524743.

[48] Яшнов А.Н. Некоторые результаты работы системы динамического мониторинга академического моста через р. Ангару в Иркутске. // А.Н. Яшнов, Т.М. Баранов. Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2017. - №1(60). с. 199-209.

[49] Belyi A.A. Structural health and geotechnical monitoring during transport objects construction and maintenance (Saint-Petersburg example). // A.A. Belyi, E.S. Karapetov, Yu. S. Efimenko. Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 189. p.145–151. PИ: S1877-7058(17)32145-8 DOI:10.1016/j.proeng.2017.05.024

[50] Коробова О.А. Состояние вопроса мониторинга подземных конструкций на современном этапе // О.А. Коробова, Л.А. Максименко. Интерэкспо гео-сибирь. – 2017, том 3, №2. С. 269-275.

[51] Хиллер Б. Исследование автоматизированной системы деформационного мониторинга шлюзовых камер. // Б. Хиллер, Х.К. Ямбаев. Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2016. - №3. С. 33-38.

[52] Ефанов Д.В. Функциональный контроль и мониторинг устройств железнодорожной автоматики и телемеханики. Монография. / Д.В. Ефанов – СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016. – 171 с..

[53] Хиллер Б. Цифровые инклинометры в системах автоматизированного геодезического мониторинга деформаций // Б. Хиллер. Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка, №6, 2015. – М.: Московский государственный университет геодезии и картографии, 2015. – С. 23-30.

[54] Ефанов Д.В. Организация непрерывного мониторинга углов наклона опор железнодорожной контактной сети // Д.В. Ефанов, Г.В. Осадчий, Д.В. Седых, Д.В. Барч. // Транспорт Урала. – 2017. – №:2 (53) с: 37-41 DOI: 10.20291/1815-9400-2017-2-37-41

[55] Брынь М.Я. Геодезический мониторинг деформаций вантовых мостов на основе спутниковых технологий. // М.Я. Брынь, Е.Г. Толстов, А.А. Никитчин, Б. Резник, А.И. Ященко, О.В. Евстафьев, В.А. Кучумов. – 2009. «Известия Петербургского Университета Путей Сообщения», выпуск 2(19)/– СПб.: ПГУПС, 2009 – с.120-128.

[56] Сырков А.В. Оптимизация жизненного цикла моста на остров Русский во Владивостоке средствами анализа рисков и мониторинга // А.В. Сырков, О.В. Крутиков. Автоматизация в промышленности. – 2012. - №9. С. 45-50.

[57] Самитов Р.А. Системотехника организации инженерного мониторинга сложных строительных сооружений (на примере автодорожных мостов). Дисс. уч. ст. д.т.н. / Р.А. Самитов – 2001. – М. - 299 с.

[58] Гарамов О.В. Элементы системы профилактического мониторинга железобетонных мостов региональной сети автомобильных дорог. Дисс. уч. ст. к.т.н. / О.В. Гарамов – 2005. – СПб. – 187 с.

[59] Мазуров Б.Т. Изучение геодинамических процессов на основе моделирования геодезических и гравитационных параметров. Дисс. уч. ст. д.т.н. / Б.Т. Мазуров – 2007. – М. - 254 с.

[60] Хазанов М.Л. Анализ напряженно-деформированного состояния мостовых конструкций с использованием компьютерной измерительной системы. Дисс. уч. ст. к.т.н. / М.Л. Хазанов – 2007. – М. – 131 с.

[61] Коргина М.А. Оценка напряженно-деформированного состояния несущих конструкций зданий и сооружений в ходе мониторинга их технического состояния. Дисс. уч. ст. к.т.н. / М.А. Коргина – 2008. – М. – 225 с.

[62] Никитчин А.А. Геоинформационный мониторинг вантовых мостов спутниковыми методами. Дисс. уч. ст. к.т.н. / А.А. Никитчин – 2009. – СПб. 148 с.

[63] Мизин В.Е. Совершенствование методов геодезического обеспечения мониторинга линейных объектов. Дисс. уч. ст. к.т.н. / В.Е. Мизин – 2012. – Новосибирск. – 180 с.

[64] Скрипникова М.А. Разработка и совершенствование методик геодезических измерений для обеспечения эксплуатации гидротехнических сооружений и оборудования. Дисс. уч. ст. к.т.н. / М.А. Скрипникова – 2012. – Новосибирск. – 165 с.

## Сведения об авторах / Information about the authors

<p><b>Белый Андрей</b> <b>Анатолевич /</b> <b>Andrei</b> <b>Anatolievich Belyi</b></p>	<p>д.т.н, доцент, академик Международной академии транспорта, академик Российской академии транспорта, технический директор ООО «K2 Инжиниринг», профессор кафедры «Мосты и тоннели» Ташкентского государственного транспортного университета E-mail: andbelyi@mail.ru</p>
<p><b>Кадирова</b> <b>Шарофат</b> <b>Шавкатовна /</b> <b>Sharofat</b> <b>Shavkatovna</b> <b>Kadirova</b></p>	<p>старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели» Ташкентского государственного транспортного университета E-mail: kadyrova.sharofat@mail.ru</p>
<p><b>Мамадалиев</b> <b>МухаммадЮсуф /</b> <b>Mamadaliyev</b> <b>MuhammadYusuf</b></p>	<p>«Ўзйўлқўприк кластер» Гос. Учреждение, отдел “Диагностика мостов и искусственных сооружений”, главный специалист E-mail: yusuf.botirovich@gmail.com https://orcid.org/0009-0007-0059- 8072</p>



## On the issue of assessing a monolithic reinforced concrete overpass under seismic impacts

U. Shermukhamedov<sup>1</sup><sup>a</sup>, Sh. Mirkhodjaev<sup>2</sup><sup>b</sup>, A. Karimova<sup>1</sup><sup>c</sup>, A. Abdullaev<sup>1</sup><sup>d</sup>

<sup>1</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

<sup>2</sup>Chairman of the Uzbekistan Association of Road Engineers, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** In order to improve the transport infrastructure of the Republic of Uzbekistan, monolithic structures of bridges and overpasses began to be used. The article presents the calculation of a monolithic bridge on the 1083rd km of the M-39 highway passing through the city of Samarkand. The main goal was to determine the structural parameters of the overpass with seismic load, especially the influence of friction forces on the overpass foundation. The calculations were carried out using the Midas Civil software package using the finite element method (FEM) based on linear spectral theory. In the calculations of the Midas Civil PC, carried out within the framework of linear spectral theory, it was determined that the pile pressure on the lower soil does not exceed the limit and the maximum value of the bending moment coincides with the pile head moment.

**Keywords:** Bridges and overpasses, stress-strain state, thermal expansion, internal pressure, linear elasticity, finite displacement method, boundary conditions, radial stress, numerical modeling, mechanical behavior, long-term operation

## К вопросу оценке монолитного железобетонного путепровода при сейсмических воздействиях

У. Шермухамедов<sup>1</sup><sup>a</sup>, Ш. Мирходжаев<sup>2</sup><sup>b</sup>, А. Каримова<sup>1</sup><sup>c</sup>, А. Абдуллаев<sup>1</sup><sup>d</sup>

<sup>1</sup>Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

<sup>2</sup>Председатель Ассоциации дорожников Узбекистана, Ташкент, Узбекистан

**Аннотация:** В целях улучшения транспортной инфраструктуры Республики Узбекистан начали использовать монолитное строение мостов и путепроводов. В статье приведен расчет монолитного моста на 1083-м км автомобильной дороги М-39, проходящей через город Самарканд. Основной целью было определение конструктивных параметров путепровода с силой сейсмической нагрузки, особенно влияния вызываемого силами трения на фундамента путепровода. Расчеты проводились с использованием программного пакета Midas Civil методом конечных элементов (МКЭ) на основе линейной спектральной теории. В расчетах ПК Midas Civil, проведенных в рамках линейно-спектральной теории, было определено, что давление сваи на нижний грунт не превышает предела и наибольшее значение изгибающего момента совпадает с моментом головки сваи.

**Ключевые слова:** Мосты и эстакады, напряженно-деформированное состояние, термическое расширение, внутреннее давление, линейная упругость, метод конечных перемещений, граничные условия, радиальное напряжение, численное моделирование, механическое поведение, долгосрочная эксплуатация

### 1. Введение

В настоящее время в наших крупных городах достигаются положительные результаты в управлении транспортным потоком путем строительства новых современных мостов по современным проектам совместно с ведущими мировыми международными организациями в области мостостроения. Сегодня развитие городского пассажирского транспорта является одной из самых острых проблем, стоящих перед процессом формирования современного

мегаполиса. Это вызывает серьезные проблемы с транспортными и пассажирскими перевозками, пробки и не позволяет людям быстро и легко добраться до места назначения. В настоящее время в узбекском мостостроении изучаются новые современные методы проектирования и строительства, применяются новые приемы и технологии, постепенно отказываясь от принципов типового проектирования и строительства [1-4]. Одним из известных и нетрадиционных способов

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0003-1718-5331>

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0009-0007-2301-8122>

<sup>c</sup> <https://orcid.org/0000-0003-4568-4728>

<sup>d</sup> <https://orcid.org/0000-0002-8338-2053>



является метод монолитного строительства. Применение данного способа широко распространено в строительстве уникальных объектов в крупных городах мира [5]. Этот подход очень популярен при строительстве уникальных объектов в крупных городах мира. На сегодняшний день г. Ташкент является одним из крупных мегаполисов, интенсивность движения и транспортный поток увеличились в 2-3 раза, а по улицам города в сутки проезжает более 700-800 тысяч автомобилей [4, 8]. Следовательно, строительство дорожной системы, транспортных объектов, таких как мосты, эстакады и подземные железные дороги, осуществляется в соответствии с новыми требованиями.

Для развития и улучшения дорожно-транспортной инфраструктуры крупного исторического города Самарканда начали использовать монолитный способ возведения мостов и путепроводов. Одним из ярких примеров этого является новый путепровод, который реализуется на 1083-м км автомобильной дороги М-39, проходящей через город Самарканд (рис. 1). Как видно, одной из острых проблем является разработка технических решений (проектирование и расчет) монолитных железобетонных мостов и эстакад. Она оказывает аккумулятивный эффект на строительство мостовой отрасли Республики Узбекистан [6-9].



Рис. 1. Современные монолитные железобетонные мосты и путепроводы в Ташкенте и Самарканде

## 2. Методика исследования

Конструкции мостов обычно при проведении расчетов на статические и сейсмические воздействия моделируются в виде балочно-разрезных, балочно-неразрезных и балочно-консольных схем. Мостовые сооружения состоят из многих элементов, наиболее важными из них являются опоры и опорные части. Рассмотрим трехпролетный железобетонный монолитный мост, длиной 110 м и шириной 10,5 м, имеет переменную толщину вдоль моста. Пролетное строение моста выполнено неразрезной монолитной железобетонной расчетной схемой 33м+42м+33м индивидуального проектирования. По фасаду пролетное строение выполнено плитой переменной высоты – 1.3м в пролете и 2.3 м над опорой. На рисунке 2 представлен общий вид путепровода.

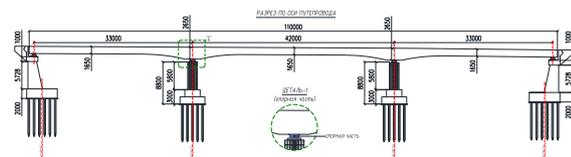


Рис. 2. Фасад монолитного железобетонного путепровода в Самарканде

Промежуточные опоры имеют размеры: высота 5.85 м, ширина по фасаду – 2 м, а по боковому направлению имеет переменный размер по высоте от 5 м до 8.4 м.

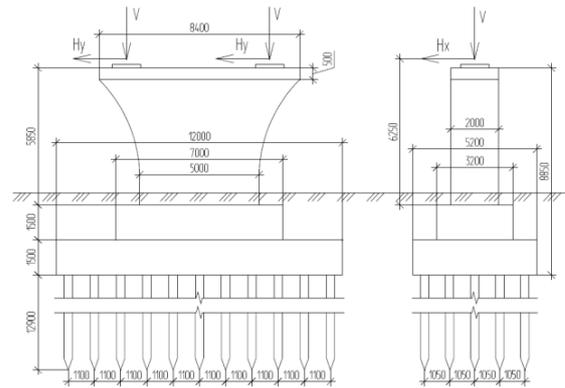


Рис. 3. Обзор промежуточной опоры

Землетрясение выдается по спектральному методу, фундамент жестко соединён с основанием, что придает возможность конструкции сдвигаться с основанием во время землетрясения [17]. Сейсмичность территории г. Самарканда, согласно карты сейсмического микрорайонирования, выполненного институтом Сейсмологии в 1980 г., оценивается в 9 и 8 баллов. Участок проектируемого строительства расположен в 8-ти балльной зоне [17-18].

В соответствии с таблицей 1.1 КМК 2.01.03-96 [10] в пределах площадки в верхней 10-метровой толще, считая от подошвы фундаментов залегают грунты II категории по сейсмическим свойствам – суглинки с коэффициентом пористости  $e < 0,8$ , галечниковый грунт). В связи с этим, сейсмичность проектируемой строительной площадки предлагается принимать 8 балльной зоной.

## 3. Результаты исследования

Для облегчения собственного веса пролетных строений, при бетонировании будут монтированы пустоты образующие элементы в виде труб ПНД (низконапорные полиэтиленовые трубы), которые имеют диаметр 400 мм, длина труб при первом и третьем пролете составляет –16,5 метра, в центральном пролете – 22 метра.

Путепровод имеет 9-градусный угол пересечения с автодорожным магистралем. [13].

Эстакада рассчитана на сейсмические воздействия на основе метода конечных элементов (МКЭ) по линейно-спектральной теории в программном комплексе Midas Civil [19].

Midas Civil - это пакет программных продуктов, предназначенных для моделирования и вычислительного анализа транспортных объектов, объектов строительства, используемых в интересах бетонирования всех видов назначения, моделирования конструктивных элементов и оценки их несущей способности. MiDAS Civil - это инструмент инженерных программ, который разработал новую парадигму в проектировании мостов и гражданских сооружений. Интерфейс программы отличается простотой и удобством использования при одновременной реализации широкого спектра проектных задач, включая расчёты для решения нелинейных задач с применением механизмов формирования и ведения баз данных. Высокоразвитые расчётные модели и инструменты вычислительного анализа позволяют



эффективно устранять типичные проблемы, возникающие при оценке сейсмических характеристик сооружений, рассчитанных с использованием линейно-упругих моделей (ЛЭУ).

Сейсмоизоляция конструкции происходит за счет смещения периода колебаний основных тонов в зону высоких значений. Также происходит рассеивание энергии землетрясения за счет деформирования свинцового сердечника для LRB изоляторов.

Значение сейсмической нагрузки  $F$  принималось согласно нормативным документам:

КМК 2.01.03-96 Строительство в сейсмических районах [12]; ШНК 2.01.20-16. Строительство транспортных средств в сейсмических районах [13];

Eurocode 8 EN 1998-2-2011 Проектирование сооружений, сейсмостойкость Часть 2 [14, 16]; Ташкент, 2016.

С так называемыми “Правилами проектирования” [15].

Определенные сейсмические нагрузки были получены с учетом спектральной теории: - в направлении осей  $X$  и  $Y$  к горизонтальному действию:

$$S_{(i,k)}^{(X,Y)} = Q_k \cdot A \cdot K_{\delta} \cdot \beta_i \quad (1)$$

- для вертикального воздействия по направлению оси  $Z$ ,

$$S_{(i,k)}^Z = 0,5 \cdot Q_k \cdot A \cdot 1/q \cdot \beta_i \quad (2)$$

где: 0,5 – множитель согласно п. 4.16 ШНК 2.06.20-15;

$Q_k$  – вес сооружения (или его элемента), отнесенной к точке  $K$ , определяемой с учетом расчетных нагрузок;

$A$  – ускорение принято согласно п. 8.3.34 СП268.1325800.2016;

$A = 0,2 \text{ gm/s}^2$  – для сейсмичности 8 баллов;

$K_{\delta}$  – коэффициент диссипации согласно п. 2.16 КМК 2.01.03-96  $K_{\delta} = e^{((0,548 - \sqrt{\delta})(0,1 + 0,7/\sqrt{T_1}))}$  применен к горизонтальным составляющим сейсмического воздействия  $F_X, F_Y$ ;

$q$  – коэффициент работы по Eurocode 8 EN 1998-2-2011.

Согласно п. 2.3.2.2 Eurocode 8 EN 1998-2-2011, в предварительно напряженных конструкциях не допускается образование пластических шарниров, с учетом применения сейсмоизолирующих устройств на опорах, а также п. 2.3.2.3 Eurocode 8 EN 1998-2-2011 в расчет введен коэффициент работы  $q=1,5$  к вертикальной составляющей сейсмического воздействия  $F_Z$  [8, 11].

$\beta_i$  – коэффициент динамичности, в зависимости от периода  $T$ .

В расчете принята спектральная кривая  $\beta_i(T)$  согласно ШНК 2.06.20-15 формула 4.2, но без учета требования  $\beta_i > 0,8$  (Fig. 4).

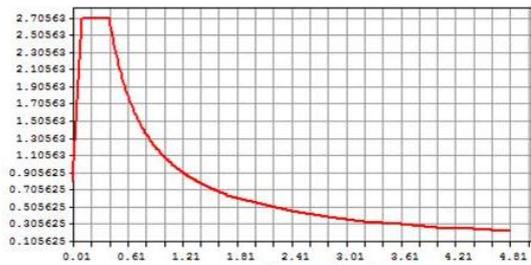


Рисунок 4. График спектральной кривой

Сейсмические силы  $F_X, F_Y, F_Z$  приложены по трем ортогональным направлениям, усилия и перемещения от них следует рассматривать с обоими знаками.

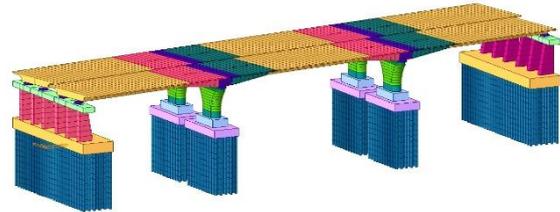


Рисунок 5. Расчетная модель Midas Civil

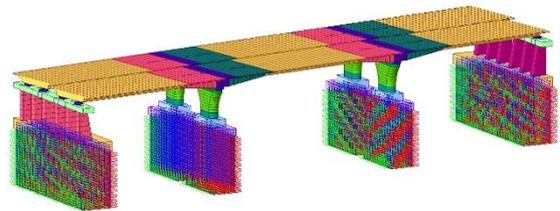


Рисунок 6. Расчетная модель Midas Civil. Закрепление свай

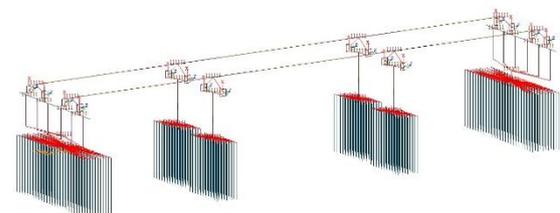


Рисунок 7. Расчетная модель Midas Civil. Закрепление пролетного строения

Реакции от постоянной нагрузки, с учетом преднапряжения, приходящиеся на опору:

$$V_1 + V_2 = 862m + 767m + 1629m \quad (3)$$

Горизонтальная составляющая сейсмической силы, приходящаяся на опору от постоянного нормативного веса пролетного строения и мостового полотна определяется в соответствии с п. 4.18 ШНК 2.06.20-15:

$$S_{yPC} = 0,05 \cdot 2,7 \cdot 1629t = 219,9t$$

Вес тела опоры, расположенного выше обреза фундамента:

$$V_{OP} = 168,1t \quad (4)$$



Горизонтальная составляющая сейсмической силы, в соответствии с п. 4.18 ШНК 2.06.20-15.

$$S_{yop} = 0,05 \cdot 2,7 \cdot 168,1 \text{ м} = 22,7 \text{ м} \quad (5)$$

Вес ростверка опоры:

$$V_{ROST} = 312,2 \text{ т}$$

Геометрические характеристики свай, для расчетной модели были получены согласно методики изложенной в приложении А ШНК 2.02.03-12.

Таблица 1

## Характеристики грунта

Слой грунта			
1	Толщина слоя	1,300	м
	Коэффициент пропорциональности	7000	кН/м <sup>4</sup>
	Удельный вес грунта	19,300	кН/м <sup>3</sup>
	Угол внутреннего трения	24,000	град.
	Коэффициент удельного сцепления грунта	27,500	кПа
2	Толщина слоя	2,400	м
	Коэффициент пропорциональности	50000	кН/м <sup>4</sup>
	Удельный вес грунта	19,600	кН/м <sup>3</sup>
	Угол внутреннего трения	43,000	град.
	Коэффициент удельного сцепления грунта	2,000	кПа
3	Толщина слоя	8,300	м
	Коэффициент пропорциональности	7000	кН/м <sup>4</sup>
	Удельный вес грунта	19,200	кН/м <sup>3</sup>
	Угол внутреннего трения	24,000	град.
	Коэффициент удельного сцепления грунта	23,000	кПа
4	Толщина слоя	20,000	м
	Коэффициент пропорциональности	50000	кН/м <sup>4</sup>
	Удельный вес грунта	19,600	кН/м <sup>3</sup>
	Угол внутреннего трения	43,000	град.
	Коэффициент удельного сцепления грунта	2,000	кПа

При расчете монолитного эстакады расчеты проводились с использованием программы MiDAS Civil для несущего фундамента конструкции с учетом следующих грунтовых условий [10].

Таблица 2

## Характеристики свайного фундамента

1	Тип сечения сваи	квадратное	
2	Введите сторону сечения сваи	0,35	м
3	Модуль упругости бетона сваи	30000000	кПа
4	Расстояние от поверхности грунта до низа сваи	13	м
5	Коэффициент Пуассона	0,2	-
Глубина L <sub>к</sub>		2,725	м
Количество слоев грунта, находящиеся в пределах глубины L <sub>к</sub>		2	шт.
Модуль сдвига бетона		12500000	кПа
Коэффициент пропорциональности		18759	кН/м <sup>4</sup>
Условная ширина сваи		1,025	м
Момент инерции поперечного сечения сваи		0,00125	м <sup>4</sup>
Коэффициент деформации		0,875	1/м
Приведенная глубина погружения сваи в грунт		11,37331	м

Горизонтальное перемещение сечения от силы N=1	9,717E-05	м/кН
Горизонтальное перемещение сечения от моменты M=1	5,645E-05	1/кН* м
Угол поворота сечения от силы N=1	5,645E-05	1/кН
Угол поворота сечения от момента M=1	5,335E-05	1/кН* м
Вертикальное перемещение от силы N=1	7,040E-06	м

По способу производства работ, свая является:	забивной	ξ= 0,6
---	----------	--------

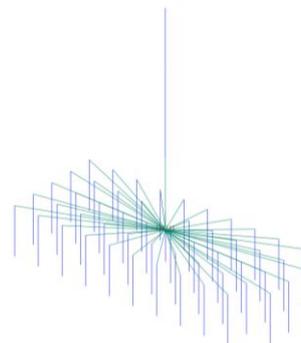


Рисунок 8. Расчетная схема промежуточной опоры в Midas Civil



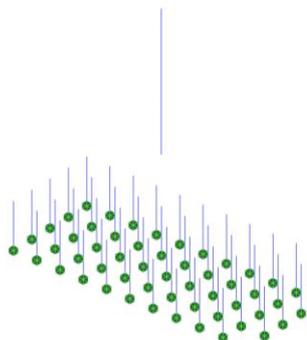


Рисунок 9. Конструктивная схема промежуточной опоры - свайного крепления

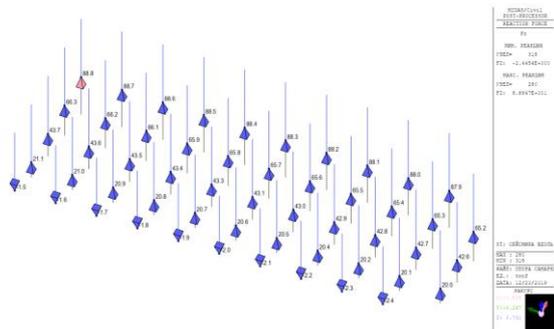


Рисунок 10. Реакции на узлах свайной арматуры от продольной сейсмичности

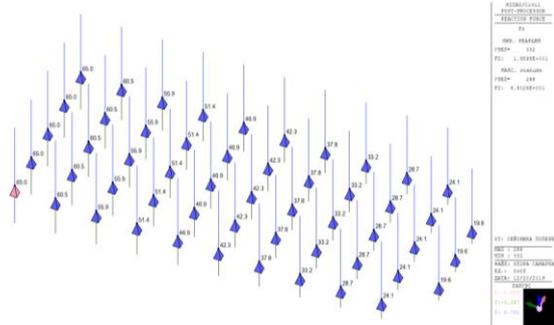


Рисунок 11. Реакции в узлах крепления свай от поперечной сейсмичности

Силы сейсмичности. Для продолжения расчетов была спроектирована модель проектирования эстакады в пакете программного обеспечения MiDAS Civil. Они приведены в результате расчета монолитного эстакады под динамической нагрузкой, при которой сейсмические эффекты  $F_H$ ,  $F_Y$ ,  $F_Z$  влияют на ортогональное использование трех направлений и эффекты должны учитываться как с знаками сил, так и с перемещениями.

На рисунках 12-15 показана силовая и моментная диаграмма сформированных опор из-за продольных и поперечных сейсмических воздействий.

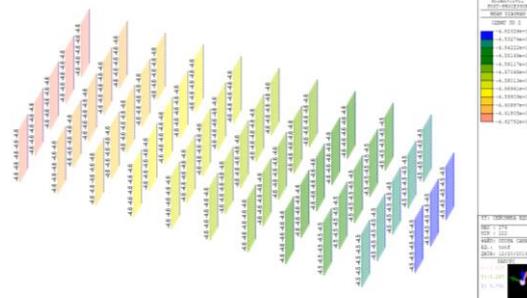


Рисунок 12. Эпюры продольных сейсмических сил резания

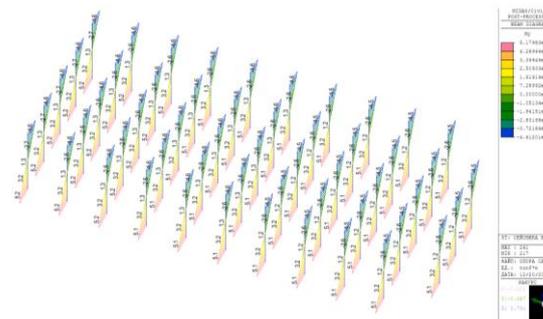


Рисунок 13. Диаграммы упругих моментов от продольной сейсмичности

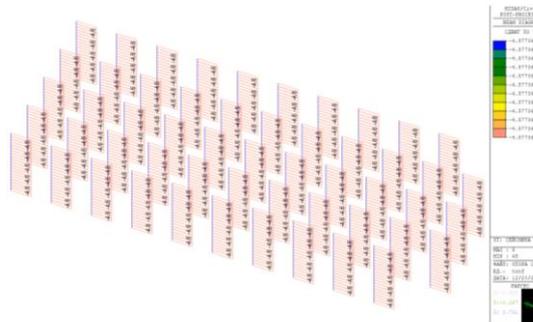


Рисунок 14. Диаграммы поперечных сейсмических сил

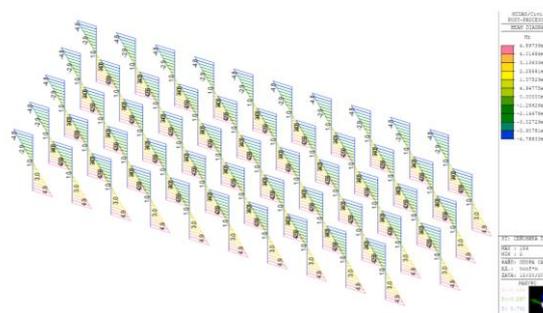


Рисунок 15. Диаграммы поперечных изгибающих моментов



## 4. Заключение

В рамках исследовательской работы были проработаны сейсмические воздействия неразрезного (моноконтинентного) железобетонного путепровода на участке протяженностью 1083 км автодороги М-39 через город Самарканд.

В последние годы в Узбекистане было построено множество инженерных сооружений, в частности, мосты и эстакады. Анализируя работы, выполненные в этот период, можно сказать, что в Республике существует значительный опыт проектирования и строительства типовых мостов не имеющей архитектурной привлекательности. Чтобы избежать этого недостатка в строительстве внедряются монолитные мосты и эстакады.

Расчеты проводились с использованием программного пакета Midas Civil методом конечных элементов (МКЭ) на основе линейной спектральной теории. Результаты показывают что, основной причиной повреждения опор мостов является возникновение продольных (горизонтальных) сейсмических воздействий в направлении оси моста.

В расчетах ПК Midas Civil, проведенных в рамках линейно-спектральной теории, было определено, что давление сваи на нижний грунт не превышает предела и наибольшее значение изгибающего момента совпадает с моментом головки сваи.

## Использованная литература / References

- [1] Шермухамедов У.З. & Каримова А.Б. (2022). Современные подходы проектирования и строительства мостов и путепроводов в Республике Узбекистан // Международный научный журнал Том 1, Выпуск 8 Серия А «Science and innovation» Декабрь, 2022. – с. 647-656. (<https://doi.org/10.5281/zenodo.7422524>)
- [2] U. Shermukhamedov, I. Mirzaev, A. Karimova, & A. Abdullaev. (2022). The influence of the type of rubber-metal bearings on the vibrations of monolithic bridges and overpasses, based on the records of real earthquakes // Proceedings of the Vth Central Asian Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Samarkand 2022. – p. 83-87.
- [3] U. Shermukhamedov, I. Mirzaev, A. Karimova, & D. Askarova. (2022). Calculation of the stress-strain state of monolithic bridges on the action of real seismic impacts // 1st International Scientific Conference "Modern Materials Science: Topical Issues, Achievements and Innovations" (ISCMSTIAI-2022), (Tashkent, Mart 4-5, 2022). pp. 314-321.
- [4] Шермухамедов У.З., Каримова А.Б., & Абдуллаев А.П. Shahar yo'l transporti infrastrukturasi rivojlantirishda zamonaviy monolit ko'priklar va yo'l o'tkazgichlarni loyihalash va qurishning o'ziga xos xususiyatlari // Transportda resurs tejamkor texnologiyalar. Xorijiy olimlari ishtirokidagi respublika ilmiy – texnika anjumani maqolalari, TDTTrU. 2021, 18-19 dekabr. – 210-215 б.
- [5] С.В. Чижов // Монолитное мостостроение: Материалы Междунар. науч. – практ. семинара (2003; СПб.) / ПГУПС. – СПб.: ПГУПС, 2003. - С. 35-37.
- [6] А.Б. Айнбиндер и А. Г. Камерштейн, Расчет магистральных трубопроводов на прочность и

устойчивость: Справочное руководство (Недра, Москва, 1982), с. 341.

[7] П.П. Бородавкин, Механика грунтов в трубопроводном строительстве, 2-е изд., перераб и расширенное (Недра, Москва, 1986), с. 224.

[8] А.Б. Каримова, "Содержание диссертации автореферата на соискание ученой степени доктора философии (PhD) по техническим наукам", Ташкент, 2023 г.

[9] U. Shermukhamedov, A. B. Karimova, A. R. Abdullaev, and I. Hikmatova, in CONMECHYDRO – 2022, E3S Web Conf. 365, edited by D. Bazarov (EDP Sciences, Tashkent, 2022), pp.

[10] Расчетный лист рабочего проекта "Строительство нового путепровода, проходящего на 1083 км автодороги М-39 в г. Самарканд" (2019).

[11] КМК 2.01.03-19, Строительство в сейсмических районах (Ташкент, 2019), 112 с.

[12] КМК 2.01.03-96, Строительство в сейсмических районах (Ташкент, 1997).

[13] ШНК 2.01.20-16, Строительство транспортнх сооружений в сейсмических районах (Ташкент, 2016).

[14] Eurocode 8 EN 1998-2:2011, Design of Structures for Earthquake Resistance – Part 2 (2011).

[15] СП 268.1325800.2016, Транспортные сооружения в сейсмических районах. Правила проектирования (2016).

[16] U.Z. Shermukhamedov, A.B. Karimova, A.R. Abdullaev, and I. Hikmatova, "Calculation of monolithic bridges taking into account the seismic conditions of the Republic of Uzbekistan," in Proc. Intl. Sci. Conf. Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering – CONMECHYDRO 2022, Tashkent, 23-24 Aug 2022, E3S Web Conf., vol. 365, art. no. 02005, pp. 3-11, 2022, doi: 10.1051/e3sconf/202336502005.

[17] U. Shermukhamedov, A.B. Karimova, A.R. Abdullaev, and Y.T. Khakimova, "Comparison of operating costs of reinforced concrete bridges and overpasses with different static schemes," E3S Web of Conferences, vol. 401, art. no. 02035, pp. 1–9, 2023, doi: 10.1051/e3sconf/202340102035.

[18] U.Z. Shermukhamedov, A.B. Karimova, and B.S. Zakirov, E3S Web Conf. 401, 01078 (2023).

[19] U. Shermukhamedov, Z.Z. Ergashev, S.M. Takhirov, and A.A. Abdullaev, "Improving reliability of Uzbekistan's transport infrastructure facilities under impact of natural hazards by analysis of its vulnerability, monitoring and modeling," ECCOMAS Proceedia COMPDYN, pp. 3817–3830, 2023, doi: 10.7712/120123.10682.21320.

## Информация об авторах/ Information about the authors

**Шермухамедов  
Улугбек  
Забихуллаевич/  
Shermukhamedov  
Ulugbek  
Zabihullaevich**

Ташкентский государственный  
транспортный университет  
Доктор технических наук,  
профессор,  
Email: [ulugbekjuve@mail.ru](mailto:ulugbekjuve@mail.ru)  
Tel.: +998903161181  
<https://orcid.org/0000-0003-1718-5331>



**Мирходжаев  
Шухрат  
Амануллаевич /  
Shukhrat  
Amanullaevich  
Mirkhodjaev**

Председатель Ассоциации  
дорожников Узбекистана  
E-mail: [shmirkhodjaev@mail.ru](mailto:shmirkhodjaev@mail.ru)  
Tel.:+ 998901898100  
<https://orcid.org/0009-0007-2301-8122>

**Каримова Анора  
Бахтиеровна /  
Karimova Anora  
Bakhtiyerovna**

Ташкентский государственный  
транспортный университет кафедра  
“Мосты и тоннели”, (PhD), доцент  
E-mail: [anorakarimovabakhtiyorovna@gmail.com](mailto:anorakarimovabakhtiyorovna@gmail.com)  
Tel.:+ 998909904443  
<https://orcid.org/0000-0003-4568-4728>

**Абдуллаев  
Абдурахим  
Ровшан угли /  
Abdullaev  
Abdurakhim  
Rovshan ugli**

Ташкентский государственный  
транспортный университет кафедра  
“Мосты и тоннели”, (PhD),  
ассистент  
E-mail: [abdurahim4095@gmail.com](mailto:abdurahim4095@gmail.com)  
Tel.:+ 998909446530  
<https://orcid.org/0000-0002-8338-2053>



## Mutual influence of parallel tunnels in an elastic medium in the epicentral zone of an earthquake

I. Mirzaev<sup>1,2</sup><sup>a</sup>, S.M. Gaynazarov<sup>3</sup><sup>b</sup>

<sup>1</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

<sup>2</sup>M.T. Urazbayev Institute of Mechanics and Seismic Resistance of Structures of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

<sup>3</sup>National University of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** When analyzing the interaction of parallel metro running tunnels in dynamic problems involving wave loading, it is necessary to limit the computational domain using artificial boundaries. This requires the formulation of boundary conditions that ensure transparency for both incoming external waves and internal waves reflected from structural elements. In this paper, exact non-reflecting boundary conditions are proposed. Based on the developed mathematical model, the behavior of tunnel linings under the action of longitudinal and shear waves in the epicentral zone of an earthquake is investigated. The numerical implementation is carried out using the finite element method and the Bathe time integration method. The influence of the distance between circular reinforced concrete linings under longitudinal and shear wave loading is studied. The calculation results demonstrate the high efficiency of the proposed transparent boundary conditions, which makes it possible to reliably investigate wave–structure interaction processes in underground structures under plane strain conditions.

**Keywords:** elastic medium, lining, transparent boundaries, wave propagation, finite element method, Bathe integration method

## Взаимовлияние параллельных тоннелей в упругой среде в эпицентральной зоне землетрясения

И. Мирзаев<sup>1,2</sup><sup>a</sup>, С.М. Гайназаров<sup>3</sup><sup>b</sup>

<sup>1</sup>Ташкентский государственный транспортный университет, г. Ташкент Узбекистан

<sup>2</sup>Институт механики и сейсмостойкости сооружений имени М.Т. Уразбаева АН Республики Узбекистан, г. Ташкент, Узбекистан

<sup>3</sup>Национальный Университет Узбекистана, г. Ташкент, Узбекистан

**Аннотация:** При расчете взаимовлияния параллельных перегонных тоннелей метрополитена для решения динамических задач на волновые воздействия требуется ограничение области искусственными границами. При этом возникает необходимость задания таких условий на границах, которые обеспечили бы их прозрачность для прохождения внешних и отраженных от объектов внутренних волн. В данной статье предложены точные условия неотражения волн на границах. На основе предложенной математической модели выполнено исследование поведения обделок при воздействии продольных и сдвиговых волн в эпицентральной зоне землетрясения. Численная реализация выполнена методом конечных элементов и методом Бате по времени. Исследовано влияние расстояния между круговыми железобетонными обделками при воздействии продольных и сдвиговых волн. Приведены результаты расчетов, показывающие хорошее качество условий прозрачности на искусственных границах, что позволяет проводить достоверные исследования процессов воздействия волн на подземные сооружения в случае плоской деформации.

**Ключевые слова:** упругая среда, обделка, прозрачные границы, распространение волны, метод конечных элементов, метод интегрирования Бате

### 1. Введение

При расчете сооружений в грунтовой среде при динамических воздействиях одним из важных условий является учет не отражения волн от границы расчетной области. Это позволяет оптимально ограничить область расчета для эффективного анализа результатов при численных расчетах.

В работе [1] впервые рассматривается данная проблема и предлагаются формулы зависимости напряжений от скоростей частиц плоских волн на искусственных границах. Следует отметить, что условие Лайсмера и их модификации являются приближенными условиями на границах. Эти условия

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0002-8616-9717>

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0009-0001-2535-1283>



дают хорошие результаты, когда нормаль к фронту волны с искусственной границей составляет прямой угол. В работе [2] для системы сооружение-основание использован учет волнового уноса энергии через неотражающую границу посредством использования условий Lysmer [1], с использованием метода конечных элементов. В статье [3] таким же способом использовался метод учета волнового уноса энергии при движении железнодорожного состава. В работе [4] исследована неоднородная плоская задача теории упругости с использованием метода конечных элементов в расчетах на распространение вибрации при прохождении поездов метро в параллельных тоннелях.

В статье [5] предложено использование фиктивной области с специальными свойствами поглощения волн, что является одним из решений проблемы не отражения на границах области. В этой статье связанная задача, включающая внутреннюю подобласть и поглощающие слои, реализуется через гетерогенные асинхронные интеграторы времени, что позволяет обрабатывать поглощающие слои с помощью явной схемы центральной разности. Представлен эталон для трехмерных явных асинхронных поглощающих слоев для моделирования неограниченных областей с помощью стандартного метода конечных элементов на основе перемещений.

В работе [6] предложен новый метод инверсии для реконструкции сложного некогерентного падающего волнового поля SH-волн в области, ограниченной волн поглощающими граничными условиями, с использованием метода оптимизации, ограниченной дифференциальным уравнением в частных производных.

Статья [7] является обзорной работой, в которой представлены различные модели, реализующие условия не отражения волн на границах ограниченной области. В статье [8] представлена новая процедура учета влияния свободного поля в модели сейсмического взаимодействия грунта и конструкции (SSSI) при использовании 8-узловых конечных элементов, ограниченных совместимыми поглощающими бесконечными элементами.

В статье [9] для одномерного волнового уравнения предложен метод получения прозрачных граничных условий и показана его численная реализация с использованием метода конечных разностей. Предложенный метод распространяется на трехмерное волновое уравнение с радиальной симметрией.

В работах [10], [11], [12] выполнен статический анализ напряженного состояния различных обделок тоннели метрополитена. Проведен анализ численных результатов в зависимости от глубины заложения тоннеля. В работе [13] рассмотрен расчет водопропускной туннели в грунте, усиленной бетоном с трех сторон, и выполнен частотный анализ с применением метода конечных элементов. В работе [14] представлен обзор динамического взаимодействия грунта и сооружения (SSI) для строительных конструкций и доступных методов моделирования для решения проблем SSI. Кроме того, освещены основные подходы к оценке проблем сейсмического взаимодействия грунта и сооружения с помощью широко используемых методов моделирования и вычислительных методов. Также обсуждаются и сравниваются сильные стороны, ограничения и случаи применения каждой модели.

В работе [15] предлагаются точные неотражающие граничные условия для внешних волновых уравнений с использованием на границах интегральных уравнений.

В работе [16] исследовано распространение продольной волны в грунте с насыпью на поверхности земли с учетом прозрачности искусственных границ. В ней авторами использовались условия прозрачности, с добавлением дополнительного члена, связанного с касательными напряжениями.

При недостаточно правильном моделировании условий неотражения внутренних волн на искусственных границах наблюдается дифракция волн, что приводит к появлению паразитических волн, нарушающих процесс распространения волн внутри ограниченной области. В статье [17] утверждено, что при падении волны на границу возникают нежелательные дифракционные процессы, когда вектор волновой нормали, определяющий направление распространения волны, составляет с искусственной границей менее 15 градусов.

В статье [18] представлен анализ поведения здания, подверженного сейсмическим возмущениям, с использованием методов модальной суперпозиции и прямого интегрирования. Реакция здания на сейсмическую нагрузку сравнивается с помощью спектров реакции. Авторы предложили наименее консервативный подход к расчету коэффициентов демпфирования Рэлея для анализа здания во временной области.

В статье [19] рассмотрено влияние сейсмического удара в спектрах реакции пола двух соседних железобетонных конструкций с неупругим поведением. Показано значительное влияние ударов на спектры ускорения пола, что увеличило распространение ускорений в более широком диапазоне периодов, особенно возбуждая периоды низкой и умеренной вибрации.

В результате анализа литературы до настоящего времени не встретились работы, которые бы точно разрешали условия не отражения волн на границах.

Данное исследование устанавливает точные условия прозрачности на границах, обеспечивая свободное прохождение волн и облегчая точное моделирование в ограниченной области

## 2. Методика исследования

В полуплоскости рассмотрено двумерное изотропное линейно упругое тело, ограниченное областью  $\Omega$ , с включением в виде одной круговой обделки или двух круговых обделок (рис. 1). Плоская продольная или(и) поперечная волна в область  $\Omega$  входит через границу AB, а условия на границах AC и BD должны компенсировать действие отброшенной части полуплоскости. Граница CD области  $\Omega$  свободна от напряжений, т.е. на этой границе задано условие свободной поверхности. Внутри прямоугольной области могут быть расположены круговые обделки на разной глубине от свободной поверхности.



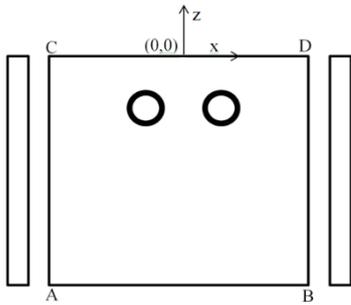


Рис. 1. Вид основной и вспомогательной областей

Для решения поставленной задачи используем слабую форму (вариационная форма) уравнений равновесия [20]:

$$\int_{\Omega} [\lambda \operatorname{div}(u) \operatorname{div}(\delta u) + 2\mu \varepsilon^T \delta \varepsilon - (r - \rho \dot{u} - c \dot{u}) \delta u] d\Omega - \int_{\Gamma} P \delta u d\Gamma = 0, \quad (1)$$

где  $P$  – вектор поверхностных усилий на единицу площади на границе области,  $\rho, c, r$  – плотность материала, параметр вязкости среды и вектор объемных сил,  $u^T = \{u_x, u_z\}$  – вектор перемещений,  $\varepsilon$  – тензор деформаций,  $\lambda$  и  $\mu$  – коэффициенты Ляме. Оси декартовых координат направлены:  $Ox$  – слева на право,  $Oz$  – снизу-вверх, начало координат расположено в центре свободной поверхности.

Прозрачные граничные условия выводятся применением точных решений для плоской волны в виде связи между деформациями и скоростями частиц, и подстановкой их в обобщенный закон Гука. Кроме этого, в полученных условиях используется решение одномерной плоской соответствующей динамической задачи для области без обделки.

Граничные условия, когда через границу АВ поступает в область  $\Omega$  продольная и поперечная волны со скоростями частиц  $f_p(t)$  и  $f_s(t)$ , следующие: условия прозрачности на АВ, имеют вид:

$$\begin{aligned} P_z &= -\sigma_{zz} = -c_p \rho \dot{u}_z - \lambda \frac{\partial u_x}{\partial x} + 2c_p \rho f_p(t); \\ P_x &= -\sigma_{xz} = -c_s \rho \dot{u}_x + 2c_s \rho f_s(t); \end{aligned} \quad (2)$$

условия не отражения на CD:

$$\begin{aligned} P_z &= \sigma_{zz} = -c_p \rho \dot{u}_z + \lambda \frac{\partial u_x}{\partial x}; \\ P_x &= \sigma_{xz} = -c_s \rho \dot{u}_x; \end{aligned} \quad (3)$$

или в случае свободной поверхности на CD:

$$P_z = \sigma_{zz} = 0; P_x = \sigma_{xz} = 0; \quad (4)$$

условия прозрачности на AC:

$$\begin{aligned} P_x &= -\sigma_{xx} = -c_p \rho \dot{u}_x - \lambda \frac{\partial u_z}{\partial z} + c_p \rho \dot{u}_x^1; \\ P_z &= -\sigma_{xz} = -c_s \rho \dot{u}_z + c_s \rho \dot{u}_z^1; \end{aligned} \quad (5)$$

условия прозрачности на BD:

$$\begin{aligned} P_x &= \sigma_{xx} = -c_p \rho \dot{u}_x + \lambda \frac{\partial u_z}{\partial z} + c_p \rho \dot{u}_x^1; \\ P_z &= \sigma_{xz} = -c_s \rho \dot{u}_z + c_s \rho \dot{u}_z^1. \end{aligned} \quad (6)$$

Здесь  $c_p, c_s$  – скорости распространения продольной и поперечной волн;  $\dot{u}_x^1$  и  $\dot{u}_z^1$  – значения скоростей, являющихся решением соответствующих одномерных задач для плоской волны в вспомогательной прямоугольной области с необходимыми граничными условиями, которые приведены ниже.

Начальные условия при  $t=0$  задаются равными нулю перемещений и скоростей частиц в заданной области

$$u_x = 0; \dot{u}_x = 0; u_z = 0; \dot{u}_z = 0. \quad (7)$$

Для вычисления  $\dot{u}_x^1, \dot{u}_z^1$  вводятся дополнительные вспомогательные области (рис. 1) с целью вычисления процесса распространения исходной волны при одинаковых физических характеристиках, как в  $\Omega$ , и со следующими геометрией и границами:

$$\begin{aligned} \Omega_1 &= \{(x, z): x \in [0, \Delta L], z \in [0, -H]\}, \\ \Gamma_{l1} &= \{(x, z): x = 0, z \in [0, -H]\}, \\ \Gamma_{r1} &= \{(x, z): x = \Delta L, z \in [0, -H]\}, \\ \Gamma_{b1} &= \{(x, z): x \in [0, \Delta H], z = -H\}, \\ \Gamma_{t1} &= \{(x, z): x \in [0, \Delta H], z = 0\}. \end{aligned}$$

Для вспомогательной задачи ширину области расчета  $L$  достаточно взять в размере одного конечного элемента, размер которого соответствует размеру конечного элемента на границе основной области, а высота области  $H$  равна высоте основной области. Разбиение на конечные элементы должно соответствовать разбиению на конечные элементы на соответствующей границе основной области расчета. В этом случае граничными условиями в случае действия продольной волны на границе  $\Gamma_{b1}$  имеют вид:

$$\begin{aligned} P_z &= -\sigma_{zz} = -c_p \rho \dot{u}_z - \lambda \frac{\partial u_x}{\partial x} + 2c_p \rho f_p(t); \\ P_x &= -\sigma_{xz} = -c_s \rho \dot{u}_x; \end{aligned} \quad (8)$$

условия не отражения на  $\Gamma_{l1}$ :

$$\begin{aligned} P_z &= \sigma_{zz} = -c_p \rho \dot{u}_z + \lambda \frac{\partial u_x}{\partial x}; \\ P_x &= \sigma_{xz} = -c_s \rho \dot{u}_x; \end{aligned} \quad (9)$$

или условия свободной поверхности:

$$P_z = \sigma_{zz} = 0; P_x = \sigma_{xz} = 0; \quad (10)$$

на границах  $\Gamma_{l1}$  и  $\Gamma_{r1}$  задаются условия идеального скольжения:

$$u_x = 0; P_x = \sigma_{xz} = 0. \quad (11)$$

Если на нижней границе поступает сдвиговая волна, тогда на границе  $\Gamma_{b1}$  условия имеют вид:

$$\begin{aligned} P_x &= -\sigma_{xz} = -c_s \rho \dot{u}_x + 2c_s \rho f_s(t); \\ P_z &= -\sigma_{zz} = -c_p \rho \dot{u}_z - \lambda \frac{\partial u_x}{\partial x}; \end{aligned} \quad (12)$$

условия не отражения на  $\Gamma_{l1}$ :

$$\begin{aligned} P_z &= \sigma_{zz} = -c_p \rho \dot{u}_z + \lambda \frac{\partial u_x}{\partial x}; \\ P_x &= \sigma_{xz} = -c_s \rho \dot{u}_x; \end{aligned} \quad (13)$$

или условия свободной поверхности:

$$P_z = \sigma_{zz} = 0; P_x = \sigma_{xz} = 0; \quad (14)$$

на границах  $\Gamma_{l1}$  и  $\Gamma_{r1}$  задаются условия:

$$u_z = 0; P_x = \sigma_{xz} = 0. \quad (15)$$

Начальные условия для одномерных вспомогательных задач аналогичны условиям основной задачи.

Представленные постановка задачи и граничные условия можно использовать при изменении свойств среды только вдоль оси  $Oz$ , в частности среда может быть слоистой, поверхности каждого слоя должны быть параллельными к свободной поверхности

### 3. Результаты исследования

Для обоснования предложенной математической модели выполнен расчет перемещений, скоростей и напряжений в заданной прямоугольной области с размерами 100 м x 50 м и соответственно одномерной области высотой 50 м, которые представляют однородный грунт со следующими механическими характеристиками: модуль Юнга  $E=150$  МПа, коэффициент Пуассона  $\nu=0.3$  и плотность



$\rho = 2000 \text{ кг} / \text{м}^3$ . Обделка представляет железобетонное кольца внешним диаметром 6 м и толщиной 0.3 м, модулем Юнга  $E=20000 \text{ МПа}$ , коэффициентом Пуассона  $\nu=0.3$  и плотностью  $\rho = 2500 \text{ кг} / \text{м}^3$ . В расчетах центры колец расположены на глубине:  $z=-10 \text{ м}$ , центры отдалены на расстоянии  $L_{\text{int}}$ . Рассмотрены случаи:  $L_{\text{int}}=8 \text{ м}$ ,  $L_{\text{int}}=10 \text{ м}$ ,  $L_{\text{int}}=12 \text{ м}$ ,  $L_{\text{int}}=16 \text{ м}$ ,  $L_{\text{int}}=24 \text{ м}$ . Шаг по времени  $\Delta t=0.001 \text{ с}$ , время расчета  $T=2 \text{ с}$ .

В качестве примера продольная падающая волна задается в виде  $f_p = A(t) \cos(2\pi\omega t)$ , где  $A(t) = A_0 \cdot t/t_0$  при  $t < t_0$ ,  $A(t) = A_0$  в противном случае,  $t_0$  – заданный интервал нарастания волны,  $A_0$  – заданная амплитуда и  $\omega$  – частота гармонической волны. В расчетах приняты следующие значения параметров падающей волны:  $A_0=1 \text{ м/с}$ ,  $t_0=0.5 \text{ с}$ ,  $\omega=2 \text{ Гц}$ . При этом поперечная падающая волна  $f_s = 0$ .

Реализация задачи проводилась в свободно распространяемой системе программирования для МКЭ FreeFem++ [22]. В качестве конечных элементов использовался треугольный элемент с шестью узлами, второй степени точности.

Структура конечно-элементной сетки приведена на Рисунке 2.

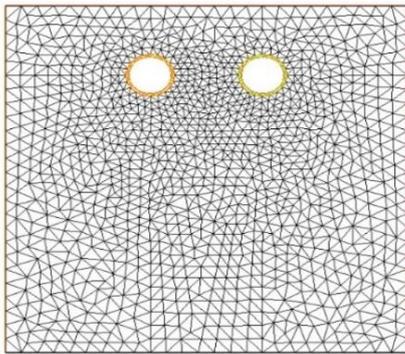
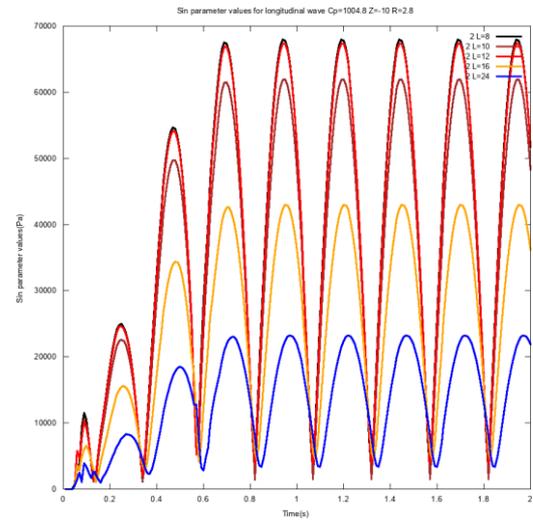


Рис. 2. Конечно-элементная сетка области

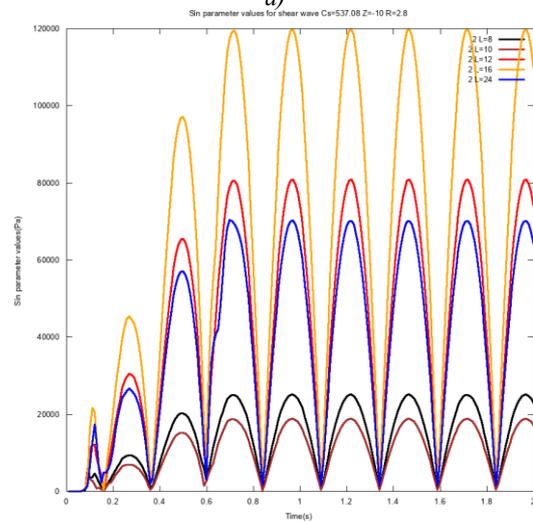
В графиках, приведенных на Рисунке 3, показано изменение интенсивности напряжений в зависимости от расстояния между двумя обделками, в случаях продольной и сдвиговой волн. Точка наблюдения взята на левой стороне правой обделки в точке внутри обделки:  $z=-10 \text{ м}$  и на расстоянии 0.2 м от внешнего радиуса обделки.

Из графиков видно что для продольной волны при различных расстояниях между обделками наибольшее значение интенсивности напряжений достигается при  $L_{\text{int}}=8 \text{ м}$ , среднее значение при  $L_{\text{int}}=16 \text{ м}$ , затем оно уменьшается до 0.02 МПа при  $L_{\text{int}}=24 \text{ м}$ . Заметим что максимальное значение при  $L_{\text{int}}=12 \text{ м}$  больше чем максимальное значение при  $L_{\text{int}}=10 \text{ м}$ , это связано с тем, что вблизи обделок происходит сложный дифракционный процесс, который зависит так же от длины волны и близости свободной поверхности.

При заданной сдвиговой волне наибольшие максимальные значения интенсивности напряжений достигаются при  $L_{\text{int}}=16 \text{ м}$ , а наименьшие при  $L_{\text{int}}=10 \text{ м}$ , среднее максимальное значение при  $L_{\text{int}}=12 \text{ м}$ , это свидетельствует о том, что с уменьшением расстояния между обделками при сдвиговой волне значение интенсивности напряжений уменьшаются.



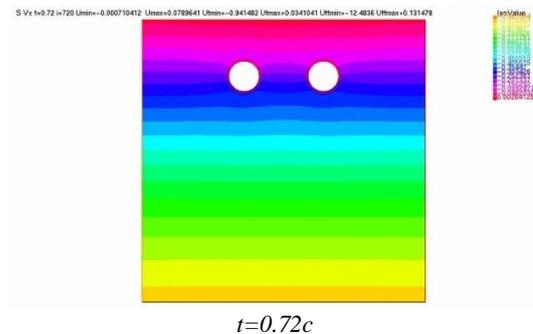
а)



б)

Рис. 3. Графики интенсивности напряжений в обделке в зависимости от расстояния между обделками: а) для продольной волны, б) для сдвиговой волны

С целью показа распространения волн в искусственно ограниченной области с одной и двумя обделками, находящихся в неограниченной области, в приложении на Рисунке 4 приведена динамика прохождения сдвиговой волны в разные моменты времени.



$t=0.72c$



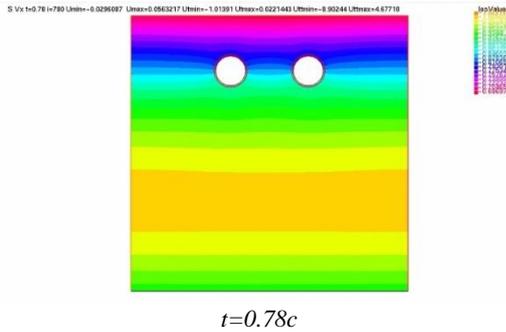


Рис. 4. Процесс прохождения сдвиговой волны в грунтовой среде с условием прозрачности на искусственных границах

#### 4. Выводы и рекомендации

Получены точные условия на прозрачных границах, когда заданные продольная и поперечная волны поступают в искусственно ограниченную прямоугольную область параллельно к свободной поверхности этой области. С использованием свободно распространяемой системы программирования для МКЭ FreeFem++ и метода Бате решена задача о воздействии упругих волн на круговые обделки в однородной грунтовой среде. В качестве примера решена задача о воздействии продольной и поперечной гармонической волн, поступающей через нижнюю искусственную прозрачную границу области. Приведены результаты расчетов и проведен анализ динамической реакции обделки при различном расстоянии между обделками. С увеличением расстояния между обделками при воздействии продольной волны в зависимости от ее длины интенсивность динамических напряжений в обделках уменьшается до определенного значения, т.е. стремится к значению для случая одиночной обделки. При воздействии сдвиговой волны с увеличением расстояния между обделками сначала интенсивность напряжений увеличивается, а затем начинает падать до значения как при одиночной обделке.

#### Использованная литература / References

- [1] Lysmer J., Kyhlemeyer L. Finite Dynamik Model for Infinite Media *Journal Engineering Mechanics Division, ASCE*, Vol.95, No.4, 1969, pp. 859-887, <https://doi.org/10.1061/JMCEA3.000114>
- [2] Mirsaidov M.M., Sultanov T.Z., Rumi D.F. An assessment of dynamic behavior of the system "structure – foundation" with account of wave removal of energy, *Magazine of Civil Engineering*, No.4, 2013, pp. 94-127, <https://doi.org/10.5862/MCE.39.10>
- [3] Il'ichev V.A., Yuldashev, S.S. and Saidov S.M. Propagation of vibration from trains in relation to track position. *Soil Mech Found Eng* No.36, 1999, pp. 55–56, <https://doi.org/10.1007/BF02469085>
- [4] Yuldashev S.S., & Karabaeva, M.U. Soil surface vibrations in the training of metro trains in parallel tunnels. *Theoretical & Applied Science*,

Vol.85 No. 5. 2020, pp. 117-121, <https://doi.org/10.15863/TAS.2020.05.85.24>

[5] Li S., Bruna M., Djeran-Maigrea I., Kuznetsov S. Benchmark for three-dimensional explicit asynchronous absorbing layers for ground wave propagation and wave barriers, *Computers and Geotechnics*, No. 131. 2021, pp. 1-16, <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2020.103808>

[6] Bruno Guidio, Boris Jeremić, Leandro Guidio, Chanseok Jeong. Passive seismic inversion of SH wave input motions in a truncated domain, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, No.158, 107263, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2022.107263>

[7] Xavier Antoine, Anton Arnold, Christophe Besse, Matthias Ehrhardt and Achim Schadle. A Review of Transparent and Artificial Boundary Conditions Techniques for Linear and Nonlinear Schrodinger Equations, *Communications in Computational Physics.*, Vol.4, No.4, 2008, pp.729-796, <http://www.global-sci.com>

[8] Yacine Bakhtaoui. New procedure for soil-structure interaction problems incorporating free-field effects by 2D quadratic elements, *Computers and Geotechnics*. No.165, 105843, 2024, <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2023.105843>

[9] Pilar Velasco M., David Usero, Salvador Jim'enez, Luis V'azquez, Transparent boundary conditions for the wave equation in one dimension and for a dirac-like equation, *Electronic Journal of Differential Equations, Conference*. No.22, 2015, pp. 117-137, <https://ejde.math.txstate.edu/conf-proc/22/v2/velasco.pdf>

[10] Miralimov M., Normuradov Sh., Ground behaviour and settlements analysis on tunnelling of shallow-buried metro in Tashkent city *E3S Web of Conferences*. Vol. 401, No. 01062, 2023, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340101062>

[11] Adilov F, Yuldoshev B, Abirov R, Miralimov M. , Numerical approach for estimation of stress strain state of deep tunnels *E3S Web of Conferences*, vol. 97. 2019, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199704064>

[12] R. Abirov, M. Miralimov. Calculation of the Lining of Construction of the Shallow Subway Tunnel. *Hydraulic and Civil Engineering Technology VIII M. Yang et al. (Eds.)* 2023, <https://doi.org/10.3233/ATDE230700>

[13] Ozturk K.F. Investigation of dynamic responses of three-sided underpass culvert under near-fault and far-fault ground motions considering soil-structure interaction, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 177 No. 108446. 2024, <https://hdl.handle.net/20.500.12440/6143>

[14] Bapir B., Abrahamczyk L., Wichtmann T., Prada-Sarmiento F., Soil-structure interaction: A state-of-the-art review of modeling techniques and studies on seismic response of building structures, *Front. Built Environ., Sec. Earthquake Engineering*. vol. 9. 2023, <https://doi.org/10.3389/fbuil.2023.1120351>



[15] Silvia Falletta and Giovanni Monegato, Exact nonreflecting boundary conditions for exterior wave equation problems. *Publications de l'institut mathématique nouvelle série*, No. 96, 2014, pp.103–123, <https://doi.org/10.2298/PIM1410103F>

[16] Mirzaev I., Gaynazarov S., Rakhimjanova N. Numerical solution of the wave problem in an elastic medium with transparent boundaries *AIP Conference Proceedings*, 1 3119(1), 040004 2024, <https://doi.org/10.1063/5.0214823>

[17] Kuznetsov S.V., Terentyeva E.O. Lamb's plane internal problem: waves in the epicentral zone from a vertical power source. *Acoustic Journal*. Vol. 61. No. 3. pp. 387-399, 2015, <https://doi.org/10.7868/S0320791915030119>

[18] Grishin A., Geraschenko V. Calculation of Rayleigh Damping Coefficients for a Transient Structural Analysis, *WSEAS Transactions on Applied and Theoretical Mechanics*. Vol. 19, pp. 49-54, 2024, <https://doi.org/10.37394/232011.2024.19>.

[19] Pedro Folhento, Rui Carneiro De Barros, Manuel Braz-César. "Effect of Earthquake-Induced Structural Pounding on the Floor Accelerations and Floor Response Spectra of Adjacent Building Structures", *WSEAS Transactions on Applied and Theoretical Mechanics*. Vol. 19, pp. 36-48, 2024, <https://doi.org/10.37394/232011.2024.19.4>

[20] Zienkiewicz O.C. and Morgan K. *Finite elements and approximation*, "Wiley-Interscience" New York, 1983.

[21] Bathe K.J. *Finite Element Procedure Second Edition*, Printed in the United States of America, 2016.

[22] Hecht F., Pironneau O., Le Hyaric A., Ohtsuka K. FreeFem++. Third Edition, Version 3 / Laboratoire Jacques-Louis Lions, Université Pierre et Marie Curie, Paris, <https://freefem.org/>

## Информация об авторах/ Information about the authors

**Mirzayev  
Ibraxim /  
Mirzaev  
Ibrakhim**

f.-m.f.d., professor, Toshkent davlat transport universiteti  
e-mail: [ibrakhim.mir@mail.ru](mailto:ibrakhim.mir@mail.ru)  
[+998909388017](tel:+998909388017)  
<https://orcid.org/0000-0002-8616-9717>

**Gaynazarov  
Sulton  
Mamanazarovich  
/ Gaynazarov  
Sulton  
Mamanazarovich**

f.-m.f.n., dotsent, Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston milliy universiteti  
e-mail: [sultangainazarov@gmail.com](mailto:sultangainazarov@gmail.com)  
[+998935841241](tel:+998935841241)  
<https://orcid.org/0009-0001-2535-1283>



## Modern building materials based on household waste and natural raw materials

Sh. Erboev<sup>1</sup>, D. Juraeva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Jizzakh Polytechnic Institute, Jizzakh, Uzbekistan

**Abstract:** The article discusses the recycling of household waste, plastic, polymers and organic waste to create various types of building materials, as well as the production of paving slabs by heating plastic and natural sand at high temperatures.

**Keywords:** Energy-efficient building materials, household waste, energy saving (bakalashka), paving slabs, car tires

## Respublikamiz xom ashyolaridan tayyorlangan mayda donador beton xossalari

Sh. Erboev<sup>1</sup>, D. Jo'rayeva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Jizzax politexnika instituti, Jizzax, O'zbekiston

**Annotatsiya:** Maqolada maishiy chiqindilar, plastik, polimer va organik chiqindilar qayta ishlanib, turli turdagi qurilish materiallarini yaratishi shuningdek plastmassa va tabiiy qumni yuqori teperaturada qizdori yulak plitkalari ishlab chiqarish xaqida so'z boradi.

**Kalit so'zlar:** Energiya tejankor qurilish materiallari, maishiy chiqindi, (bakalashka) energiya tejash, yo'lak plitka, mashina kalotkalari

### 1. Kirish

Butun dunyoda avtomobil yo'llari malakatning iqtisodiyotining rivojlanishida muhim rol o'ynaydigan infratuzilma inshootlaridan biridir. Bugungi kunda global ekologik muammolar, xususan, chiqindilarning ko'payishi va tabiiy resurslarning kamayishi zamonaviy qurilish sanoatiga yangi yondashuvlarni talab qilmoqda. Shu nuqtayi nazardan qaralganda, maishiy chiqindilar va tabiiy xom ashyo materiallaridan foydalanib qurilish materiallarini ishlab chiqarish ekologik barqarorlik va iqtisodiy samaradorlikni ta'minlashda muhim omil bo'lmoqda.

Maishiy chiqindilar, masalan, plastik butilkalar (PET), shisha, qog'oz, metall parchalari va organik chiqindilar qayta ishlanib, turli turdagi qurilish materiallarini yaratishda qo'llanilmoqda. Misol uchun, qayta ishlangan plastiklardan plastbeton, izolyatsiya materiallari, yengil panellar yoki yopiq pollar tayyorlanmoqda. Shuningdek, shisha chiqindilari sement aralashmalariga qo'shilib, materialning mustahkamligini oshirishda va issiqlik o'tkazuvchanligini kamaytirishda xizmat qiladi. Bu usul orqali chiqindilar soni kamayadi va ular iqtisodiy foyda keltiradigan shaklga o'tadi.

### 2. Tadqiqot metodikasi

Tabiiy xom ashyo sifatida esa loy, gil, qum, ohak hamda o'simlik tolalari (kanop, arpa somoni, paxta poyasi) ishlatiladi. Ushbu materiallar ekologik toza bo'lib, mahalliy resurslar asosida olinadi. Masalan, somon aralash loydan tayyorlangan g'ishtlar (adobe) ekologik va energiya tejankor qurilishda keng qo'llaniladi. Paxta poyasi aralashgan issiqlik izolatsiya plitalari esa yaxshi issiqlik saqlash xususiyatiga ega bo'lib, energiyani tejashda yordam beradi. Shu orqali qimmat import materiallar o'rnini arzon, ammo samarali mahalliy mahsulotlar egallaydi.

Bunday yondashuv ekologik xavfsizlikni ta'minlash, qurilish materiallari tannaxini arzonlashtirish, energiya tejankorligini oshirish kabi ko'plab afzalliklarni beradi. Bundan tashqari, qayta ishlangan chiqindilardan foydalanish orqali atrof-muhitga salbiy ta'sir kamayadi va sanoat chiqindilari miqdori keskin qisqaradi. Qiziqarli jihati shundaki, ayrim qayta ishlangan materiallar oddiy materiallardan ham mustahkam va uzoq muddat xizmat qilishi mumkin. Bu esa zamonaviy qurilish sanoati uchun ekologik va texnologik jihatdan istiqbolli yo'nalishlardan biri hisoblanadi.

Etalon namunalar uchun Jizzax shahrida va tumanlarida daryo ko'llardan olinishi mobaynida halqimiz qurilish materiali va tabiiy xom ashyo sifatida keng qo'llanilib kelinmoqda. Maishiy chiqindi bo'lgan va hozirgi davr eng ko'p chiqindiga chiqarilib tashiyotgan bakalashka materiali asosida ishlab chiqilmoqda

Namunalar uchun Jizzax shahrida va tumanlarida daryo ko'llardan olinishi mobaynida chinoz qumini halqimiz qurilish materiali va tabiiy xom ashyo sifatida keng qo'llanilib kelinmoqda. Maishiy chiqindi bo'lgan va hozirgi davrda yeng ko'p chiqindiga chiqarilib tashiyotgan polietilenterefalat butilka (bakalashka) materiali asosida ishlab chiqilmoqda.

Hozirgi vaqtda dunyo bo'yicha qurilish sohasida mustaxkam va iqtisodiy tomondan arzon material va buyumlarga talab ortmoqda. Bunda mahalliy chiqindilardan tayyorlangan qurilish materiallari birinchi navbatda tayyorlanish jarayonida energiyani tejaydi, ikkinchi navbatda esa mahalliy chiqindilardan foydalanilayotgani uchun uning tannaxi ham qisman tushishi kuzatiladi.

Tabiiy xom ashyo bo'lgan chinoz qumi va maishiy chiqindi bo'lgan polietilenterefalat butilka (bakalashka) maxsuloti asosida zamonaviy qurilish materiali bo'lgan yo'lak plitkalarini ishlab chiqish. Namunadan kutilayotgan

 <https://orcid.org/0000-0003-4738-7014>



yana bir maqsad maishiy chiqindi asosida avtomobil tormoz qismida joylashgan kalotka qismida ham samarali foydalanish [1, 2, 3].



1-rasm. Chinoz qumi

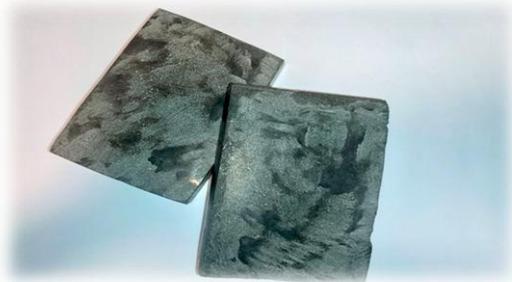
O'tkazilgan sinov tajriba natijalari shuni ko'rsatdiki 10 va 15 sm; uzunligi 2-3 sm bulgan namunamizning xom ashyo tarkibi 70 ga 30 % da tarkib topadi.

Chinoz qumi — O'zbekistonning Toshkent viloyatiga qarashli Chinoz tumani hududida joylashgan tabiiy qum konlaridan olinadigan qurilish materialidir. Bu qum geologik jihatdan daryo qumi yoki allyuvial (daryo oqimlari keltirgan) qum turiga kiradi. Uning asosiy manbai — Sirdaryo daryosining qadimgi va hozirgi oqimlarida shakllangan qumli qatlamlardir.

### 3. Tadqiqot natijalari va tahlillar

Chinoz qumining rangi odatda och sarg'ish, kulrang yoki biroz to'qroq bo'lishi mumkin. Uning donadorligi mayda va o'rtacha bo'lib, taxminan 0,25 mm dan 2 mm gacha o'zgaradi. Bu qum tabiiy yuvilgan bo'lgani sababli, tarkibida loy, chang va boshqa zararli aralashmalar juda kam uchraydi. Uning zichligi taxminan 1400–1600 kg/m<sup>3</sup> atrofida bo'lib, yaxshi zichlanish xususiyatiga ega.

Chinoz qumi qurilish sanoatida keng qo'llaniladi. Tabiiy tarkibi va tozaligi tufayli u turli xil qurilish ishlari uchun juda qulay inert material hisoblanadi. Ushbu qum beton aralashmalari tayyorlashda asosiy tarkibiy modda sifatida ishlatiladi. Yengil va og'ir betonlar tarkibiga qo'shiladi, sement-shag'al-qum aralashmalarida, ayniqsa monolit quyma ishlari va yo'l qurilishida keng qo'llanadi. Shuningdek, suv o'tkazmaydigan qatlamlar va pol plitalari tayyorlashda, g'isht terish va suvoq ishlari ham foydalaniladi[4-7].



2-rasm. Tayyor maxsulot

### 4. Xulosa

Tabiiy xom ashyo bo'lgan chinoz qumi va maishiy chiqindi bo'lgan bakalashka maxsuloti asosida

zamonaviy qurilish materiali bo'lgan yo'lak plitkalarini ishlab chiqish. Namunadan kutilayotgan yana bir maqsad maishiy chiqindi asosida avtomobil tormoz qismida joylashgan kalotka qismida ham samarali foydalanish.

Chinoz qumining asosiy afzalliklari shundan iboratki, u tabiiy yuvilganligi sababli iflosliklardan deyarli xoli bo'ladi, suv bilan yaxshi aralashadi, betonning mustahkamligini oshiradi va mahalliy manba bo'lgani sababli iqtisodiy jihatdan ham foydalidir. Bu qum ekologik toza material hisoblanadi va uni qurilishda ishlatish atrof-muhitga zarar yetkazmaydi. Qum konlari maxsus geologik nazorat asosida ochiladi va foydalaniladi. Ishlab chiqarishdan oldin bu qum laboratoriya sinovlaridan o'tkaziladi va davlat standartlariga muvofiq tasdiqlanadi. Shu jihatlar bilan Chinoz qumi qurilish sohasi uchun ishonchli va sifatli material hisoblanadi.

### Foydalanilgan adabiyotlar / References

- [1] Ориентликсер Л.П., Соболева Г.Н. Строительный материал на основе влажных отходов производства асбестоцементных изделий. Строительные материалы, оборудование, технологии XXI в., №7, 2000.
- [2] Болдырев А.С. Использование отходов в промышленности строительных материалов.-М.: Стройиздат", 1985.
- [3] Эрбоев, Ш.О. (2015). Темир йул кўприкларидаги носозликларни аниқлаш. Тошкент темир йуллари мухандислик институти АХБОРОТИ чорак журнали Toshtymi AXBOROT, 2, 28-31
- [4] Erboev, S. O., Axmedov, R. A., & Jo'raeva, D. K. (2023). Оралиқ қурилмаларни диагностика қилиш тизимларини такомиллаштириш. Центральноеазиатский журнал образования и инноваций, 2(11), 201-204.
- [5] Ochiltoshevich, E.S. (2016). Organizational and structural measures to improve the process of operation concrete span. European science review, (9-10), 184-186.
- [6] Эрбоев, Ш.О. (2022). Кўприк таянчлари юк кўтариш қобилиятини аниқлашнинг усуллари. Science and Education, 3(4), 241-246.
- [7] Эрбоев, Ш.О. (2010). Оценка эксплуатационной пригодности элементов пролетных строений. Механика муаммолари, 1, 47-49.

### Mualliflar to'g'risida ma'lumot / Information about the authors

**Erboev Shavkat Ochiltoshevich** Jizzax Politehnika instituti, Qurilish materiallari va konstruksiyalari texnologiyasi kafedrasida dotsenti, PhD.  
E-mail: [shavkaterboev709@gmail.com](mailto:shavkaterboev709@gmail.com)

**Jo'raeva Diyora Komil qizi** Jizzax Politehnika instituti talabasi  
E-mail: [diyorajuraeva2005@gmail.com](mailto:diyorajuraeva2005@gmail.com)



# Physicochemical analysis of expanded clay concrete modified with mineral and chemical additives

Kh.A. Akramov<sup>1</sup><sup>a</sup>, R.N. Ametov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tashkent Architecture and Civil Engineering, Tashkent, Uzbekistan

<sup>2</sup>Jizzakh Polytechnic Institute, Jizzakh, Uzbekistan

**Abstract:** This article examines the physicochemical properties of expanded clay concrete compositions modified with mineral and chemical additives. In the research process, the influence of additives on the microstructure of cement stone, hydration processes, and the formation of the filler-bonding interface zone (CZ) was analyzed. The results of physicochemical analysis showed that mineral and chemical additives compress the cement matrix, reduce capillary porosity, and increase the structural stability of the interface zone. The obtained results have scientific and practical significance for the creation of energy-saving and high-performance expanded clay concrete materials.

**Keywords:** Expanded clay concrete, mineral additives, chemical additives, physicochemical analysis, cement stone, microstructure, filler-binder interface zone (CZ), hydration processes, capillary porosity

## 1. Introduction

Today, the sustainable development of the construction industry is closely linked to the creation of energy-efficient, resource-saving, and environmentally safe building materials. Reducing heat energy consumption during the operation of buildings, reducing carbon emissions, and ensuring the long-term stability of structures are one of the main tasks of modern building materials technology. In these conditions, lightweight concretes, especially concrete based on expanded clay aggregate, are of particular importance due to the combination of such properties as low density, sufficient mechanical strength, heat and fire resistance.

Despite the wide range of practical applications of expanded clay concrete, its formation on the basis of highly porous aggregate creates a number of technological and structural problems. In particular, the high water absorption of expanded clay aggregate granules, the relative porosity and weakness of the zone of the aggregate-bonding interface (contact-transition) formed between the cement stone and the aggregate, limit the operational indicators of concrete, such as strength, water resistance, and frost resistance. Therefore, the modification of the composition of expanded clay concrete, especially the control of its microstructure and interface zone, is an urgent scientific and technical task [1].

In recent years, the integrated use of mineral and chemical additives has been widely used as an effective approach to improving the properties of expanded clay concrete. Mineral additives activate secondary hydration processes in the cement matrix and serve to compact the microstructure, while chemical additives allow improving the rheological properties of the concrete mix, reducing the water-cement ratio, and controlling the hardening process. As a result of the combined action of these additives, an increase in the structural homogeneity of expanded clay concrete, a decrease in porosity in the contact zone, and an increase in bond strength are observed [2].

However, the analysis of existing scientific research shows that the mechanisms of physicochemical action of mineral and chemical additives introduced into expanded clay concrete, in particular, the processes of cement hydration, the formation of the phase composition, and

changes occurring at the level of microstructure of the interface zone, have not been sufficiently systematically studied. In many works, the influence of additives is assessed mainly through physical and mechanical indicators and is not deeply related to structural and physicochemical analyses.

From this point of view, the identification and analysis of physicochemical changes occurring in the process of modifying the composition of expanded clay concrete is of great scientific importance. X-ray phase analysis, infrared spectroscopy, thermal analysis, and electron microscopic studies allow for in-depth study of the structure of cement stone, hydration products, and the formation of the filler-binder interface zone. Such an approach creates a solid theoretical basis for scientifically based regulation of the properties of expanded clay concrete and the development of optimal compositions[3].

In this article, the physicochemical properties of expanded clay concrete compositions modified with mineral and chemical additives are analyzed, and the influence of additives on the microstructure of cement stone, hydration processes, and the formation of the filler-binder interface zone is scientifically substantiated. The obtained results have scientific and practical significance for the creation of energy-saving, resource-saving, and high-performance expanded clay concrete materials [4].

## 2. Materials and methods

In order to determine the phase changes occurring in the composition of expanded clay concrete under the influence of mineral and chemical additives, the samples were investigated by X-ray phase analysis. This method allows for the identification of new compounds formed under the influence of crystalline phases, hydration products, and additives formed in the cement stone.

As a result of X-ray phase analysis, the presence of the main hydration products - calcium silicate hydrates (C-S-H), calcium hydroxide (Ca (OH) 2), ettringite, and other crystalline phases, as well as changes in their intensity, were

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0002-8135-5019>



assessed. Based on the obtained diffractograms, the influence of mineral and chemical additives on the activation of secondary hydration processes in the cement matrix, as well as on the content of free calcium hydroxide, was analyzed.



**Fig. 1. X-Ray Diffraktometr AL-27 MINI, iScope Microscopes used to study the microstructure of materials**

The data of X-ray phase analysis served as an important scientific basis for assessing the formation of the microstructure of expanded clay concrete and the state of the filler-binder interface zone (CZ).

Scanning electron microscopy (SEM) was used to study the microstructure of expanded clay concrete, the features of the formation of the filler-binder interface (contact-

transition) zone between cement stone and expanded clay granules. This method allows for high-precision analysis of the distribution of pores in concrete, the morphology of crystalline structures, and structural homogeneity.

Based on electron microscopic images, the microstructure of samples of modified expanded clay concrete without the addition of mineral and chemical additives was compared. In particular, under the influence of additives, a compaction of the cement stone structure, a decrease in the number of capillary pores, and an improvement in cohesion in the interface zone were revealed.

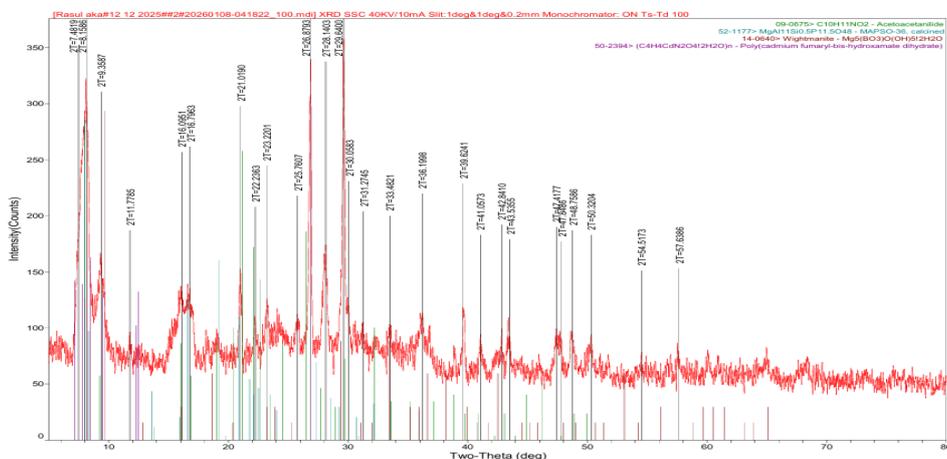
The results of SEM analysis made it possible to explain changes in the physical, mechanical, and operational properties of expanded clay concrete at the microstructural level and played an important role in the scientific substantiation of the effectiveness of mineral and chemical additives.

### 3. Experimental part

Quantitative and qualitative X-ray diffraction analysis of expanded clay concrete with the addition of the complex chemical additive Sika 43.36.

The results of X-ray phase analysis (XRD) showed that the phase composition of the expanded clay concrete sample has a complex and stable composite structure. In the diffractogram, crystalline phases characteristic of the mineral peroxynite, in particular forsterite ( $Mg_2SiO_4$ ) and magnesite ( $MgCO_3$ ), are revealed, the intensity of the peaks of which confirms the active participation of these mineral components in the composition of concrete. These phases have high thermal and chemical stability and are an important factor in improving the operational properties of concrete.

The presence of an amorphous background along with crystalline phases on the diffractogram indicates that the cement stone and hydrated products are in a partially amorphous state. The combined formation of crystalline and amorphous phases determines the composite nature of expanded clay concrete, ensuring its mechanical strength and resistance to environmental influences. In general, the results of X-ray phase analysis confirm the presence of phase harmony in the composition of expanded clay concrete with the addition of the mineral peroxynite, which indicates the possibility of reliable and stable operation of concrete under long-term operating conditions [5].



**Fig. 3. X-ray phase analysis of a sample of expanded clay concrete without additives**



The results of X-ray phase analysis show an increase in the proportion of calcium silicate hydrates (C-S-H) in the composition of cement hydration products as a result of the introduction of the mineral additive peroxynite into the composition of expanded clay concrete. If intensive peaks characteristic of the calcium hydroxide (Ca(OH)<sub>2</sub>) phase are observed in the control sample, then a decrease in the intensity of these peaks is observed in the modified compositions. This is explained by the puzolamic activity of

peroxynite and the microstructural compaction of the cement stone.

X-ray phase analysis of the expanded clay concrete sample was carried out in the range of 5–80° 2θ. A number of distinct and intense diffraction peaks are observed on the obtained diffractogram, which indicates the presence of phases with a crystalline structure in the sample. At the same time, the relatively wide and smooth nature of the background line confirms the partial amorphous state of the cement stone and hydration products.

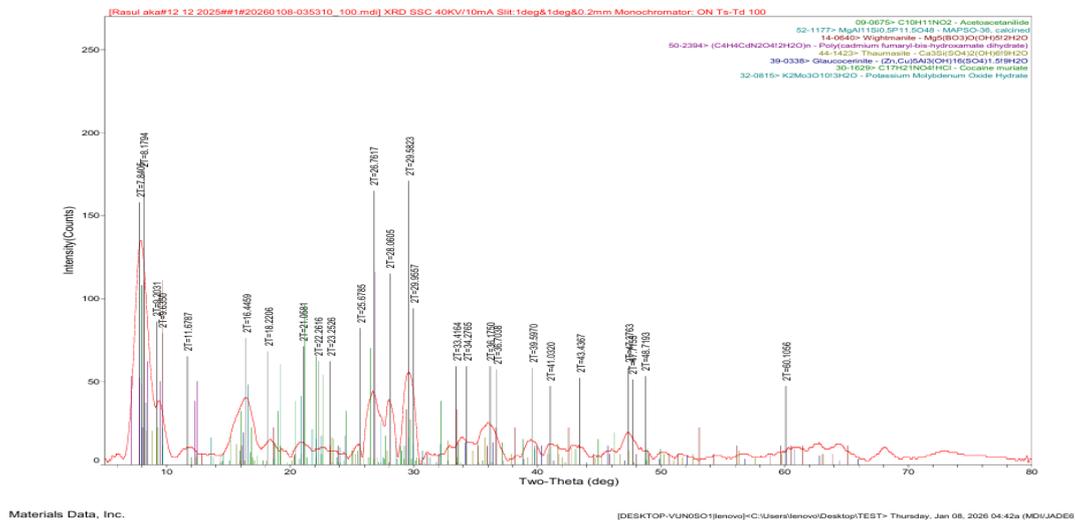


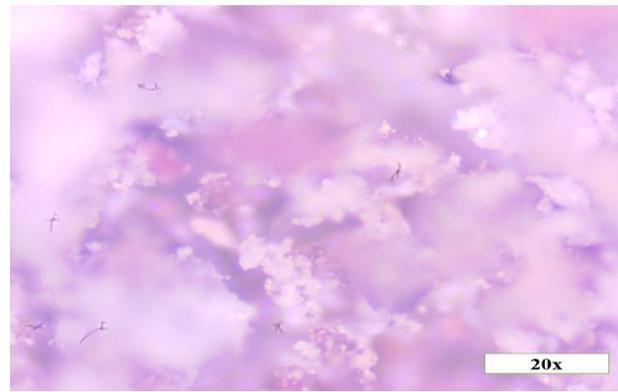
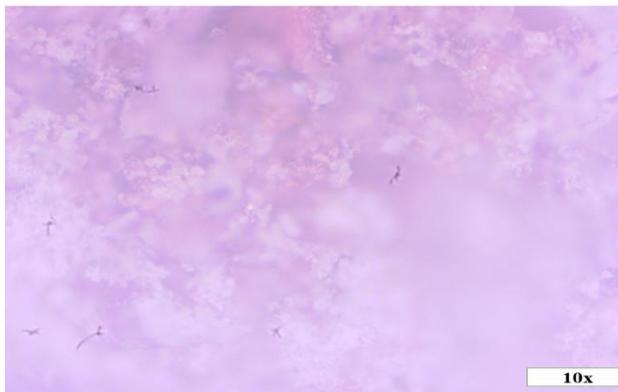
Fig. 4. X-ray phase analysis of a sample of expanded clay concrete with additives

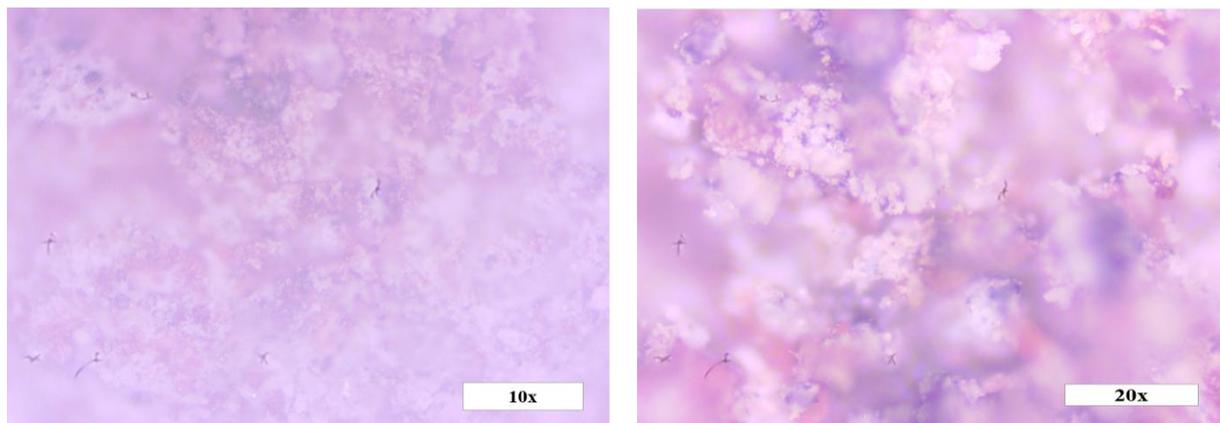
By comparing the diffractogram results with the PDF (ICDD) database, the forsterite (Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>) and magnesite (MgCO<sub>3</sub>) phases characteristic of the peroxynite mineral were determined in the sample. These phases indicate the preservation of magnesium and silicon compounds in the peroxynite and the formation of a stable crystalline structure in the concrete matrix. The presence of the forsterite phase is an important factor ensuring the material's resistance to high heat and chemical influences [5].

According to the results of microscopic analysis at 10x and 20x magnification of expanded clay concrete samples prepared without chemical additives with the addition of the mineral peroxynite, it was established that the internal

structure of the concrete is relatively homogeneous and stable. Sufficiently dense contact zones have formed between the cement matrix, expanded clay aggregate grains, and the mineral particles of peroxynite, and a uniform distribution of pores is observed throughout the volume (Fig. 5).

The clear manifestation of the boundaries of the matrix and filler with increasing magnification confirms the positive role of the peroxynite mineral in structure formation. The properties of this microstructure contribute to the improvement of lightness, structural stability, and thermal and technical indicators of expanded clay concrete [6].





**Fig. 5. 10x and 20x magnified microscopic structure of a sample of expanded clay concrete without additives and with the addition of 0.6% chemical additives**

Microscopic analysis with 10x and 20x magnification of expanded clay concrete samples with the addition of the mineral peroxynite and the chemical additive Sika® 43.36 in an amount of 0.6% showed a significant compaction of the internal structure of the concrete. It was established that strong and continuous contact zones have formed between the cement matrix, expanded clay granules, and mineral particles of peroxynite (Fig. 5).

The more pronounced manifestation of the boundaries of the binding phase and filler with increasing magnification confirms the dispersing and structure-forming effect of the chemical additive. The predominance of small and closed pores in the microstructure, as well as the reduction of large voids, contributes to the improvement of structural stability, strength, and thermal and technical indicators of concrete [7].

## 4. Conclusion

The results of electron microscopic and X-ray phase analyses confirmed that the mineral peroxynite and the complex chemical additive Sika® 43.36 have a significant influence on the microstructure and phase composition of expanded clay concrete. Although relatively stable contact zones were formed between the cement matrix and the filler in the sample without the chemical additive, the presence of open and large pores in the structure was observed.

In the samples of expanded clay concrete with the addition of the mineral peroxynite and the additive Sika® 43.36 in an amount of 0.6%, significant compaction occurred at the microstructural level, and strong and continuous filling-bonding interface zones were formed between the cement matrix and expanded clay granules. Electron microscopic images showed a predominance of small and closed pores in the microstructure and a decrease in large voids, which creates favorable conditions for improving the structural stability and thermal and technical properties of concrete.

The results of X-ray phase analysis showed an increase in the proportion of cement hydration products, in particular calcium silicate hydrates (C-S-H), and a decrease in the amount of free calcium hydroxide (Ca (OH) 2) in the composition of modified expanded clay concrete. This circumstance is explained by the activation of secondary hydration processes under the influence of the pozzolanic activity and chemical additives of the peroxynite mineral. The detection of forsterite (Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>) and magnesite (MgCO<sub>3</sub>) phases on diffractograms is an important factor

ensuring high thermal and chemical stability of expanded clay concrete.

The combined formation of crystalline and amorphous phases determines the composite nature of expanded clay concrete, ensuring its mechanical strength, resistance to heat and aggressive environments, and the possibility of stable operation under long-term operating conditions. The obtained results scientifically substantiate the mechanism of the complex influence of mineral and chemical additives on the formation of the structure of expanded clay concrete and confirm their effectiveness.

## References

- [1] Berdiyev, O., Kurbanov, Z., Tilavov, E., Rasulova, N., Boboqulova, S., Jumanov, I., Ametov, R., O'Roqboyev, O., Parsaeva, N., & Botirov, B. (2024). The calculation of reinforced concrete conical dome shells considering concrete creep. *E3S Web of Conferences*, 587, 03001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202458703001>
- [2] Akramov X.A., Isakulov B.R., Ametov R.N., Djurayeva H.F. // *Keramzitbeton ishlab chiqarishning texnologiyasini takomillashtirish muammolari va foydalanish istiqbollari*. // "Energiya va resurstejamkor zamonaviy qurilish materiallarini ishlab chiqarish istiqbollari" Xalqaro ilmiy-amaliy anjuman // Toshkent 2023-yil 20-21 noyabr.
- [3] Ametov R.N., Djurayeva H.F. Mahalliy xom ashyolardan tayyorlangan keramzitbeton ishlab chiqarishning texnologiyasini takomillashtirish va foydalanish istiqbollari. // *Central asian journal of education and innovation* // 24-yanvar 2024-yil. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10559440>
- [4] Isakulov B.R., Ametov R.N., Djo'rayeva H.F. // *Studying the properties of keramzite and keramzite concrete made from local raw materials*. // *Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности, материалы XI Всероссийской (с международным участием) научно-технической конференции молодых исследователей* // Волгоград, 22-27 апреля 2024 г.
- [5] Isakulov B.R., Ametov R.N., Salaxetdinov S. // *Peroksinit qo'shilgan sanoat chiqindilari asosidagi keramzit betonning fizik-mexanik xossalari tadqiq etish*. // "Yangi O'zbekiston: Ilm qaldirg'ochlari 2025" talabalarining IV-xalqaro anjumani // Jizzax-2025 yil 17-may.
- [6] Akramov X.A., Qurbonov Z.X., Ametov R.N. // *Анализ теплоизоляционных свойств керамзитобетона с*



минеральными добавками. // “Universum: технические науки” Научный журнал // Выпуск: 10(139), Москва Октябрь 2025, Часть 9.

[7] Akramov X.A., Ametov R.N. // Experiences in the use of expanded clay-based concrete in our country and around the world. // “Yangi O‘zbekiston: Ilm qaldirg‘ochlari 2025” talabalarning IV-xalqaro anjumani // Jizzax-2025 yil 17-may.

## Information about authors

**Akramov  
Xusnitdin  
Axrarovich /  
Akramov  
Khusnitdin  
Ahrarovich**

Toshkent arxitektura qurilish universiteti, Qurilish materiallari va konstruksiyalari texnologiyasi kafedrası professori, t.f.d.

E-mail:

[xusniddin.akramov48@gmail.com](mailto:xusniddin.akramov48@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0002-8135-5019>

**Ametov Rasul  
Nazirbayevich  
/ Ametov Rasul  
Nazirbaevich**

Jizzax Politehnika Instituti, Qurilish materiallari va konstruksiyalari kafedrası assistenti.

E-mail:

[Ametovrasul44@gmail.com](mailto:Ametovrasul44@gmail.com)



## Application of new seismically insulated supporting parts for seismic protection of bridge intermediate buildings

Z.K. Rakhimjonov<sup>1</sup><sup>a</sup>, A.Ch. Khurramov<sup>2</sup><sup>b</sup>

<sup>1</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

<sup>2</sup>Institute of Mechanics and Seismic Stability of Structures named after M.T. Urazbaev, Uzbekistan Academy of Sciences, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** This paper presents the outcomes of experimental investigations into the application of newly developed seismic protection support components for enhancing the seismic safety of bridges and overpasses. Based on the results of experimental tests, the amplitude-frequency characteristics of traditional and new seismic protection components were compared, and the effectiveness of the new seismic protection component was substantiated. In addition, based on graphs, the diagrams of the installation of support parts for seismic protection of bridges, the AFCh of vibrations of a special unprotected support, the displacements of the span structure and the upper part of the support during seismic isolation of one span structure, the amplitude-frequency characteristics of the displacement of the span structure and the upper part of the support when the first span structure is combined with seismic protective and the second with movable and stationary support parts are compared.

**Keywords:** Amplitude-frequency characteristics, span structure, movable and fixed supporting parts, heavy span structure, upper part of the support, strong earthquakes, design moment on the foundation, oscillation periods, fastening of span structures

## Dispers sistemalarning gidrotransportida quvurlarni yuvish uchun polimer kompozitsiyalarni o'rganish

Raximjonov Z.Q.<sup>1</sup><sup>a</sup>, A.Ch. Xurramov<sup>2</sup><sup>b</sup>

<sup>1</sup>Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

<sup>2</sup>O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi M.T. O'rozboyev nomidagi Mexanika va inshootlarning seysmik mustahkamligi instituti, Toshkent, O'zbekiston

**Annotatsiya:** Ushbu ishda ko'prik va yo'l o'tkazgichlarning seysmik xavfsizligini oshirish uchun yangi ishlab chiqilgan seysmik himoya tayanch qismlarini qo'llash bo'yicha eksperimental tadqiqotlar natijalari keltirilgan. Eksperimental sinovlar natijalari asosida an'anaviy va yangi seysmik himoya tayanch qismlarining amplituda-chastota xususiyatlari taqqoslandi va yangi seysmik himoya tayanch qismlarining samaradorligi asoslandi. Bundan tashqari, grafiklar asosida ko'priklarni seysmohimoyalash uchun tayanch qismlarini o'rnatish sxemalari, maxsus himoyalannagan tayanch tebranishlarining AChX, bitta oraliq qurilmani seysmoizolyatsiyalashda oraliq qurilma va tayanch yuqori qismining siljishlari, birinchi oraliq qurilma seysmohimoyaviy va ikkinchisi qo'zg'aluvchan va qo'zg'almas tayanch qismlari bilan birlashtirilganda oraliq qurilma va tayanch yuqori qismining siljishining amplituda-chastota xarakteristikalari taqqoslangan.

**Kalit so'zlar:** amplituda-chastota xarakteristikalari, oraliq qurilma, qo'zg'aluvchan tayanch qismlar hamda qo'zg'almas tayanch qismlar, og'ir oraliq qurilma, tayanch yuqori qismi, kuchli zilzilalar, poydevor ustidagi hisobiy moment, tebranish davrlari, Oraliq qurilmalarni mahkamlash

### 1. Kirish

Respublikamizda transport inshootlarini loyihalash va qurish jarayonida seysmik himoya elementlaridan foydalanish orqali ularning seysmik barqarorligini oshirish va ta'minlash maqsadida yangi konstruktiv yechimlarni ishlab chiqish va amaliyotga tatbiq etish bo'yicha keng qamrovli tadqiqotlar olib borilmoqda. Shu borada, O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi "2022–2026 yillarda Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"gi PF-60-sonli

Farmonida, jumladan, "... respublikadagi mavjud 1512 ta ta'mirtalab ko'priklar va boshqa sun'iy inshootlarini bosqichma-bosqich qayta qurish va ta'mirlash..." [1] kabi vazifalar belgilab berilgan.

Ushbu vazifalarni bajarish jarayonida, avtomobil yo'llaridagi ko'prik inshootlarini seysmik ta'sirlarga hisoblash usulini takomillashtirish, shuningdek, tebranishlarni dinamik so'ndirgichlar bilan boshqarish maqsadida oraliq qurilmalarni qo'llash muhim hisoblanadi.

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0002-7898-077X>

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0003-3591-6468>



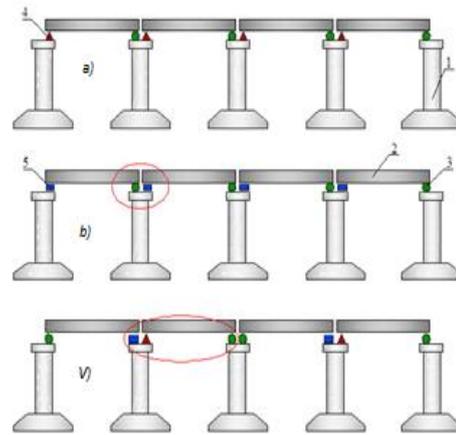
Shu bilan birga, seysmik ta'sir paytida oraliq qurilmalarining xarakterli nuqtalarini tebranishlarning ikkinchi shakli bo'yicha aniqlash orqali ko'priklar ishonchligini oshirish bo'yicha yangi metodlarni ishlab chiqish dolzarb va muhim vazifalardan biri hisoblanadi.

## 2. Tadqiqot metodikasi

Ushbu maqolada og'ir oraliq qurilmali ko'priklar tayanchlarining seysmik tebranishlarini kamaytirish bo'yicha yangi usul taklif etilgan. Masalan, tayanchlarning biriga oraliq qurilmalardan biri bikir, ikkinchisi esa himoyalovchi tayanch elementlari yordamida birlashtirilgan holat ko'rib chiqiladi. Tayanch elementining bikirligi shunday tanlanadiki, izolyatsiyalangan oraliq qurilma bikir mahkamlangan qurilma bilan birgalikda tayanch tebranishlarini dinamik so'ndirgich rejimida boshqaradi. Shu bilan birga, himoyalovchi tayanch bilan yonma-yon joylashgan tayanchlar faqat qo'zg'aluvchan elementlarga ega bo'lib, ko'priklar bo'ylab gorizontal seysmik yuklar ularga sezilarli ta'sir ko'rsatmaydi.

Taklif etilayotgan texnik yechim tayanch tebranishlarini sonli modellashtirish orqali batafsil tahlil qilingan bo'lib, hisoblashlar garmonik ta'sirlar, chiziqli-spektral usul va sintetik akselerogrammalarning ta'siri hisobga olinib amalga oshirilgan. Natijalar shuni ko'rsatdiki, ushbu yechim seysmik yuklarning ta'sirini ikki baravardan ortiq kamaytirishga imkon beradi.

Seysmoizolyatsiya hozirgi vaqtda inshootlar seysmohimoyasining umumiy tirof etilgan samarali vositasidir. U ko'priklarni seysmik himoyalash uchun keng qo'llaniladi. Samarali seysmoizolyatsiya tizimlarining ko'plab misollari bir nechta ilmiy adabiyotlarda tasvirlangan [2, 3]. Seysmoizolyatsiyaning turli yechimlari orasida oraliq qurilma tayanch tebranishlarining dinamik so'ndirgichi vazifasini bajaradigan variant eng optimal variant hisoblanadi. Bunday yechim o'tgan asrning 80-yillari boshida A.A.Nikitin va A.M.Uzdin [4] tomonidan taklif qilingan bo'lib, ular ushbu yechimning samaradorligini tahlil qilish bilan bir qatorda tebranishlarning dinamik so'ndirgichlari (TDS) nazariyasining "Katta massali TDS" bo'limini yaratdi. Ushbu usul [31] monografiyada ko'rib chiqilgan va me'yoriy hujjatlarda [5] aks ettirilgan. Katta massali TDSni o'rganish doirasida TDSning kritik massasi mavjudligi aniqlandi, uning oshib ketishi so'ndirgich ta'sirining yo'qolishiga olib keladi. So'ndirgich massasining  $m$  inshoot massasiga  $M$  nisbati ( $v=m/M$ ) TDS ning nisbiy massasini ifodalaydi. Ushbu kattalik TDS massasi deb ataladi. [5, 6] ma'lumotlariga ko'ra, TDSning kritik massasi  $v_{kp} \approx 2$  ga tengligini ko'rishimiz mumkin.



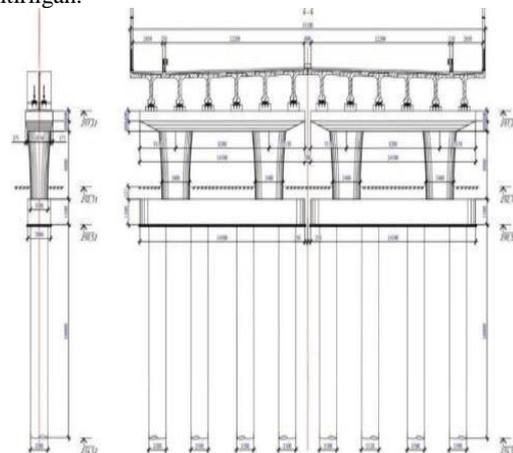
**1-rasm. Ko'priklarni seysmik himoyalashda tayanch qismlarini joylashtirish sxemalari**  
 a) Oddiy tayanch qismlarni joylashtirish  
 b) Oddiy seysmoizolyatsiya tayanchlari  
 v) Taklif etilayotgan seysmoizolyatsiya varianti  
 1 – ko'priklar tayanchlari, 2 – oraliq qurilmalar, 3 – qo'zg'aluvchan tayanch elementlari, 4 – qo'zg'almas tayanch elementlari, 5 – izolyatsiyalovchi tayanch elementlari

O.P. Nesterovanning keyingi tadqiqotlarida TDSning kritik massasi himoyalangan inshootdagi so'nishga sezilarli darajada bog'liqligi aniqlangan [7]. Inshootda kritik qiymatlar 5% dan ortiq so'ndirilganda  $v_{kp}$  qiymati kamayadi, kritik qiymatlar 10% dan ortiq so'ndirilganda 1 ga yaqinlashadi. Shu sababli, ko'pchilik ma'lum yechimlarda, xususan, [3] da, TDS rejimini amalga oshirish mumkin emas. Xuddi shunday holat mamlakatimiz avtomobil yo'llaridagi ko'priklarini loyihalashda ham kuzatiladi.

Taklif etilayotgan sxema ko'priklar tayanchlarining seysmik ta'sirga bardoshini oshirishga qaratilgan bo'lib, qo'zg'aluvchan va izolyatsiyalovchi elementlarning kombinatsiyasidan foydalanadi. Shu tarzda, seysmik yuklar ta'siri sezilarli darajada kamayadi va ko'priklarning ishonchligi oshadi.

Ko'priklar yengil ramali tayanchlar va og'ir temir-beton oraliq qurilmalar bilan ajralib turardi. Ular uchun kattalik  $v > 40$  va tebranishlarning dinamik so'nishi haqida so'z yuritishning imkoni yo'q.

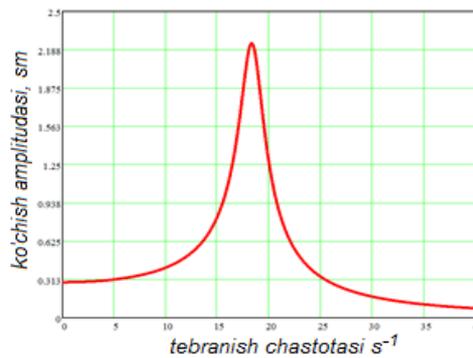
1a-rasmda himoyalangan ko'priklar sxemasi keltirilgan. Oddiy seysmoizolyatsiyalashda tayanch qismlarning an'anaviy joylashuvi 1b-rasmda ko'rsatilgan bo'lib, 1v-rasmda esa taklif etilayotgan seysmoizolyatsiya varianti keltirilgan.



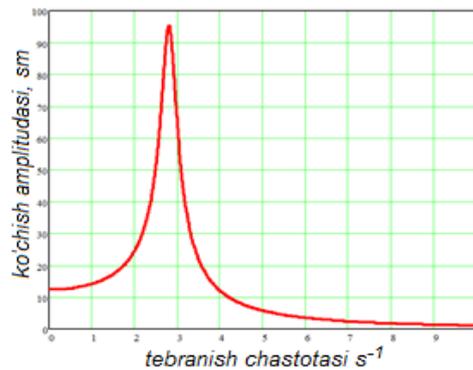
**2-rasm. Ko'priklar ko'ndalang qirg'imi**

Inshootning seysmik himoyalangan qismi qizil rang bilan ko'rsatilgan. Yuqorida ta'kidlanganidek, agar  $v > v_{kp}$  bo'lsa, so'ndirgichning samaradorligi yo'qoladi va izolyatsiylovchi tayanch elementiga ega oraliq qurilma Lanchester dempferi sifatida ishlay boshlaydi. Shu bilan birga, izolyatorning bikirligi kamayishi va dempferlash ta'sirining oshishi uning samaradorligini oshiradi. Bunda oraliq qurilmaning tayanchga nisbatan siljishi juda katta bo'lib, ushbu yechim faqat nazariy hisoblashlarda qo'llanilishi mumkin. [8] tadqiqotida izolyatorlarning bikirligi shunday tanlangan bo'ldiki, 5–6 ball intensivlikdagi zilzilalarga nisbatan tez-tez va kuchsiz zilzilalarda oraliq qurilmaning tayanchga nisbatan siljishi 0,1 m dan oshmaydi. Tayanchning ko'rinishi 2-rasmda ko'rsatilgan. Bunday tizimning ACHXsi 3-rasmda ko'rsatilgan.

Oraliq qurilmasiz tayanchning dastlabki xususiy tebranish chastotasi varianti  $k=18.4$  s<sup>-1</sup> ga, davri esa  $T=0.06$  s ga teng. Tayanchga bitta oraliq qurilma birlashtirilganda tayanchning xususiy chastotasi  $k=2.82$  s<sup>-1</sup> ga tebranish davri  $T=0.36$  s ga teng. Ushbu munosabatlar yengil tayanchli va og'ir oraliq qurilmalarga ega ko'priklarning ko'rib chiqilayotgan turini tavsiflaydi. Doimiy garmonik ta'sir ostidagi amplituda–chastota xarakteristikasida, agar tayanch tanasida kritik so'nish 5%, poydevor ustunlarida esa 7% bo'lsa, siljish qiymatlari quyidagicha aniqlangan: yuklanmagan tayanchlar uchun taxminan 2,5 sm, oraliq qurilmali tayanchlar uchun esa 95 sm.



a)

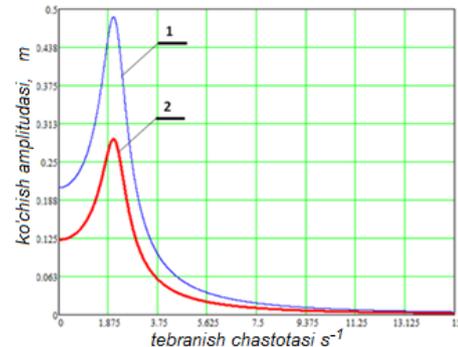


b)

3-rasm. Maxsus seysmik himoyalangan tayanch tebranishlarining ACHX. a) oraliq qurilmalarsiz tayanch b) bitta bikir mahkamlangan oraliq qurilmali tayanch

Yuqorida ta'kidlangan oraliq qurilma siljishlarini cheklash sharti asosida, bikir tayanch elementini izolyatsiylovchi tayanch elementi bilan almashtirish orqali tayanchni seysmoizolyatsiya qilish mumkin. Bu usul tayanchga ta'sir etuvchi seysmik yuklarni ma'lum darajada kamaytirishga imkon beradi. 4-rasmda tayanchning yuqori qismi va oraliq qurilma tebranishlarining amplituda–

chastota xarakteristikalari (ACHX) ko'rsatilgan. Shu yerda, tayanch va oraliq qurilma o'rtasidagi siljishlar garmonik qo'zg'alish sharoitida, 1 m/s<sup>2</sup> tezlanish bilan, taxminan 20 sm ni tashkil qilgan [9].



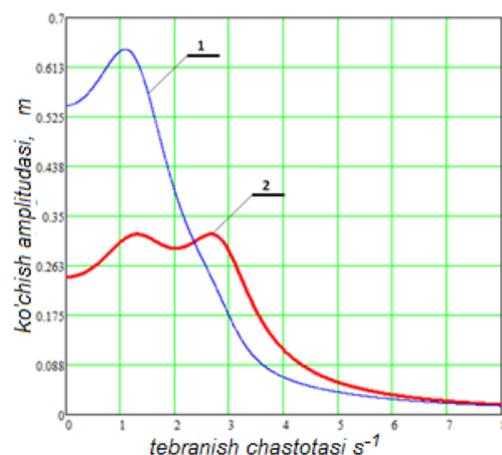
4-rasm. Bitta oraliq qurilmali seysmoizolyatsiyalashtirilgan oraliq qurilmaning va tayanch ustki qismining siljishlari: 1 - oraliq qurilmaning siljishi; 2 - tayanch yuqori qismining siljishi

Seysmoizolyatsiya samaradorligini oshirish uchun ushbu tadqiqot ishida har bir ikkinchi tayanchga izolyatsiylovchi va qo'zg'almas tayanch qismlarini, qo'shni tayanchlarga esa 1 b-rasmda ko'rsatilganidek ikkita qo'zg'aluvchan tayanch qismlarini o'rnatish taklif qilinmoqda. Bunday holda, bikir birlashtirilgan oraliq qurilmaga ega bo'lgan tayanchning TDS rejimida seysmoizolyatsiyani sozlash mumkin bo'ladi. Bu holda konstruksiyaning himoyalangan qismi 1 v -rasmda qizil rang bilan ajratilgan. Tavsiya etilayotgan tayanch qismlarni joylashtirish uchun TDSning nisbiy massasi quyidagiga teng

$$v_{md} = \frac{m}{m+M} = \frac{v}{1+v} \quad (1)$$

Bu kattalik 1 dan biroz kichik bo'lib, izolyatsiyani TDS ish rejimiga samarali sozlash imkonini beradi.

5-rasmda izolyatsiylovchi tayanch qismini optimal sozlash va so'ndirishda oraliq qurilmali tayanchning ACHX ko'rsatilgan. Bikir birlashtirilgan oraliq qurilmaga ega tayanch himoya obyektini hisoblanadi va ikkita cho'qqili ACHXga ega bo'lib, tayanch yuqori qismining maksimal siljishi 32.6 sm, oraliq qurilmaning siljishi esa 64.4 sm ni tashkil etadi.



5-rasm. Birinchi oraliq qurilma seysmik himoyalovchi va ikkinchisi qo'zg'aluvchan hamda qo'zg'almas tayanch qismlar bilan birlashtirilganda oraliq qurilma va tayanch yuqori qismining ko'chishini amplituda–chastota xarakteristikasi: 1 - oraliq qurilmaning siljishi; 2 - tayanch yuqori qismining siljishi



Ikkita birlashtirilgan oraliq qurilmali tayanchning yuqori qismidagi dinamik siljishlar, bitta birlashtirilgan oraliq qurilmali tayanchga nisbatan biroz kichik bo'ladi. Shunga qaramay, tayanch va oraliq qurilma o'rtasidagi siljishlar 38 sm gacha yetishi mumkin. Bu yerda ikki muhim jihadni alohida qayd etish lozim. Birinchidan, siljishlar katta bo'lsa ham, qatnov qismi tirqishlarining deformatsiya choklari yordamida yopilishiga imkon beradi, bu esa ko'plab chet el loyihalarida qabul qilingan amaliy yondashuvdir. Ikkinchidan, 38 sm li siljishlar faqat juda kuchli zilzilalar natijasida yuzaga keladi, kichik va o'rtacha ta'sirlar esa odatda 10–20 sm oralig'ida siljishlar hosil qiladi. Shu sababli, aksariyat hollarda faqat loyihaviy (kichik) zilzilalar uchun qatnov qismini saqlab qolish bo'yicha talablar bilan cheklanish tavsiya etiladi. Bu masala, shuningdek, buyurtmachining qarori va moliyaviy imkoniyatlariga bog'liq.

### 1-jadval

#### Oraliq qurilmalarni mahkamlashning turli usullarida ko'priklar tayanchlarining tebranish parametrlarini qiyosiy baholash

Tayanch xarakteristikalar		Qo'zg'al mas tayanch qismi	Taklif etilayotgan yechim
Oraliq qurilmalarning massalari, <i>t</i>	O'ngdan		624
	O'ngdan	624	624
Shakllarning tebranish davrlari	T <sub>1</sub> , c	2,231	1,764
	T <sub>2</sub> , c		0,715
Modal so'nishlar	$\gamma_1$	0,13	2,9
	$\gamma_2$		0,66
ACHX bo'yicha ko'chishlar, <i>sm</i>	Oraliq qurilma	95	64,4
	Tayanch yuqorisi	95	32,6
	O'zaro	0	32
Tayanch ostidagi hisobiy moment <i>Ms, knm</i>		1536	574

1-jadvaldan ko'rinib turiptiki, oraliq qurilmalarni mahkamlashning turli usullarida ko'priklar tayanchlarining tebranish parametrlarini qiyosiy baholash natijasida, ko'priklar inshootiga qo'zg'almas tayanch qismi o'rnatilganda poydevor ustidagi hisobiy moment qiymati 1536 kNm, taklif etilayotgan yechimda esa 574 kNm ni tashkil etdi, ya'ni moment qiymati 2.67 barobar kamayganini ko'rishimiz mumkin.

Bundan tashqari, [10, 11] tadqiqot ishlarida temir yo'l va avtomobil yo'llaridagi ko'priklarning zilzilabardoshligini oshirishga qaratilgan bo'lib, unda so'ndiruvchi massa sifatida oraliq qurilmadan foydalangan holda tayanch tebranishlarini dinamik so'ndirishni qo'llash istiqbollari ko'rsatilgan. Ushbu ishlarda tebranishlarni dinamik so'ndirgichlarini (TDS) sozlash parametrlariga, ayniqsa, dempferlash bo'yicha sezuvchan emasligi ko'rsatilgan hamda, ko'priklarning seysmik himoya tayanch qismlarining parametrlarini tanlash bo'yicha amaliy tavsiyalar berib o'tgan. Bunda,  $v=2$  bo'lgan holat uchun bikirlik  $f$  bo'yicha xatolar 0,08 dan 0,27 gacha oraliqda, so'nish  $\gamma g$  bo'yicha xatolar esa 0 dan 4,2 gacha oraliqda bo'lishi aniqlangan.

1-jadvaldagi hamda turli nazariyalar va usullar yordamida uzlukli tizimli ko'priklar inshootlari tayanch qismlarining bikirlik  $f$  va so'nish  $\gamma g$  bo'yicha parametrlari

o'zaro solishtirildi. Natijada, muallif tomonidan aniqlangan  $v=2$  bo'lgan holat uchun bikirlik  $f$  bo'yicha sozlanishlar 0,037 ni, so'nish  $\gamma g$  bo'yicha esa 5 ni tashkil etdi. [11] tadqiqot ishi va muallif tomonidan olingan natijalar o'zaro muvofiq kelishini ko'rishimiz mumkin.

### 3. Xulosa

Seysmik ta'sirlar paytida, oraliq qurilma siljishlarini cheklash sharti asosida, bikir tayanch elementini izolyatsiyalovchi tayanch elementi bilan almashtirish orqali tayanchni seysmoizolyatsiya qilish mumkin. Bu usul tayanchga tushadigan seysmik yuklarni ma'lum darajada kamaytirishni ta'minlaydi.

Seysmoizolyatsiya samaradorligini oshirish uchun, har bir ikkinchi tayanchga izolyatsiyalovchi va bikir qo'zg'almas tayanch elementlarini, qo'shni tayanchlarga esa ikkita qo'zg'aluvchan tayanch elementlarini o'rnatish orqali seysmoizolyatsiyani mustahkam birlashtirilgan oraliq qurilmaga ega tayanchning TDS rejimida samarali ishlashini ta'minlash mumkin.

Olib borilgan tadqiqotlar og'ir oraliq qurilmalariga ega bo'lgan avtomobil yo'llari ko'priklarini seysmik himoyalashning yangi usulini tavsiya etish imkoniyatini beradi. Tayanchga tayangan oraliq qurilmalardan birini qo'zg'almas qilib, ikkinchisini esa elastik qilib mahkamlash tavsiya etiladi. Bunda mahkamlash bikirlikini tebranishlarning dinamik so'ndirgichini bikir mahkamlangan oraliq qurilma bilan ishlashini ta'minlash uchun sozlanadi. Bunday yechim tayanch va poydevorlarga seysmik yuklarni sezilarli darajada kamaytiradi.

### Foydalanilgan adabiyotlar / References

- [1] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi "2022-2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida" gi PF-60-son Farmoni.
- [2] Skinner R.I., Robinson / W.H., McVerry G.H. An introduction to seismic isolation. Ney Zealand. John Wiley & Sons. – 1993. – 353p.
- [3] Kuznetsova I.O., Uzdin A.M., Zhgutova T.V., Shulman S.A. Seismic protection of railway bridges in Sochi. Proceedings of Workshop "Bridges seismic isolation and large-scale modeling" Saint-Petersburg 29.06 - 03.07.2010. - pp. 39 – 41
- [4] Сахарова В.В., Симкин А.А., Никитин А.А., Уздин А.М. Использование пролетного строения для гашения сейсмических колебаний опор мостов.//Экспресс-информация ВНИИИС.Сер.14.Сейсмостойкое строительство.-1982.- Вып.4.- С.14-18.
- [5] Инструкция по оценке сейсмостойкости эксплуатируемых мостов на сети железных и автомобильных дорог (на территории Туркменской ССР).-Ашхабад:Блым,1988.-106 с.
- [6] Уздин А.М., Сандович Т.А., Аль-Насер-Мохомад Самих Амин. Основы теории сейсмостойкости и сейсмостойкого строительства зданий и сооружений. – С.Петербург: Изд.ВНИИГ, 1993. – 175с.
- [7] Нестерова О.П., Уздин А.М. Особенности работы динамических гасителей колебаний при силовом и кинематическом возмущении демпфированных



сооружений. Известия российской Академии ракетных и артиллерийских наук. 2016. Вып. 2(92). С 84–89

[8] Гренивич К.М., Кокарева А.В., Пронькин Е.С., Уздин А.М., Долгая А.А., Шермухамедов У.З., Рахимжонов З.К., Шульман С.А. Подбор упругодемпфирующих параметров сейсмоизолирующих опорных частей автодорожного моста // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2024. № 3. С. 08–21. DOI: 10.37153/2618-9283-2024-3-08-21

[9] Raximjonov Z.Q., Shermuxamedov U.Z., Nishonov N.A., Normurodov Sh.U., O'razov X. O'. Avtoyo'l ko'priklarida seysmik himoya tayanch qismlarining elastik dempferlash parametrlarini tanlash tizimini ishlab chiqish// Me'morchilik va qurilish muammolari, №4. SamDAQU, Samarqand, 2024 yil. 267-273b.

[10] Шермухамедов У.З. Гашение продольных сейсмических колебаний опор балочных мостов с сейсмоизолирующими опорными частями: Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук. – СПб.: 2010. – 190 с.

[11] Шермухамедов У.З. Обоснование эффективности и подбор параметров сейсмозащитных опорных частей железнодорожных мостов и эстакад с учетом многоуровневого проектирования в условиях республики Узбекистан: Диссертация на соискание ученой степени доктора (DSc) технических наук. Ташкент – 2021 – 230 с.

[12] Uzdin, A., Shermukhamedov, U., Rakhimjonov, Z., & Gulomov, D. (2025, April). Amplitude-frequency response of seismic-isolated highway bridges at different combinations of span links. In AIP Conference Proceedings (Vol. 3265, No. 1, p. 030003). AIP Publishing LLC.

[13] ўғли Рахимжонов, З. К., Нишанбаев, Ш. З., & ўғли Гулямова, Д. И. (2024). ASSESSMENT OF ECONOMIC DAMAGE CAUSED BY DAMAGE TO BRIDGE CONSTRUCTIONS DUE TO EARTHQUAKE IMPACT: ASSESSMENT OF ECONOMIC DAMAGE CAUSED BY DAMAGE TO BRIDGE CONSTRUCTIONS DUE TO EARTHQUAKE IMPACT. Научный журнал транспортных средств и дорог, 3(4), 41-48.

[14] Raximjonov, Z. (2025). Chirchiq daryosidan o'tadigan avtoyo'l ko'prigida seysmik himoya tizimini ishlab chiqish. Journal of Transport, 2(3), 132-135.

[15] Рахимжонов, З. (2022). Dinamik parametrlarni o'zgarishini hisobga olgan holda to'sinli ko'priklarning texnik holatini baholash bo'yicha tavsiyalar ishlab chiqish: dinamik parametrlarni o'zgarishini hisobga olgan holda to'sinli ko'priklarning texnik holatini baholash bo'yicha tavsiyalar ishlab chiqish. Ресурсосберегающие технологии на транспорте, 2022(2022), 309-312.

[16] Berdibaev, M., Mardonov, B., Nishonov, N., & Rakhimjonov, Z. (2023). Beam vibration due movement of overweight cargoes on reinforced concrete bridges at different ground conditions. In E3S Web of Conferences (Vol. 401, p. 01075). EDP Sciences.

[17] Berdibaev, M., Mardonov, B., Nishonov, N., & Rakhimjonov, Z. (2023). Beam vibration due movement of overweight cargoes on reinforced concrete bridges at different ground conditions. In E3S Web of Conferences (Vol. 401, p. 01075). EDP Sciences.

## Mualliflar to'g'risida ma'lumotlar/ Information about the authors

**Raximjonov Ziyovuddin Rakhimjonov**

Toshkent davlat transport universiteti  
"Ko'priklar va tonnellar" kafedrasida  
dotsenti, t.f.f.d., (PhD)  
E-mail:

[ziyoviddin.raximjonov@mail.ru](mailto:ziyoviddin.raximjonov@mail.ru)

Tel.: +998939390910

<https://orcid.org/0000-0002-7898-077X>

**Xurramov Asror Choriyevich**

O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi M.T. O'rozboyev nomidagi Mexanika va inshootlarning seysmik mustahkamligi instituti, Geotexnika va yer osti inshootlari seysmodinamikasi laboratoriyasi kichik ilmiy xodim

E-mail: [asrorbekxurramov@mail.ru](mailto:asrorbekxurramov@mail.ru)

Tel.: +99893 7643536

<https://orcid.org/0000-0003-3591-6468>



## Concrete for additive construction production in dry hot climate conditions for transport infrastructure

E. Shipacheva<sup>1</sup>, Z. Muradov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

<sup>2</sup>Jizzakh Polytechnic Institute, Jizzakh, Uzbekistan

**Abstract:** The article examines the challenges and solutions for 3D concrete printing in arid, hot climates for transport infrastructure construction. It analyzes the detrimental effects of high temperatures, low humidity, and cyclic loading on the printing process and structural durability. Modern approaches to designing specialized concrete composites are presented, including mix designs with complex admixtures and reinforcement methods. The advantages of additive technologies for creating climate-adapted, functionally integrated, and cost-effective structures are highlighted.

**Keywords:** Additive Construction, 3D Concrete Printing, Arid Hot Climate, Transport Infrastructure, Printable Concrete

## Бетоны для аддитивного строительного производства в условиях сухого жаркого климата для транспортной инфраструктуры

Шипачева Е.В.<sup>1</sup>, Мурадов З.М.

<sup>1</sup>Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

<sup>2</sup>Джизакский политехнический институт, Джизак, Узбекистан

**Аннотация:** Рассмотрены проблемы и решения для 3D-печати бетоном в условиях сухого жаркого климата при строительстве транспортной инфраструктуры. Проанализировано разрушающее воздействие высоких температур, низкой влажности и циклических нагрузок на процесс печати и долговечность конструкций. Представлены современные подходы к созданию специальных бетонных композитов, включая рецептуры с комплексными добавками и методы армирования. Показаны преимущества аддитивных технологий для создания климатически-адаптированных, функционально-интегрированных и экономически эффективных сооружений.

**Ключевые слова:** Аддитивное строительное производство, 3D-печать бетоном, Сухой жаркий климат, Транспортная инфраструктура, Печатный бетон

### 1. Введение

Современная эпоха характеризуется двумя взаимоусиливающимися трендами: стремительной урбанизацией и освоением ранее малодоступных территорий, с одной стороны, и нарастающими проявлениями глобального изменения климата – с другой. Эти процессы с особой остротой проявляются в регионах с сухим жарким климатом (Ближний Восток, Северная Африка, Центральная Азия, частично юго-запад США и Австралия), где масштабные инфраструктурные проекты, особенно в транспортной сфере, становятся локомотивами экономического развития. Однако традиционные методы капитального строительства здесь сталкиваются с системными ограничениями. Дефицит и высокая стоимость воды, экстремальные температурные нагрузки, приводящие к тепловым деформациям и ускоренной деградации материалов, сложности с логистикой и зависимостью от массового импорта квалифицированной рабочей силы – все это существенно увеличивает сроки, стоимость и экологический след проектов [1].

В этом контексте аддитивное строительное производство (АСП, или 3D-печать бетоном) emerges не просто как инновационная технология, а как стратегическое решение, способное перезагрузить подходы к возведению объектов. Его потенциал – в беспрецедентной автоматизации, цифровизации процесса, радикальном сокращении отходов и возможности создавать сложные, оптимизированные формы, недоступные для традиционной опалубки. Для транспортной инфраструктуры, требующей множества типовых, но адаптируемых к местности элементов (опоры мостов, шумозащитные экраны, элементы развязок, павильоны), АСП открывает путь к массовой кастомизации и ускоренному развертыванию.

Большие проблемы внедрения АСП в транспортное строительство Республики Узбекистан обусловлены климатическими особенностями региона.

Так, каждый фактор среды действует комплексно, создавая агрессивную среду для аддитивного процесса:

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0009-0000-0489-445X>

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0002-6761-6753>



1. Гипертермия и радиационный нагрев: Температура окружающего воздуха в  $+45...+50^{\circ}\text{C}$  приводит к нагреву компонентов смеси (цемента, заполнителей) уже на стадии хранения и дозирования. Солнечная радиация дополнительно и неравномерно нагревает поверхность только что отпечатанного элемента, вызывая градиенты температур до  $20-30^{\circ}\text{C}$  по сечению слоя. Это провоцирует термические напряжения, ведущие к деформациям и расслоению.

2. Кинетика влагообмена: Относительная влажность воздуха ниже 30% вызывает мгновенное испарение воды с поверхности экструдированной нити. Это не только останавливает гидратацию в поверхностном слое, но и создает капиллярные силы, вытягивающие влагу из глубины. Результат – пластическая усадка, сетка микротрещин, критическое снижение межслойной адгезии (ключевого параметра для АСП) и пониженная долговечность.

3. Циклические нагрузки: Суточный перепад температур в  $25-30^{\circ}\text{C}$  создает эффект «дыхания» конструкции. Для транспортных сооружений (мостов, эстакад) это накладывается на динамические и вибрационные нагрузки от транспорта, ускоряя усталостное разрушение.

4. Абразивно-коррозионная среда: Переносимые ветром частицы песка действуют как абразив, а солевые туманы или высолы в прибрежных пустынях инициируют коррозию стальной арматуры (если она используется) и деградацию цементного камня.

Однако фундаментальным «узким местом» для реализации этого потенциала в условиях аридного климата является материал-носитель технологии – бетонная смесь для печати. Стандартные составы, разработанные для умеренного климата, в условиях гипертермии, низкой влажности и интенсивной солнечной радиации ведут себя непредсказуемо: происходит катастрофически быстрое испарение воды, нарушающее кинетику гидратации и межслойную адгезию; возникают критические градиенты температур и пластические усадки, ведущие к трещинообразованию; ускоряется схватывание, дестабилизирующее процесс экструзии. Таким образом, актуальность темы заключается в необходимости фундаментального переосмысления реологии, состава и поведения бетона на всех этапах – от приготовления до длительной эксплуатации в экстремальных условиях. Это задача на стыке материаловедения, химии, строительной физики и робототехники, решение которой определит возможность перехода от экспериментальных демонстраторов к масштабному промышленному применению АСП в стратегически важных регионах планеты [2].

## 2. Методология исследования

В сложившихся реалиях строительства транспортных сооружений целесообразно рассматривать бетон для АСП не как смесь, а как конструкционный композит с программируемыми свойствами на всех стадиях: от экструзии до долговечной эксплуатации. В связи с этим, основными моментами будут являться подбор состава бетона и методы армирования.

1. Тщательный подбор и подготовка компонентов:

Вязущие системы: Используются композиты на основе портландцемента с оптимизированным минералогическим составом (C3A, C3S). Активно

внедряются альтернативные низкоуглеродистые вязущие: щелочно-активированные шлаки (AAS) или зола (geopolymers). Они не только обладают значительно меньшим тепловыделением, но и демонстрируют повышенную стойкость к сульфатам и хлоридам, характерным для засушливых регионов.

Заполнители: Вместо стандартных применяются фракционированные заполнители с повышенной плотностью упаковки для снижения потребности в воде. Исследуется использование местных материалов, таких как термообработанные пустынные пески (для улучшения зернового состава) или дробленый базальт, повышающий итоговую абразивную стойкость.

Модифицирующие добавки (ключевой элемент):

Суперпластификаторы нового поколения (PCE с контролируемой адсорбцией): Позволяют достичь консистенции, идеальной для экструзии, при низком водоцементном отношении ( $V/C < 0.30$ ), что напрямую повышает прочность и снижает усадку.

Водоудерживающие добавки (ВУД): На основе эфиров целлюлозы или синтетических полимеров. Они создают в пористой структуре гелевую матрицу, физически связывая воду и замедляя ее миграцию к поверхности испарения на критически важные первые 60-90 минут после печати.

Стабилизаторы реологии (загустители): Обеспечивают структурную вязкость (тиксотропию), предотвращая расплывание нижних слоев под весом верхних. Часто используются в синергии с PCE.

Пенообразователи и воздухововлекающие добавки (контролируемые): Введение микропор (3-5% объема) целенаправленно снижает плотность и теплопроводность материала, а также создает резервные пустоты для компенсации термического расширения.

Ускорители/замедлители схватывания с «умной» активацией: Многофункциональные добавки, которые могут замедлять схватывание в смесительном узле и шланге, но ускорять его сразу после экструзии под действием температуры или УФ-излучения.

2. Стратегии армирования для аддитивных конструкций:

Дискретное (фибровое) армирование: Как упомянуто, базальтовые, полипропиленовые, а также стальные волокна длиной 6-12 мм. Современный тренд – гибридное армирование (сочетание волокон разной длины и модуля упругости) для одновременного подавления микро- и макротрещин.

Непрерывное армирование: Прорывное направление – одновременная совместная печать бетона и непрерывной нити из полимерных композитов (базальтопластик, стеклопластик, углепластик). Робот укладывает бетон и арматуру в едином технологическом цикле, создавая предварительно напряженные, анизотропные конструкции с высокой прочностью на растяжение и изгиб, что идеально для пролетных строений мостов и консолей.

Армирование встроенными элементами: В процессе печати в тело бетона автоматически устанавливаются аккерные гильзы, закладные детали, каналы для последующего натяжения или монтажа перил и ограждений [3].

## 3. Результаты исследования

Геометрическая свобода АСП позволяет переосмыслить сами принципы проектирования инфраструктуры для жаркого климата.



Таблица 1

Сравнение свойств бетонных смесей для 3D-печати в условиях сухого жаркого климата

Состав смеси	В/Ц	Прочность на сжатие (28 суток), МПа	Межслойная адгезия, МПа	Усадка при высыхании, %	Время сохранения пластичности, мин
Стандартный состав (без добавок)	0,45	35,2	0,8	0,15	40
С ПВХ и ВУД	0,35	52,6	2,1	0,08	75
С фиброй (базальт 1%)	0,38	48,5	2,5	0,06	60
С геополлимерным вяжущим	0,30	58,0	2,3	0,05	90

Примечание: ПВХ — поликарбоксилатный пластификатор, ВУД — вододерживающая добавка.

1. Пассивная климатическая адаптация конструкций (биомиметика):

Конструкции с минимальным поперечным сечением: Печать ажурных, решетчатых (латообразных) структур для опор, подпорных стенок, козырьков. Это уменьшает массу, нагрев и ветровую нагрузку.

Элементы с развитой поверхностью теплообмена: Внешние ребра, выступы, каналы по аналогии с ребрами кактуса или ушами фенека. Они увеличивают поверхность охлаждения и создают самообразующуюся тень на части конструкции.

Интегрированные системы пассивного охлаждения: Печать полых элементов с вертикальными вентиляционными каналами, работающими по принципу солнечной трубы (термосифона). Нагретый воздух поднимается вверх, создавая тягу и втягивая более холодный воздух снизу.

2. Функционально-интегрированные транспортные сооружения:

«Умные» мостовые опоры и пролеты: В процессе печати закладываются не просто каналы, а целые сетки волоконно-оптических датчиков (Distributed Fiber Optic Sensing). Они позволяют в режиме реального времени контролировать деформации, температуру по сечению, зарождение и раскрытие трещин по всей длине элемента.

Аддитивные элементы дорожного полотна: Печать не несущих, но функциональных элементов — шумопоглощающих барьеров с открытой пористой структурой, ветрозащитных экранов сложной аэродинамической формы, водосборных и дренажных лотков с интегрированными каналами.

Быстровозводимые модульные конструкции для логистики: Печать на месте модульных блоков для складов временного хранения, гаражей для спецтехники, укрытий для дорожных служб. Форма блоков может предусматривать пазы для быстрой сборки без раствора, по принципу Lego.

3. Мобильные и автономные производственные платформы:

Развитие идет в сторону создания мобильных автономных заводов-принтеров (Mobile On-Site Printing Factory) на базе тяжелых грузовиков или гусеничных шасси. Такая платформа включает:

Силовую установку (часто гибридную, дизель-солнечную).

Бункеры-силосы для сухих компонентов с системой пневмоподачи.

Модуль приготовления и охлаждения смеси (с чиллером).

Роботизированный манипулятор с изменяемой геометрией зоны печати.

Подобные комплексы могут перемещаться вдоль трассы, последовательно печатая элементы инфраструктуры.

#### Экономические и экологические перспективы.

Внедрение специализированных бетонов для АСП в сухом климате, несмотря на высокую начальную стоимость материалов и оборудования, дает значимые преимущества:

Снижение логистических затрат: До 70% материалов (песок, заполнитель) можно закупать локально. Печать на месте исключает транспортировку крупногабаритных ЖБИ.

Экономия воды: За счет низкого В/Ц и вододерживающих добавок потребление воды снижается на 30-50% по сравнению с монолитным строительством.

Энергоэффективность жизненного цикла: Оптимизированные по массе и теплотехническим свойствам конструкции требуют меньше энергии для будущей эксплуатации (например, охлаждения тоннелей).

Сокращение сроков: Скорость возведения увеличивается в 2-3 раза, что критически важно для инфраструктурных проектов.

#### Будущие направления исследований и развития.

1. 4D-печать с памятью формы: Материалы, которые могут менять геометрию (например, открывать/закрывать жалюзи) под воздействием температуры.

2. Фото- и термokatалитические бетоны: Для самоочистки поверхностей от пыли и разложения органических загрязнений под действием солнца.

3. Полностью рециклируемые смеси: Разработка бетонов, которые после демонтажа конструкции могут быть размолоты и использованы в качестве заполнителя для новой печати.

4. Искусственный интеллект в управлении процессом: Системы компьютерного зрения и машинного обучения для онлайн-мониторинга качества экструзии, автоматической коррекции параметров печати в ответ на изменение ветра и температуры.



#### 4. Заключение

Развитие специализированных бетонов для аддитивного строительства в условиях сухого жаркого климата представляет собой не просто техническую задачу, а комплексную междисциплинарную проблему, успешное решение которой знаменует переход к новой парадигме в строительстве транспортной инфраструктуры. Как показывает анализ, современные материалы эволюционируют от простых смесей к высокофункциональным инженерным композитам с программируемыми свойствами. Ключом к успеху является синергия низкотеплотворных вяжущих систем, локальных заполнителей, многоуровневого армирования (от микрофибры до непрерывных композитных нитей) и «умных» химических добавок, которые совместно обеспечивают стабильную экструзию, формоустойчивость и долговечность в агрессивной среде.

Однако революционный потенциал технологии раскрывается только при интеграции этих материалов с передовыми цифровыми и конструктивными подходами. Свобода геометрического моделирования позволяет создавать бионические, топологически оптимизированные структуры, которые не только несут нагрузку, но и активно противостоят климатическим воздействиям – самоохлаждаются, минимизируют нагрев, эффективно отводят воду и пыль. Внедрение систем мониторинга на этапе печати (компьютерное зрение) и в процессе эксплуатации (распределенные волоконно-оптические датчики) превращает инфраструктуру в «живой», чувствительный организм, способный информировать о своем состоянии в реальном времени.

Таким образом, будущее строительства транспортных объектов в экстремальных климатических зонах лежит в конвергенции трех направлений:

Интеллектуальные материалы: самовосстанавливающиеся, с фазовым переходом, фотокаталитические и полностью рециклируемые бетоны.

Автономные роботизированные системы: мобильные платформы, способные работать в автономном режиме, адаптируясь к изменению условий на стройплощадке [4].

Цифровые двойники на протяжении всего жизненного цикла: от оптимизации проекта в silico до прогнозной аналитики эксплуатации на основе данных с датчиков.

Страны и корпорации, которые смогут освоить и интегрировать эту триаду, получат не просто новую строительную технологию, а мощный инструмент геоэкономического влияния. Они смогут быстро и эффективно развертывать критически важную инфраструктуру в самых сложных регионах мира, обеспечивая устойчивое развитие, снижая ресурсоемкость и формируя новые стандарты безопасности и долговечности. Аддитивное строительство из сферы экспериментальных фасадов и малых архитектурных форм окончательно переходит в область ответственного инженерного строительства, открывая новую главу в создании адаптивной и резилиентной среды обитания человечества.

#### Использованная литература / References

- [1] Latest Technologies in Construction. 3D Printer 2016 / Baryshnikov Alexander Anatolyevich, Mustafin Nail Shamilyevich
- [2] Innovative Construction of Buildings and Structures Using a 3D Printer 2018 / Leonova Anna Nikolaevna, Meged Tatyana Konstantinovna, Sogonova Margarita Yuryevna
- [3] Progressive Construction Technology of Printing Houses on 3D Printers 2020 / Gridina Darya Vladimirovna
- [4] Modern Three-Dimensional Printers for Additive Construction Production 2019 / Trebukhin A. F., Parri D. E.
- [5] Muradov Z. M. Investigation of Concrete Strength Considering Nonlinear Deformation Using Modern Electronic Means //Academy. – 2020. – No. 12 (63). – Pp. 108-110.
- [6] Karakulov Kh. M. et al. Technological Methods for Improving the Durability of Concretes in the Dry Hot Climate of Uzbekistan on the Example of Jizzakh Region //BST: Bulletin of Construction Equipment. – 2020. – No. 8. – Pp. 24-26.
- [7] Muradov Z. M. On Calculating Concrete Strength Considering Nonlinear Deformation Based on Fracture Mechanics //Science and Education. – 2022. – Vol. 3. – No. 2. – Pp. 367-374.
- [8] Additive Technology: Description, Definition, Application Features and Reviews. Additive Technologies in Industry [Electronic Resource]. Access Mode: <https://fb.ru/article/231049/additivnaya-tehnologiya-opisanie-opredelenie-osobnosti-primeneniya-i-otzyivyi-additivnyie-tehnologii-v-promyshlennosti>.
- [9] Review Article on 3D Construction Technologies [Electronic Resource]. Access Mode: <https://habr.com/ru/post/224299/>.
- [10] Ivanova, E. A. Methodology for Research of Materials for Construction 3D Printing / E. A. Ivanova // Prospects for the Development of Additive Technologies in the Republic of Belarus. Minsk: Belarus. Nauka, 2021. Pp. 15–26.
- [11] Concrete Mixes. Test Methods: STB 1545–2005. Introduced 01.07.2005. Minsk: Minstroiarhitektury, 2005. 24 p.
- [12] Concretes. Methods for Determining Strength by Control Specimens: GOST 10180–2012. Introduced 01.07.2013. Moscow: Standartinform, 2018. 36 p.
- [13] Zafarov O., Gulomov D., Murodov Z. Conducting Engineering-Geological Researches on Bridges Located in Our Country and Diagnosing Their Superstructures, Methods of Eliminating Identified Defects //Problems in the Textile and Light Industry in the Context of Integration of Science and Industry and Ways to Solve Them:(Ptlicisiws-2022). – 2023. – Vol. 2789. – No. 1. – P. 040079.
- [14] Ganiev I. G. et al. Global Issue of Ageing Reinforced Concrete Bridge Infrastructure //Technical Science Integrated Research. – 2025. – Vol. 1. – No. 3. – Pp. 3-9.
- [15] Ganiev I. G. et al. Failure Mechanisms of Reinforced Concrete Bridges //Technical Science Integrated Research. – 2025. – Vol. 1. – No. 3. – Pp. 10-14.



**Информация об авторах/  
Information about the authors**

Щипачева Елена  
Владимировна

Ташкентский государственный  
транспортный университет, Доктор  
технических наук, профессор,  
Email: [eshipacheva@mail.ru](mailto:eshipacheva@mail.ru)  
<https://orcid.org/0009-0000-0489-445X>

Мурадов  
Зухриддин  
Мухитдин угли

Джизакский политехнический  
институт  
Email: [zuxriddinmuradov@gmail.com](mailto:zuxriddinmuradov@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0002-6761-6753>



## Seismic Performance of Continuous Monolithic Bridges

I. Mirzaev<sup>1</sup><sup>a</sup>, U. Shermukhamedov<sup>1</sup><sup>b</sup>, A. Karimova<sup>1</sup><sup>c</sup>, A. Abdullaev<sup>1</sup><sup>d</sup>

<sup>1</sup> Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** The article highlights the issues of enhancing seismic resistance of transportation structures located in seismically active regions of Uzbekistan. Based on real earthquake records, the methodology for selecting bridge constructive parameters and performing structural analysis is examined. The study applies the Timoshenko beam model, spectral analysis, and time-history methods, with a case study of a reinforced concrete overpass in Jizzakh. Results indicate that post-tensioned tendons significantly improve seismic performance.

**Keywords:** transportation structures, bridge, earthquake-resistant design, real earthquake records, Timoshenko beam model

## Uzluksiz monolit ko'priklarning zilzilabardoshligi

I. Mirzayev<sup>1</sup><sup>a</sup>, U. Shermuxamedov<sup>1</sup><sup>b</sup>, A. Karimova<sup>1</sup><sup>c</sup>, A. Abdullayev<sup>1</sup><sup>d</sup>

<sup>1</sup> Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

**Аннотация:** Мақоллада O'zbekiston seysmik faol hududida joylashgan transport inshootlarining zilzilabardoshligini oshirish masalalari yoritilgan. Haqiqiy zilzila yozuvlari asosida ko'priklarning optimal parametrlarini tanlash va hisoblash metodologiyasi ko'rib chiqilgan. Tadqiqotda Timoshenko balkasi modeli, spektral va vaqt bo'yicha hisoblash usullari qo'llanib, Jizzaxdagi yo'l o'tkazgich misolida natijalar tahlil qilingan. Natijalarga ko'ra, armatura trossining tarangligi zilzilabardoshlikni sezilarli oshirishi aniqlangan.

**Ключевые слова:** Transport inshootlari, ko'prik, zilzilabardosh loyihalash, haqiqiy zilzila yozuvlari, Timoshenko balkasi modeli

### 1. Kirish

Jahonda seysmik faol hududlardagi transport magistralarida joylashgan uzluksiz monolit ko'prik inshootlarini loyihalash, qurish va ekspluatatsiya bosqichlarida zilzilabardoshligini ta'minlash, seysmik ta'sirlarni hisobga olgan holda avtomobil yo'llaridagi uzluksiz monolit ko'prik inshootlarining konstruktiv parametrlarini tanlash masalalariga alohida ahamiyat berilmoqda.

Bu borada avtomobil yo'llaridagi ko'prik inshootlarining konstruktiv elementlarini "grunt – poydevor – tayanch – tayanch qismi – oraliq qurilma" tizimida sonli eksperimentlar olib borish orqali konseptual ilmiy yondashuvning o'zaro ta'sir etuvchi yaxlit tizimi sifatida ko'rgan holatda amaliy tavsiyalar ishlab chiqish, haqiqiy zilzila yozuvlari asosida avtomobil yo'llaridagi uzluksiz monolit ko'prik inshootlarining konstruktiv parametrlarini tanlash va seysmik mustahkamligini baholash usullarini ishlab chiqish amaliy va nazariy tadqiqotlarning dolzarb vazifalaridan hisoblanadi.

Ko'prik inshootlarining konstruktiv elementlari zilzilabardoshligi bo'yicha tajribaviy va sonli tadqiqotlar A. Stolarski va A. Jancy [1], M. Khatib [2], Jeung-Hwan Doh va Sam Fragomeni [3], Terje Kanstad va Daniel Cantero [4] kabi olimlar va mutaxassislar tomonidan o'tkazilgan.

### 2. Tadqiqot metodikasi

Jizzax shahrida Islom Karimov ko'chasidan M39 Toshkent-Termiz avtomobil yo'ligacha bo'lgan yangi 4K-253a avtomobil yo'li bo'ylab o'tadigan uzluksiz temirbeton yo'l o'tkazgichni ko'rib chiqamiz (1-rasm).

Jizzax shahrida joylashgan uzunligi 120 m va kengligi 21 m bo'lgan uch oraliqli temirbeton monolit yo'l o'tkazgichni ko'rib chiqamiz, oraliq qurilma yo'l o'tkazgich bo'ylab o'zgaruvchan qalinlikka ega, noan'anaviy loyihalashning 35+50+35m uzluksiz monolit temirbeton hisoblash sxemasi bilan bajarilgan. Uzunligi bo'ylab oraliq qurilma o'zgaruvchan balandlikdagi plita bilan bajarilgan – oraliq o'rtasida 1,35 m va oraliq tayanch ustida 2,0 m.

Yo'l o'tkazgichning konstruktiv elementlari (oraliq qurilma va taranglikdan keyingi armatura Trosslari) cho'zilish-siqilish, ikki yo'nalish bo'yicha siljish deformatsiyasini hisobga olgan holda egilish (Timoshenko balkasi) va buralishga ishlaydigan yakuniy element ko'rinishida modellashtiriladi. Timoshenko balkasining chekli elementi matritsalarini [5] da keltirilgan.

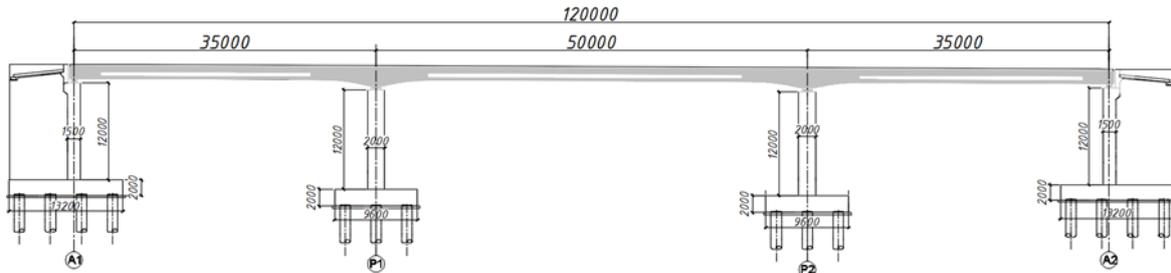
<sup>a</sup>  <https://orcid.org/0000-0002-8616-9717>

<sup>b</sup>  <https://orcid.org/0000-0003-1718-5331>

<sup>c</sup>  <https://orcid.org/0000-0003-4568-4728>

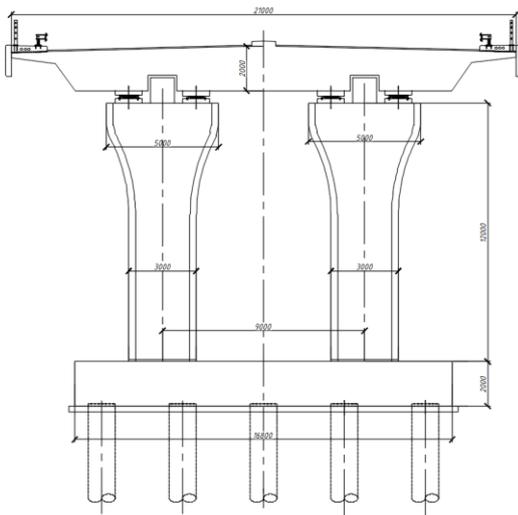
<sup>d</sup>  <https://orcid.org/0000-0002-8338-2053>





1-rasm. Monolit yo'l o'tkazgich sxemasi

Oraliq tayanchlar ikki ustunli bo'lib, o'lchamlari: balandligi 12 m, fasad bo'ylab kengligi 2 m, yo'nalishida balandligi bo'yicha balandligi 3 m dan 5 m gacha o'zgaruvchan o'lchamga ega. Monolit yo'l o'tkazgichning sxemasi 1-rasmda keltirilgan. Oraliq tayanchning umumiy ko'rinishi 2-rasmda ko'rsatilgan.



2-rasm. Oraliq tayanchning umumiy ko'rinishi

Yo'l o'tkazgichning konstruktiv elementlari ikki yo'nalishda kesish deformatsiyasini (Timoshenko balkasi) va buralishni hisobga olgan holda egilib, kuchlanish-siqilish ostida ishlaydigan chekli element sifatida modellashtirilgan.

Grunt uch yo'nalish va uch buralish bo'yicha Vinkler modeli yordamida modellashtirilgan.

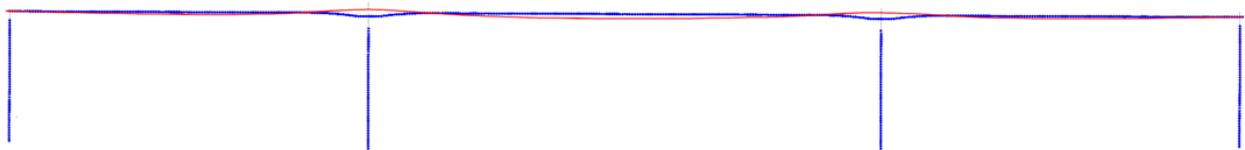
2017 yilda Seysmologiya instituti tomonidan tuzilgan seysmik mikrorayonlashtirish xaritasiga ko'ra Jizzax shahri hududining seysmikligi 7 va 8 ballga baholangan. Rejalashtirilgan qurilish uchastkasi 8 ball hududida joylashgan.

QMQ 2.01.03-19 [6] ning 1.1-jadvaliga muvofiq, seysmik xususiyatlar bo'yicha Grunt toifasi III (uchinchi) - g'ovaklik koeffitsienti  $e < 0,8$  bo'lgan qumli Gruntli oraliq qatlamlari bo'lgan lyossga o'xshash qumloqlar. Shuni inobatga olgan holda, qurilishi rejalashtirilgan maydonning seysmikligini 8 ball sifatida qabul qilish tavsiya etiladi.

Seysmik ta'sir tayanchlar orqali gruntida tarqalayotgan fazoviy haqiqiy zilzila yozuvlari to'lqinlari sifatida konstruksiyaga uzatiladi [7]. LRB - SN seriyasining rezina-metall tayanch qismlari yordamida tayanchlarga ulanadi.

Hisob ishlari SHARK dasturiy majmuasi yordamida zilzilalarning haqiqiy qaydlari asosida amalga oshirildi. 17.05.1976 yildagi Gazli (O'zbekiston) zilzilasi, MSK-64 shkalasi bo'yicha 9 balldan ortiq, maksimal tezlanish, tezlik va ko'priq yo'nalishi bo'yicha siljishning haqiqiy seysmogrammalari yozuvlari asosida dinamik yukdan monolit ko'priknii hisoblash natijalari keltirilgan. Zilzila qaydlari Yevropa kuchli zilzilalar ma'lumotlar bazasidan olingan.

Seysmik ta'sir inshootga to'rtta nuqtada grunt orqali uzatiladi. Oraliq qurilma tayanchlarga LRB-SN seriyasidagi rezina-metall tayanch qism elementlari yordamida birlashtiriladi. SHARK dasturiy majmuasidagi yo'l o'tkazgichning chekli elementli modeli 3-rasmda keltirilgan.



3-rasm. SHARK dasturiy majmuasida yo'l o'tkazgichning chekli elementli modeli

1990-yil 20-iyundagi Manjil (Eron) zilzilasi real seysmogrammalari yozuvlari bo'yicha monolit yo'l o'tkazgichni dinamik yukdan hisoblash natijalarini ko'rib chqamiz. MSK-64 shkalasi bo'yicha 8 ball, maksimal tezlanish, tezlik va yo'nalishdagi siljish, ko'priknii bo'ylama o'qi, seysmik to'lqinlarning tarqalishi: maksimal gorizontal tezlanish 1,869 m/s<sup>2</sup>, tezlik 0,18 m/s, siljish 0,095 m, raqamlash qadami 0,005 s, davomiyligi 80,42 s (dastlabki hisobda 40 soniya) [8]. Zilzila yozuvlari Yevropa kuchli zilzilalar ma'lumotlar bazasidan olingan. Diskretlashtirish uchun yo'l o'tkazgich 278 ta chekli elementlarga ajratildi.

Hisoblashlar vaqt qadami 0,001 s bo'lgan oshkormas sxema bo'yicha amalga oshirildi. Energiya yo'qotilishi Reley shaklida hisobga olindi.

Gruntning yaxlit uzluksiz yo'l o'tkazgich poydevori bilan o'zaro ta'siri 4 ta holatda ko'rib chiqildi.

1. Qum
2. Supes
3. Suglinok
4. Loy

Ushbu grunt sharoitlarining xususiyatlari 1-jadvalda keltirilgan.



1-jadval

Grunt sharoitlarining xususiyatlari				
	Qum	Supes	Suglinok	Loy
$\nu$	0,3	0,35	0,37	0,45
E, MPa	1,2E+08	4,6E+08	1,8E+09	7,6E+09
Tayanch	Chetki/ Oraliq	Chetki/ Oraliq	Chetki/ Oraliq	Chetki/ Oraliq
$K_{xx}$ , N/m <sup>3</sup>	4,17E+09 2,95E+09	1,77E+10 1,25E+10	7,25E+10 5,13E+10	3,69E+11 2,61E+11
$K_y$ , N/m <sup>3</sup>	4,4E+09 3,09E+09	1,87E+10 1,32E+10	7,64E+10 5,38E+10	3,89E+11 2,74E+11
$K_z$ , N/m <sup>3</sup>	5,26E+09 3,71E+09	2,34E+10 1,65E+10	9,75E+10 6,88E+10	5,4E+11 3,81E+11
$K_{xx}$ , N/m <sup>3</sup>	2,36E+11 8,67E+10	1,05E+12 3,85E+11	4,38E+12 1,6E+12	2,43E+13 8,89E+12
$K_{yy}$ , N/m <sup>3</sup>	5,88E+11 1,99E+11	2,61E+12 8,84E+11	1,09E+13 3,68E+12	6,03E+13 2,04E+13
$K_{zz}$ , N/m <sup>3</sup>	5,71E+11 1,97E+11	2,36E+12 8,13E+11	9,52E+12 3,28E+12	4,6E+13 1,59E+13
G, MPa	8,5 E+7	3,54E+08	1,43E+09	6,91E+09

bunda:  $\nu$  – Puasson koeffitsiyenti, E – Yung moduli,  $K_x$  – x o'qi bo'yicha birklik,  $K_y$  – y o'qi bo'yicha birklik,  $K_z$  – z o'qi bo'yicha birklik,  $K_{xx}$  – x o'qi atrofida buralishdagi birklik,  $K_{yy}$  – y o'qi atrofida buralishdagi birklik,  $K_{zz}$  – z o'qi atrofida buralishdagi birklik, G – siljish moduli bo'lib, (1) – (6) ifodalar orqali qiymatlari aniqlangan:[9].

$K_x$  – x o'qi bo'yicha birklik

$$K_x = \frac{GB}{2-\nu} \left[ 3.4 \left( \frac{L}{B} \right)^{0.65} + 1.2 \right] \quad (1)$$

$K_y$  – y o'qi bo'yicha birklik

$$K_y = \frac{GB}{2-\nu} \left[ 3.4 \left( \frac{L}{B} \right)^{0.65} + 0.4 \frac{L}{B} + 0.8 \right] \quad (2)$$

$K_z$  – z o'qi bo'yicha birklik

$$K_z = \frac{GB}{1-\nu} \left[ 1.55 \left( \frac{L}{B} \right)^{0.75} + 0.8 \right] \quad (3)$$

$K_{xx}$  – x o'qi atrofida buralishdagi birklik

$$K_{xx} = \frac{GB^3}{1-\nu} \left[ 0.4 \frac{L}{B} + 0.1 \right] \quad (4)$$

$K_{yy}$  – y o'qi atrofida buralishdagi birklik

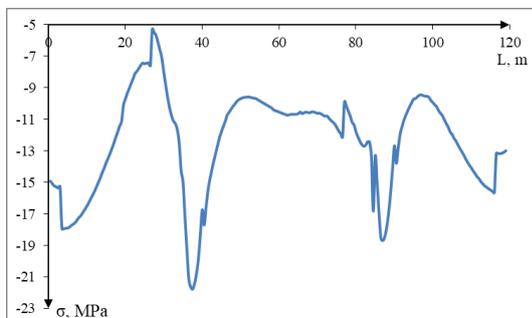
$$K_{yy} = \frac{GB^3}{1-\nu} \left[ 0.47 \left( \frac{L}{B} \right)^{2.4} + 0.034 \right] \quad (5)$$

$K_{zz}$  – z o'qi atrofida buralishdagi birklik

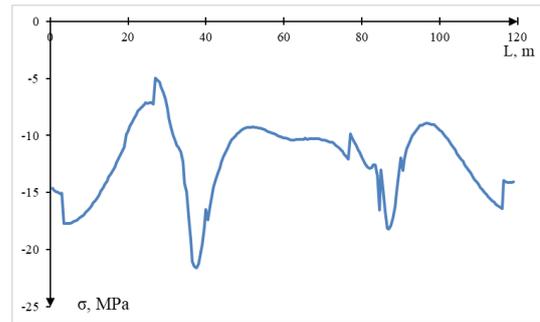
$$K_{zz} = GB^3 \left[ 0.53 \left( \frac{L}{B} \right)^{2.45} + 0.51 \right] \quad (6)$$

Bunda: L va B – poydevor uzunligi va kengligi.

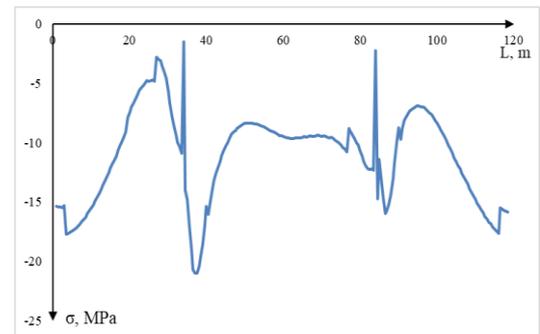
4, 5 va 6-raslarda qumli grunt sharoitida monolit yo'lo'tkazgich oraliq uzunligining yuqori qismida statik holatda (0 sek.) va dinamik holatda (26,94 sek. va 28,96 sek.) normal kuchlanishning o'zgarish grafiklari keltirilgan.



4-rasm. Qumli grunt sharoitida estakada uzunligi bo'ylab statik holatda oraliq qurilmaning yuqori qismida siquvchi kuchlanishning o'zgarishi



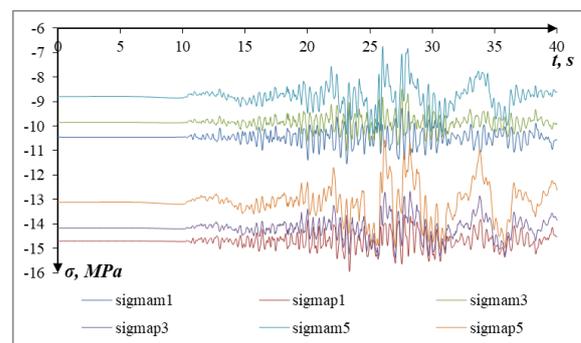
5-rasm. Qumli grunt sharoitida dinamik holatda (26,94 sek) oraliq qurilmaning yuqori qismidagi siquvchi kuchlanishning yo'l o'tkazgich uzunligi bo'ylab o'zgarishi



6-rasm. Qumli grunt sharoitida yo'l o'tkazgichning uzunligi bo'ylab dinamik holatda (28,96 sek) oraliq qurilmaning yuqori qismidagi siqilish kuchlanishining o'zgarishi

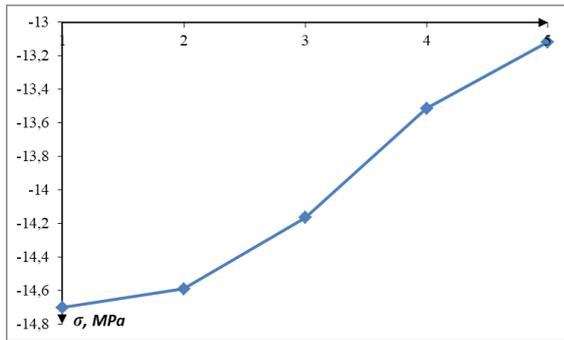
Yo'l o'tkazgichning yuqori qismidagi kuchlanishlarning o'zgarishini tahlil qilish natijasida yo'l o'tkazgichning o'rta qismida siquvchi va cho'zuvchi kuchlanishlarning maksimal qiymatlari aniqlandi. Yo'l o'tkazgichning yuqori qismidagi maksimal siqilish kuchlanishi 26,94 soniyada sodir bo'ladi va -11,547 MPa ga teng, yo'l o'tkazgichning pastki qismidagi maksimal cho'zilish kuchlanishi esa qumli grunt sharoitida Manjil zilzilasi qayd etishda 28,96 soniyada sodir bo'ladi va -9,2181 MPa ga teng. Natijalar loyihalash me'yorlaridan oshmaydi va texnik talablarga javob beradi.

Turli grunt sharoitlarida monolit yo'l o'tkazgichning o'rtasida oraliq qurilmaning yuqori va pastki qismlarida normal kuchlanishning o'zgarishi 7-rasmda keltirilgan.



7-rasm. Manjil zilzilasi qum, qumloq va absolyut qattiq holatlar uchun yo'l o'tkazgich o'rtasidagi oraliq qurilmaning yuqori (sigmam) va pastki (sigmap) qismlarida normal kuchlanishning o'zgarishi





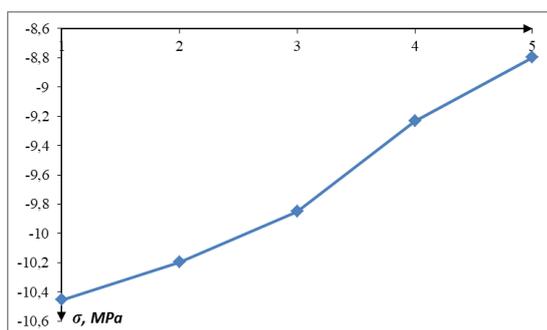
8-rasm. Manjil zilzilasi qum, qumoq, qumloq, gil va absolyut qattiq holatlar uchun yo'l o'tkazgich o'rtasidagi oraliq qurilmaning pastki qismlarida normal kuchlanishning o'zgarishi

2-jadvalda uzluksiz monolit yo'l o'tkazgich oraliq qurilma elementlarining yuqori va pastki qismlarida normal kuchlanishning o'zgarishi bo'yicha hisoblash natijalarining turli gruntlar uchun SHARK dasturiy ta'minot paketidagi statik holatning qiyosiy tahlili keltirilgan.

2-jadval

Yo'l o'tkazgichning o'rtasidagi yuqori va pastki qismlarida oraliq qurilmadagi maksimal kuchlanish qiymatlari

№	Grunt turi	Yuqori qismdagi maksimal kuchlanish MPa	Pastki qismdagi maksimal kuchlanish MPa	SHNK
				2.05.03-2022 bo'yicha siqilish/cho'zilishdagi maksimal ruxsat etilgan kuchlanish MPa
1	Qum	-14,703	-10,456	-50.4 / 3.22
2	Supes	-14,591	-10,198	-50.4 / 3.22
3	Suglinok	-14,167	-9,850	-50.4 / 3.22
4	Loy	-13,513	-9,232	-50.4 / 3.22
5	Absolyut mustahkam	-13,117	-8,796	-50.4 / 3.22



9-rasm. Manjil zilzilasi qum, qumoq, qumloq, gil va absolyut qattiq holatlar uchun yo'l o'tkazgich o'rtasidagi oraliq qurilmaning yuqori qismlarida vaqt o'tishi bilan normal kuchlanishning o'zgarishi

8 va 9-rasmlarni tahlil qilib va natijalarni 2-jadvalda ko'rsatib, quyidagi umumiy qonuniyatlarni aniqlashimiz mumkin: asosning qattiqligi Absolyut qattiq → Loy → Suglinok → Supes → Qumdan kamayishi bilan siqilish va cho'zilish kuchlanishlari ortadi. Asos qumdan bo'lganda eng

katta zo'riqishlar hosil bo'ladi.

### 3. Xulosalar

Ishlab chiqilgan usulda uzluksiz monolit yo'l o'tkazgichni mavjud zilzilalarning yozuvlari asosida tayanchlarning turli balandliklarda (6m, 8m, 10m, 12m bo'lganda) va turli grunt sharoitlarida (qum, supes, suglinok, loy va absolyut qattiq) zilzilabardoshlikka hisoblanganda, oraliq qurilmalardagi normal kuchlanishlar amaldagi me'yoriy hujjatlar talablariga muvofiqligi isbotlandi. Olingan natijalarga ko'ra, uzluksiz monolit ko'prikinshooti oraliq qurilmasi uchun maksimal siqilishdagi kuchlanishi qum asos uchun -14.703 MPa, absolyut qattiq uchun -8.796 MPa tashkil qildi, bu esa uzluksiz monolit ko'prikinshooti seysmik mustahkamligini ta'minlaydi.

### Foydalanilgan adabiyotlar / References

- [1] Jancy A., Stolarski A., Zychowicz J. Experimental and Numerical Research of Post-Tensioned Concrete Beams. *Materials*, 2023. T. 16. №. 11. p. 4141.
- [2] Baalbaki O. et al. Numerical shear of post-tensioned beams with inverted-U shaped reinforcements. *Magazine of Civil Engineering*. 2022. T. 110. №. 2. p. 11006.
- [3] Dinh P. T. Numerical modeling techniques and investigation into the flexural behavior of two way posttensioned concrete slabs with profiled steel sheeting. *Structural Concrete*. 2023. T. 24. №. 2. pp. 2674-2698.
- [4] Menga A. Corrosion induced damages and failures of posttensioned bridges: A literature review. *Structural Concrete*. 2023. T. 24. №. 1. pp. 84-99.
- [5] Mardonov B., Mirzaev I., Nishonov N., An E., Kosimov E. Study of the uplift of buried pipelines in liquefied soils based on the earthquake record // *E3S Web of Conferences*. – 2024. – Vol. 515. – P. 04009. – EDP Sciences. – DOI: 10.1051/e3sconf/202451504009.
- [6] КМК 2.01.03-19. Строительство в сейсмических районах. – Ташкент, 2019.
- [7] Khasanov A. Z., Shermukhamedov U. Z., Abdullayev A. R. 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, 2023. – C. 464-467
- [8] Ambraseys, N.N., Smit, P., Douglas, J., Margaris, B., Sigbjörnsson, R., Ólafsson, S., Suhadolc, P., Costa, G. Internet site for European strong-motion data. *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*. 2004. 45(3). URL: [http://www.isesd.hi.is/ESD\\_local/frameset.htm](http://www.isesd.hi.is/ESD_local/frameset.htm)
- [9] El Janous, S. & El Ghoulbzouri, A. (2025). Evaluation of the Seismic Susceptibility in the North of Morocco Considering the Soil-Structure Interaction. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 49(1), 547–563. <https://doi.org/10.1007/s40996-024-01474-x>.



## Mualliflar to'g'risida ma'lumot / Information about the authors

**Mirzayev Ibraxim**  
/ Mirzaev  
Ibraxim

Toshkent davlat transport universiteti  
fizika-matematika fanlari doktori,  
professor  
E-mail: [ibrakhimmir@mail.ru](mailto:ibrakhimmir@mail.ru)  
Tel.: +998909388017  
<https://orcid.org/0000-0002-8616-9717>

**Shermuxeimedov**  
Ulugbek  
Zabixullayevich /  
Shermuxeimedov  
Ulugbek  
Zabihullaevich

Toshkent davlat transport universiteti  
texnika fanlari doktori, professor  
Email: [ulugbekjuve@mail.ru](mailto:ulugbekjuve@mail.ru)  
Tel.: +998903161181  
<https://orcid.org/0000-0003-1718-5331>

**Karimova Anora**  
Baxtiyerovna /  
Karimova Anora  
Bakhtiyerovna

Toshkent davlat transport universiteti  
"Ko'priklar va tonnelar" kafedrası,  
(PhD), dotsent  
E-mail:  
[anorakarimovabaxtiyorovna@gmail.com](mailto:anorakarimovabaxtiyorovna@gmail.com)  
Tel.: +998909904443  
<https://orcid.org/0000-0003-4568-4728>

**Abdullayev**  
Abduraxim  
Rovshan o'g'li /  
Abdullaev  
Abduraxim  
Rovshan ugli

Toshkent davlat transport universiteti  
"Ko'priklar va tonnelar" kafedrası,  
(PhD), assistent  
E-mail: [abdurahim4095@gmail.com](mailto:abdurahim4095@gmail.com)  
Tel.: +998909446530  
<https://orcid.org/0000-0002-8338-2053>



## Use of basalt reinforcement, mesh, and fabrics as structural materials in geotechnical and earthworks

A. Khasanov<sup>1</sup><sup>a</sup>, Z. Khasanov<sup>2</sup><sup>b</sup>, B. Kurbanov<sup>1</sup><sup>c</sup>, B. Toshmukumov<sup>1</sup><sup>d</sup>

<sup>1</sup>Samarkand State University named after Sharof Rashidov, Samarkand, Uzbekistan

<sup>2</sup>GeoFundamentProject LLC, Samarkand, Uzbekistan

**Abstract:** This article analyzes the possibilities of using basalt fiber-based composite reinforcement in geotechnical, hydraulic engineering structures, as well as in buildings and civil engineering constructions. The physical and mechanical properties of the material are compared with those of steel reinforcement, and the most appropriate fields of application are identified.

**Keywords:** basalt reinforcement (basalt rebar), composite materials, soil reinforcement, geotechnical engineering, foundations, corrosion resistance, low-rise construction

## Basalt armatura, to‘r va matolarning geotexnik hamda yer inshootlarida konstruktiv materiallar sifatida qo‘llanilishi

Xasanov A.Z.<sup>1</sup><sup>a</sup>, Xasanov Z.A.<sup>2</sup><sup>b</sup>, Kurbanov B.I.<sup>1</sup><sup>c</sup>, Toshmuqumov B.J.<sup>1</sup><sup>d</sup>

<sup>1</sup>Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti, Samarqand, O‘zbekiston

<sup>2</sup>”GeoFundamentProject” MCHJ, Samarqand, O‘zbekiston

**Annotatsiya:** Ushbu maqolada bazalt tolasi asosidagi kompozit armaturalarning geotexnik, gidrotexnik, bino va inshootlarida qo‘llanish imkoniyatlari tahlil qilinadi. Materialning fizik-mexanik xususiyatlari po‘lat armatura bilan taqqoslanadi hamda qo‘llashning eng maqbul sohalari aniqlanadi.

**Kalit so‘zlar:** Bazalt armatura, bazalt to‘r, bazalt tola, bazalt mato

### 1. Kirish

So‘nggi yillarda qurilish amaliyotida kompozit armirlovchi materiallar keng qo‘llanilmoqda. Ayniqsa bazalt tolasi asosidagi armatura yuqori mustahkamlik, kichik zichlik va agressiv muhitlarga chidamliligi sababli dolzarb ahamiyat kasb etmoqda.

Bazalt tolalari asosida tayyorlangan materiallar geotexnikda, gidrotexnikda, bino va inshootlari qurilishida keng qo‘llanilib kelinmoqda. Jumladan, bazalt to‘r va matolar quyidagi maqsadlarda ishlatiladi: grunt asoslarini mustahkamlash, qiyaliklarni barqarorlashtirish, qirg‘oq va kanallarni himoyalash, armogrunli devorlar qurish, yo‘l qoplamalarini mustahkamlash.

Bazalt tolalari asosida tayyorlangan materiallar korroziyaga uchramaydi, tuz va kimyoviy moddalarga chidamli, zichligi po‘latga nisbatan bir necha baravar kichik, montaj qilish oson va issiqlik o‘tkazuvchanligi past. Quyida bazalt tilalari asosida tayyorlangan armaturalarning fizik-mexanik ko‘rsatkichlar keltirilgan.

2-jadval.

Bazalt armaturaning fizik-mexanik ko‘rsatkichlar

T/r	Parametrlat	Tipik qiymatlar
1	Zichlik	1,9 – 2,1 t/m <sup>3</sup>
2	Elastiklik moduli	45–80 GPa
3	Cho‘zilishdagi mustahkamlik	800–1400 MPa
4	Nisbiy cho‘zilish	2–3 %

5	Korroziyaga chidamlilik	Yuqori
6	Haroratga chidamlilik	300–400 °C gacha

Hozirgi kunda mamlakatimizda bazalt armaturalarni qurilishda ommaviy ko‘llash bo‘yicha ishlar ozroq oqshamoqda. Bunga sabab bazalt armaturalarning quyidagi kamchiliklari hisoblanadi:

**Elastiklik modulining pastligi.** Ya‘ni po‘lat armaturalardan tayyorlangan konstruksiyalarga nisbatan bazalt armaturalardan tayyorlangan konstruksiyalar ko‘proq egilib ketadi. Buning natijasida esa, konstruksiyalarda yorilishlar tezroq paydo bo‘lishi mumkin [1, 2];

**Mo‘rt material.** Ogohlantirmasdan sinib ketadi (xuddi po‘latdek egilib, oldindan belgi bermaydi bermaydi) [3];

**Yuqori haroratga chidamsiz.** 300 ÷ 400°C da mustahkamligi keskin pasayadi (yong‘in xavfida ishonchlik keskin pasayadi) [4].

**Me‘yoriy hujjatlar va tajriba kamroq.** Po‘lat armaturaga nisbatan QMQ va SHNQ Yevrokodlar tajribasi cheklangan [5].

Mamlakatimizdagi bazalt zavodlar ishlab chiqarayotgan bazalt tolalaridan ip yigirib, ushbu iplardan yoki tayyor bazalt matolardan qoplar ishlab chiqarishni yo‘lga qo‘yish texnologiyasini ishlab chiqish katta ahamiyatga ega. Ushbu qoplardan quyidagi muammolarni yechish mumkin.

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0002-0227-7199>

<sup>b</sup> <http://orcid.org/0009-0002-0227-7198>

<sup>c</sup> <https://orcid.org/0009-0002-2674-780X>

<sup>d</sup> <https://orcid.org/0009-0008-7556-9572>





**1-rasm. Daryo qirg'oqlaridagi inshootlar poydevori asoslarini sel yuvish hollari [6]**

Bahor faslidagi kuchli yog'ingarchilik davrida Zarafshon daryo yon bag'irlarini katta suv oqimlari oqizib ketishi sababli daryoni kesib o'tgan ko'priklar tayanchlari ostidagi poydevorlar asoslarini oqizib ketishi tufayli ko'priklarni buzilishi yoki ekspluatatsiyaga yaroqsiz holatga kelishi kuzatilmoqda (1-rasm). Ushbu talafotlarni bartaraf etish uchun davlat byudjeti mablag'lardan katta summalar ajratilib kelinmoqda. Ajratilgan mablag'lar yangi ko'priklar qurish va ekspluatatsiyaga yaroqsiz bo'lib qolgan ko'priklarni rekonstruksiya qilish uchun sarflanmoqda. Bundan tashqari Buxoro viloyati Qoraqalpog'iston Respublikasidan o'tuvchi xalqaro ahamiyatga ega avtomobil yo'llari yon bag'irlarda yotgan qumlar shamol ta'sirida yo'l qoplamlariga va chiqib qolish va haydovchilarga noqulayliklar keltirib chiqarish holatlari ko'p kuzatilmoqda [6]. Bu muammolarga yechim topish uchun olimlar ilmiy izlanishlar olib borishmoqda. bazalt tolalaridan tayyorlangan matolaridan ishlab chiqarilgan qoplarda shu atrofda inert materiallar (shag'al, qum, va boshqalar) joylashtirilib to'siqlar tayyorlash katta samara beradi. Masalan: Zarafshon daryolari yoqalarini himoyalash uchun shu daryoning shag'alidan foydalanib, bazalt matolardan ishlab chiqarilgan qoplarni ichini to'ldirib katta suv oqimi oqizilmaydigan to'siqlar tayyorlash. Buxoro viloyati Qoraqalpog'iston

Respublikasidan o'tuvchi xalqaro ahamiyatga ega avtomobil yo'llari yoqalari bo'ylab, bazalt matolar asosida tayyorlangan qoplarni ichiga qumi to'ldirib to'siqlar barpo etish va boshqalar.

Ushbu ishlarni amalga oshirishda bazalt matolaridan ishlab chiqarilgan qoplarni ishlatilishiga sabab, bazalt yuqori haroratga, agressiv muhitga, issiq-sovuq ta'siriga, quyoshning to'g'ridan-to'g'ri ta'sir etayotgan nuri ta'siriga, suv muhitiga chidamliligining yuqorilidir.

Po'lat, polimer, mato va kompozitsion materiallardan tayyorlangan to'rlar, matolar va boshqalar uzoq muddat xizmat qilmaydi.

Bazalt tolasidan tayyorlangan matolardan ishlab chiqarilgan qoplarning xizmat muddati uzoq bo'ladi. Bordinyu bazalt tolalaridan tayyorlanadigan matolarni ishlab chiqarishda yoki ushbu matolardan qoplar tayyorlashda boshqa materiallar (epoksid yelim, polimer va boshqalar) ishlatilsa bunday qoplarning xizmat muddati kamayib ketadi.

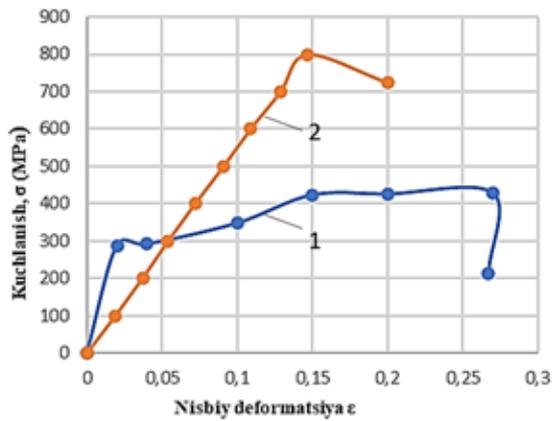
## 2. Tadqiqot metodikasi

Mamlakatimizda bazalt materiallarini ishlab chiqarish zavodlari ochilganligi munosabati bilan, mahalliy xom ashyolardan ishlab chiqarilayotgan materiallarni qurilish va geotexnikada qo'llash biz muhandislar oldimzda turgan oliy vazifalardan biri hisoblandi. O'zbekistondagi bazalt zavodida ishlab chiqarilgan bazalt armaturalarini po'lat armaturalar bilan taqqoslash maqsadida "GEOFUNDAMENTPROJECT" MCHJ qoshidagi "Avtomobil yo'llari va qurilish materiallari" ilmiy tadqiqot laboratoriyasida Xasanov A.Z. rahbarligida diametri  $d = 6$  mm va sinfi A240 bo'lgan po'lat hamda bazalt armaturalarning elastiklik moduli va cho'zilishdagi qarshiliklari aniqlandi (2-rasm). Tajribadan olingan natijalar asosida quyidagi grafik qurildi (3-rasm). Natijalar tahlili asosida quyidagi taqqoslash jadvali ishlab chiqildi (1-jadval).



**2-rasm. Po'lat va bazalt armaturalarning elastiklik moduli va cho'zilishdagi qarshiliklari aniqlash jarayonidan lavhalar**





3-rasm. Kuchlanish va nisbiy deformatsiya orasidagi bog‘lanish grafiqi. 1-po‘lat armatura; 2-bazalt armatura

Bazalt armaturalarni bino va inshootlar qurilishida kam qo‘llanilishga asosiy sabab bazalt armaturalarni elastik modulining kichikligi va ularning yuqori harorat ta‘sirida xususiyatlarini kamayishi sabab edi. Ushbu kamchiliklari inobatga olib bazalt armaturalari po‘lat armaturalar bilan birgalikda qo‘llash masalasi qo‘yildi va shu tarzda 2020-yilda O‘zbekistondagi bazalt zavodida ishlab chiqarilgan

bazalt armaturalarini po‘lat armaturalar bilan birgalikda qo‘llab “GEOFUNDAMENTPROJECT” MCHJ hududida Xasanov A.Z. rahbarligida 2 qavatli bino qurildi (4, 5-rasmlar).

3-jadval

Po‘lat va bazalt armaturalarning elastiklik moduli va cho‘zilishdagi qarshiliklari taqqoslash

T/r	Nomlanishi	Cho‘zilishdagi qarshiligi, R (MPa)	Elastiklik moduli, E (GPa)	Po‘lat elastiklik modulining bazalt elastiklik moduliga nisbati, $\frac{E_s}{E_{bas}}$
1	Po‘lat armatura	428	210	2,62
2	Bazalt armatura	800	80	

Mana 5 yil davomida shu binoni ekspluatatsiya qilish davrida bino konstruksiyalarida hech qanday yoriqlar yoki egilishlar kuzatilmadi (6-rasm).



4-rasm. Bino ora yopmasini barpo etish jarayonidan lavha



5-rasm. Bino ora yopmasi betonlangandan keyingi lavha



**6-rasm. Binoning barpo yetilgandan keyingi lavha**

Ko'chki va surilishlarni hisoblash usullari orasida eng soddagina hisoblash imkonini beruvchi usullardan biri bu Fellenius usuli hisoblanadi. Fellenius usuli – geotexnika muhandisligida ishlatiladigan surilish tekisligi bo'ylab ko'chkini tahlil qilish usuli bo'lib, bu usul doiraviy surilishlarni hisoblashda yaxshi samara beradi.

Ushbu usul ko'chki ehtimolini tez hisoblash, grunt parametrlarining minimal ma'lumotlarini talab qilgan holda

hisoblash orqali qiyalikni dastlabki taxminiy hisoblash ishlari uchun ishlatiladigan samarali usuldur.

Bazalt to'rlarni geotexnikada keng ko'llash ishlari jadallik bilan olib borilmoqda. Jumladan Xitoy-Qirg'iziston-O'zbekiston temir yo'l trassasi qurilishida Qirg'izistonda o'tuvchi temir yo'l asosini va poyini qatlamlab zichlashda asosning yuk ko'tara olish qobiliyati va deformatsiyasini kamaytirish hamda qiyaliklarning turg'unligini ta'minlash maqsadida bazalt to'rlardan foydalanilmoqda (7-rasm).



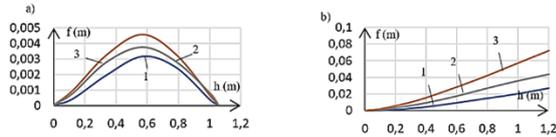
**7-rasm. Xitoy-Qirg'iziston-O'zbekiston temir yo'l trassasi qurilishida Qirg'izistonda o'tuvchi temir yo'l asosini va poyini qatlamlab zichlashda jarayonidan lavha**



**8-rasm. Bazalt matolarning gorizontaal va vertikal joylashuvining tirgak devaoga ta'sirni tadqiqot etish jarayonidan lavhalar**



Bazalt to'rlar va matolarni geotexnikada qo'lashda samaradorlikni aniqlash bo'yicha Xasanov rahbarligida ilmiy tadqiqot olib borayotgan doktorant B.J. Toshmuqumovning tadqiqotlarida (8-rasm) quyidagi natijalar keltirilgan. Bazalt matolar bilan gorizontalar armaturalangan gruntlarda o'tkazilgan laboratoriya sinovlari qumli grunt bosimi ta'siridagi deformatsiyalarni tahlil qilish imkonini berdi. Bazalt matolarning gorizontalar va vertikal joylashuvi solishtirilganda, gorizontalar ko'rinishdagi armalash plastinaning egilishini eng kamaytirishi va grunt ichki siljishlarini cheklashda samarali ekanligi aniqlandi (9-rasm).



**9-rasm. Bazalt matolarning joylashuviga qarab po'lat plitaning egilishi. a) qistirib mahkamlangan po'lat plitaning egilish grafigi; b) sharnirli mahkamlangan po'lat plitaning egilishi; 1-bazalt matolar gorizontalar joylashtirilganda; 2- bazalt matolar vertikal joylashtirilganda; 3- bazalt matolar joylashtirilmaganda plastinaning egilishi**

9-rasmdagi grafikdan ko'rinib turibdiki, bazalt matolarni gorizontalar joylashtirilganda po'lat plitaning egilishi kichik qiymatni tashkil qilyapti.

Bazalt matolardan tayyorlangan materiallarni (buyumlarni) qurilish va geotexnikada keng ko'llash mumkin. Jumladan bazalt tolalaridan eshilgan iplardan tayyorlangan qoplardan avtomobil va temir yo'llarini ko'chuvchi qumlardan himoyalash uchun to'siqlarni barpo etishda ko'llash va daryo o'zanlarini mustahkamlashda ko'llash yaxshi samara beradi (10-rasm). Sababi bazalt tolalari mustahkam, agressiv muhitga, quyosh nuriga, issiq-sovuqqa chidamli hisoblanadi.



**10-rasm. Bazalt tolalaridan eshilgan iplardan tayyorlangan qoplardan avtomobil va temir yo'llarini ko'chuvchi qumlardan himoyalash uchun to'siqlar va daryo o'zanlarini mustahkamlash jarayonidan lavhalar [7]**

Olib borilgan ilmiy-tahliliy va amaliy tadqiqotlar mahalliy xom ashyolar asosida ishlab chiqarilayotgan bazalt armaturalar, to'rlar va tolali materiallarni qurilish hamda geotexnika sohasida qo'llash katta amaliy ahamiyatga ega ekanligini ko'rsatdi. Tadqiqotlar natijalari bazalt materiallarining afzalliklari va cheklovlarini kompleks baholash, shuningdek, ularni an'anaviy po'lat materiallar bilan birgalikda qo'llash orqali samaradorlikni oshirish imkoniyatini ochib berdi.

Bazalt armaturalarning elastiklik moduli po'lat armaturalarga nisbatan past ekanligi aniqlandi. Bu holat

binolarning yer sathidan yuqorida joylashgan yuk ko'taruvchi kaontruksiyalarida yakka holda (faqat bazalt armaturalarni o'zini) qo'llanilganda konstruksiyalarda egilishlarning ortishi va yorilishlar tezroq paydo bo'lishiga sabab bo'lishi mumkin. Shu bilan birga, amaliy kuzatuvlar shuni ko'rsatdiki, bazalt armaturalarni po'lat armaturalar bilan birgalikda kompleks qo'llash orqali ushbu kamchiliklar sezilarli darajada kamaytiriladi. Xususan, bazalt armaturalar betonda korroziyaga chidamli va yengil element sifatida ishlasa, po'lat armaturalar konstruksiyaning umumiy bikirligi va deformatsiyalarga qarshiligini ta'minlaydi.

2020 yilda O'zbekistondagi bazalt zavodida ishlab chiqarilgan bazalt armaturalardan va po'lat armaturalardan birgalikda foydalanib barpo etilgan ikki qavatli bino misolida olib borilgan besh yillik ekspluatatsion kuzatuvlar natijasida konstruksiyalarda yoriqlar, ortiqcha egilishlar yoki boshqa konstruktiv nuqsonlar aniqlanmadi. Bu holat bazalt va po'lat armaturalarning kompleks qo'llanilishi konstruksiyaning ishonchliligi va xizmat muddatini ta'minlashda samarali yechim ekanligini tasdiqladi.

Geotexnika sohasida olib borilgan tahlillar bazalt to'rlarning bino va inshootlar (avtomobil va temir yo'llar) asoslarini mustahkamlashda yuqori samara berganini ko'rsatdi. Xususan, Xitoy-Qirg'iziston-O'zbekiston temir yo'l trassasi qurilishida bazalt to'rlardan foydalanish natijasida asosning yuk ko'tarish qobiliyati oshgani, deformatsiyalar kamaygani va qiyaliklarning turg'unligi yaxshilangani kuzatildi. Bu esa bazalt to'rlarni zamonaviy transport infratuzilmasi obyektlarida keng qo'llash imkoniyati mavjudligini ko'rsatadi.

Shuningdek, bazalt tolalaridan tayyorlangan matolar va ular asosida ishlab chiqarilgan qoplarning eroziyaga qarshi himoya tadbirlarida yuqori samara berishi aniqlandi. Daryo qirg'oqlarini mustahkamlashda va ko'chuvchi qumlarni to'sishda bazalt matoli qoplar ichiga mahalliy inert materiallar (shag'al, qum) to'ldirilishi iqtisodiy va texnik jihatdan maqbul yechim ekani isbotlandi. Bazalt tolalarining agressiv muhitga, ultrabinafsha nurlarga, issiq-sovuq ta'siriga hamda suv muhitiga chidamliligi bunday konstruksiyalarning xizmat muddatini sezilarli darajada oshiradi.

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, bazalt materiallarini yakka holda emas, balki po'lat va boshqa an'anaviy materiallar bilan kompleks holda qo'llash orqali ularning texnik-iqtisodiy samaradorligini oshirish mumkin. Bu yondashuv mahalliy resurslardan oqilona foydalanish, qurilish tannarxini pasaytirish va qurilish hamda geotexnika inshootlarining uzoq muddatli ishonchliligini ta'minlashga xizmat qiladi.

Yuqoridagi mulohazalar asosida yaqin kelajakda Xasanov A.Z. BAZALT-UZBEKISTAN korxonasi bazalt armaturalarni qo'llab 3 qavatli kottej qurilish va ularni sinash ishlari rejalashtirilgan. Bu ish yuzasidan olib boriladigan tadqiqotlar real binolarda amalga oshiriladi. Bundan tashqari binolarning yer ostidagi konstruksiyalarni armaturalashda bazalt armaturalarni qo'llash bo'yicha ilmiy izlanishlar olib borilmoqda. Jumladan burg'ulab barpo etiladigan qoziqlarni tayyorlashda faqat bazalt armaturalarni ko'llash va qiziqilarni zilzila tasirida tadqiq etish masalasi qo'yilgan.

O'tkazilgan sinovlar mahalliy ishlab chiqaruvchi BAZALT-UZBEKISTAN mahsulotlarining yuqori mustahkamlik va kimyoviy barqarorlikka ega ekanligini ko'rsatdi. Kombinatsiyalangan (po'lat + bazalt) armirlash konstruksiyaning ishonchliligini oshiradi.



### 3. Xulosa

1. Bazalt armatura agressiv muhitlarda, gruntlarni mustahkamlashda va kam qavatli binolarda samarali hisoblanadi. Uzoq muddatli xizmat muddati va iqtisodiy samaradorlikni ta'minlaydi.

2. Kompozit materiallar shu jumladan bazalt materiallari qurilish va geotexnika sohasida katta istiqbolga ega. Bazalt armaturalarining ayrim kamchiliklari, jumladan elastiklik modulining pastligi, mo'rtligi va yuqori haroratga chidamsizligi ularni yakka holda qo'llashni cheklasa-da, po'lat armaturalar bilan birgalikda qo'llash orqali ushbu muammolarni samarali hal etish mumkinligi amaliy misollar orqali tasdiqlandi.

2. Bazalt va po'lat armaturalardan kompleks foydalangan holda qurilgan ikki-uch qavatli binolarning besh yillik ekspluatatsiya qilish davrida konstruktiv nuqsonlar kuzatilmagani mazkur yechimning ishonchli va maqbul ekanligini ko'rsatadi. Shuningdek, bazalt to'rlar va bazalt tolali materiallarni geotexnikada, jumladan temir yo'l va avtomobil yo'llari qurilishida, qiyaliklar turg'unligini ta'minlash hamda eroziyaga qarshi himoya tadbirlarida qo'llash yuqori samara berayotgani aniqlandi.

3. Bazalt materiallarini qurilish amaliyotiga keng joriy etish, ayniqsa ularni an'anaviy po'lat materiallar bilan kompleks konstruksiya ko'rinishda qo'llash, qurilish tannaxini pasaytirish, mahalliy resurslardan oqilona foydalanish va konstruksiyalarning uzoq muddatli ishonchligini ta'minlashga xizmat qiladi. Kelgusida real obyektlarda olib boriladigan tadqiqotlar bazalt materiallarini qo'llash sohasini yanada kengaytirish va me'yoriy hujjatlar bazasini takomillashtirish uchun mustahkam ilmiy-amaliy asos bo'lib xizmat qiladi.

4. BAZALT armaturalarni qurilishda keng tatbiq qilish uchun oliy ta'lim muassasalarida va ilmiy tekshirish korxonalarida yirik modellar bilan real qurilmalarni sinash va ularni deformatsiya va mustahkamligini aniqlash katta amaliy ahamiyatga ega, chunki aynan shu yo'l bilan amaliy qo'llanmalar ishlab chiqishga sharoit yaratiladi.

### Foydalanilgan adabiyotlar / References

[1] Song K., Yu Y., Liu Y., Zhao J. Flexural performance study of basalt-fiber-reinforced polymer bar basalt-fiber-reinforced concrete beams // Buildings. — 2023. — Vol. 13, No. 10. — Article 2583. DOI: 10.3390/buildings13102583.

[2] Wu Z., Wang X., Iwashita K. State-of-the-art of advanced FRP applications in civil infrastructure in Japan // Composites Part B: Engineering. — 2010. — Vol. 41, No. 6. — P. 433–450. DOI: 10.1016/j.compositesb.2010.05.007.

[3] Benmokrane B., El-Salakawy E., El-Ragaby A. Flexural behavior of concrete beams reinforced with FRP bars // Journal of Composites for Construction. — 2006. —

Vol. 10, No. 2. — P. 123–131. — DOI: 10.1061/(ASCE)1090-0268(2006)10:2(123).

[4] Ascione, L., Mancusi, G., & Spadea, G. (2010). Long-term behavior of FRP reinforcing bars. Composites Part B: Engineering, 41(3), 210–219. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2009.12.003>.

[5] ACI Committee 440. Guide for the design and construction of concrete reinforced with FRP bars (ACI 440.1R) // American Concrete Institute. — 2015.

[6] Kurbanov B., Qarshiboyev M. BAZALT tolalari asosida olingan ip kalavalaridan sochiluvchan materiallarni saqlash uchun qoplar. “Yangi o'zbekiston: ilm qaldirg'ochlari - 2023” II-respublika ko'rik tanlovi hamda talabalarning ilmiy-amaliy konferensiya materiallari, 2-qism. Jizzax shaxri 2023. 112-113 b.

[7] “Sandbag.” Wikipedia, Wikimedia Foundation, <https://en.wikipedia.org/wiki/Sandbag> Accessed 29 Jan. 2026.

### Mualliflar to'g'risida ma'lumot / Information about authors

<b>Xasanov Askar Zabiyeovich / Askar Khasanov</b>	Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti “Nazariy va injenerlik mexanikasi” kafedrasini mudiri, professor Email: <a href="mailto:askar_hasanov@mail.ru">askar_hasanov@mail.ru</a> ; <a href="mailto:uzssmge@gmail.com">uzssmge@gmail.com</a> Tel.:+ 998979273733 <a href="https://orcid.org/0000-0002-0227-7199">https://orcid.org/0000-0002-0227-7199</a>
<b>Xasanov Zoxir Askarovich / Zokhir Khasanov</b>	”GeoFundamentProject” MCHJ mudiri Email: <a href="mailto:uzssmge@gmail.com">uzssmge@gmail.com</a> Tel.:+ 998979233373 <a href="http://orcid.org/0009-0002-0227-7198">http://orcid.org/0009-0002-0227-7198</a>
<b>Kurbanov Baxodir Irkinovich / Bakhodir Kurbanov</b>	Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti “Nazariy va injenerlik mexanikasi” kafedrasini dotsenti Tel.:+ 998905032295 Email: <a href="mailto:kurbanovbahodir03@gmail.com">kurbanovbahodir03@gmail.com</a> <a href="https://orcid.org/0009-0002-2674-780X">https://orcid.org/0009-0002-2674-780X</a>
<b>Toshmuqumov Behzod Jumanazar o'g'li Bekhzod Toshmukumov</b>	Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti Nazariy va injenerlik mexanikasi kafedrasini assistenti E-mail: <a href="mailto:bekzod060696@gmail.com">bekzod060696@gmail.com</a> Tel.:+ 998937209606 <a href="https://orcid.org/0009-0008-7556-9572">https://orcid.org/0009-0008-7556-9572</a>



## The problem of load combination in earthquake resistance theory

U.Z. Shermukhamedov<sup>1</sup><sup>a</sup>, Y.T. Khakimova<sup>1</sup><sup>b</sup>

<sup>1</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** This scientific work addresses the problem of combining seismic loads with other types of actions within the framework of the general theory of earthquake-resistant design and modern methods for designing buildings and structures. Particular attention is paid to the transition toward multi-level performance-based design, which requires structural analyses for earthquakes of varying intensity and recurrence. A comparative analysis of load combination factors adopted in the regulatory documents of Russia, European countries, the United States, New Zealand, and Albania is performed. It is shown that the existing load combination factors are largely empirical, do not adequately account for the statistical characteristics of loads and the seismological features of the construction site, and are not mutually consistent.

**Keywords:** seismic resistance theory, load combinations, seismic impacts, earthquakes, accelerogram recordings, limit state coefficient, special inspection, inspection and testing of artificial structures, conductivity, load-bearing capacity, durability assessment

## Проблема сочетания нагрузок в теории сейсмостойкости

У.З. Шермухамедов<sup>1</sup><sup>a</sup>, Я.Т. Хакимова<sup>1</sup><sup>b</sup>

<sup>1</sup>Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

**Аннотация:** В данной научной работе рассматривается проблема сочетания сейсмических нагрузок с другими видами воздействий в рамках общей теории сейсмостойкого проектирования и современных методов проектирования зданий и сооружений. Особое внимание уделяется переходу к многоуровневому проектированию, основанному на эксплуатационных характеристиках, которое требует проведения структурного анализа при землетрясениях различной интенсивности и частоты. Проводится сравнительный анализ коэффициентов сочетания нагрузок, принятых в нормативной документации России, европейских стран, США, Новой Зеландии и Албании. Показано, что существующие коэффициенты сочетания нагрузок в значительной степени эмпиричны, неадекватно учитывают статистические характеристики нагрузок и сейсмологические особенности строительной площадки, а также не являются взаимно согласованными.

**Ключевые слова:** Теория сейсмостойкости, сочетания нагрузок, сейсмические воздействия, землетрясения, записи акселерограмм, коэффициент предельного состояния, специальный контроль, осмотр и испытание искусственных сооружений, проводимость, несущая способность, оценка долговечности

### 1. Введение

Проектирование зданий и сооружений в сейсмоопасных районах требует надежного учета сейсмических воздействий в сочетании с другими видами нагрузок. Корректное задание расчетных сочетаний нагрузок является одним из ключевых факторов обеспечения сейсмостойкости, надежности и экономической эффективности строительных конструкций.

Существующие нормативные документы различных стран предлагают существенно различающиеся коэффициенты сочетаний нагрузок, которые зачастую носят эмпирический характер и не учитывают ни статистическую природу нагрузок, ни особенности сейсмологической обстановки площадки строительства, ни требования многоуровневого проектирования. В условиях перехода к расчетам по предельным состояниям и внедрения концепции многоуровневой

сейсмической защиты возникает необходимость системного анализа сложившихся подходов и выработки научно обоснованных принципов сочетания сейсмических и несейсмических воздействий, что и определяет актуальность настоящего исследования.

### 2. Методология исследования

Проблема сочетания нагрузок тесно связана с общей теорией сейсмостойкости. Считается, что теория сейсмостойкости появилась в 1900 г, благодаря работам японского ученого Омори, который впервые оценил величину сейсмической нагрузки [1,2].

Однако в теории Омори содержалось ошибочное задание пиковых ускорений при землетрясениях. По данным Омори при воздействии интенсивностью I=9 баллов ускорения основания составляют 1 м/с<sup>2</sup>.

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0003-1718-5331>

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0002-4386-5245>



Более поздние исследования указывали, что пиковые ускорения при I=9 баллов составляют около 4 м/с<sup>2</sup>, что выше в 4 раза, чем то, что предлагал Омори. Величина пиковых ускорений грунта (PGA) при I=9 баллов, равная 4 м/с<sup>2</sup> вошла с 1964 г в международную шкалу балльности MSK-64.

Возникло противоречие: если проектировать здания на указанное ускорение, то наши здания превратятся в бомбоубежища. Между тем здания, которые запроектированы на меньшие ускорения (1 м/с<sup>2</sup> для 9 баллов), вполне благополучно, с повреждениями, но не разрушившись, перенесли сильные землетрясения.

Это противоречие между натурными и расчетными ускорениями просуществовало практически 100 лет. Первая попытка избавиться от этого противоречия появилась сперва в нормах США, затем в нормах других стран, когда для интенсивности воздействия I=9 баллов было введено ускорение 4 м/с<sup>2</sup>, но был также введен понижающий коэффициент K<sub>1</sub>=0,25, поэтому расчет всё равно выполнялся на ускорение 1 м/с<sup>2</sup>, но формально в нормативных документах уже фигурировало фактически зафиксированное ускорение 4 м/с<sup>2</sup> для 9 баллов.

Вопрос практически был решен в начале века, когда в большинстве стран начался переход на многоуровневое проектирование. Это значит, что нужны расчеты на сильные и на слабые воздействия. При этом коэффициент K<sub>1</sub> в расчетах на сильные и слабые воздействия имеет различный физический смысл. Следует отметить, что со времен Омори в большинстве нормативов, в частности в начале в Еврокоде до 2000 года и в нормах России, все ориентировано на сильные воздействия. В России коэффициент K<sub>1</sub> называется коэффициентом предельных состояний, и он по СП зависит от типа сооружения, но не зависит от площадки строительства. Пока что лучшим результатом, к которому пришли в данном вопросе можно считать современные нормы Италии (рис. 1) [3]. Они учитывают срок службы, важность сооружений и вероятности различных уровней повреждений при землетрясениях.

Исследованиями в области теории сейсмостойкости сооружений, направленные на улучшение проектных и эксплуатационных характеристик в разные годы занимались зарубежные ученые: Куюдзи Suyehiro (Япония), Шухов В. Г. (Россия), Joseph Penzien (США), Jack Moehle (США), Kiyoshi Muto (Япония), Татьяна Г. Раутиан (Россия), Е.Н. Курбацкий (Россия), Ильина Д.А. (Россия), Уздин А.М. (Россия) и другие.

В том числе, вопросами обеспечения сейсмостойкости сооружений с учетом условий Республики Узбекистан, а также обеспечение сейсмостойкости мостовых сооружений из отечественных ученых занимались М.Т. Уразбаев, Т.Р. Рашидов, Г.Х. Хожеметов, И. Мирзаев, У.З. Шермухамедов, М. Миралимов и др.

Как только мы переходим к многоуровневому проектированию, возникает необходимость считать на воздействия редкие (сильные), умеренные и частые (слабые). Повторяемость умеренных и слабых землетрясений составляет раз в 20 - 400 лет. Такие землетрясения по физическому смыслу должны относиться к дополнительным сочетаниям нагрузок. Строго говоря, для них нужно анализировать коэффициенты сочетаний в зависимости от сейсмологических условий и от требований заказчика (как он готов рисковать).

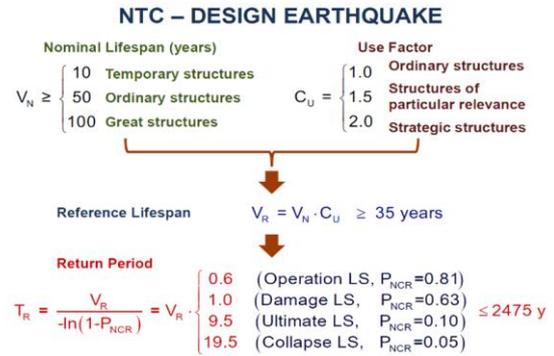


Рис. 1. Современные нормы Италии

### 3. Результаты исследования

В связи с изложенным возникает вопрос определения коэффициентов сочетаний сейсмической нагрузки с другими видами нагрузок, который как в российской, так и в мировой практике сейсмостойкого строительства находится на начальной стадии научной проработки и нормативного оформления. Эта проблема приобретает особую актуальность в свете современных тенденций строительства сложных инженерных сооружений в сей-смоопасных регионах, где требуется комплексный учет всего спектра возможных воздействий.

Нормативные документы разных стран предусматривают различные подходы к определению этих коэффициентов.

В российских нормативных документах сейсмическая нагрузка рассматривается как особая. Основным документом для сейсмических нагрузок можно считать СП 14.13330 «Строительство в сейсмических районах» [14], СП 20.13330 «Нагрузки и воздействия» [15] и СП 268.1325800 «Транспортные сооружения в сейсмических районах» [16]

Из вышесказанного видно, что есть ряд несоответствий принятых коэффициентов сочетаний. При этом ни один из рассматриваемых документов не предусматривает переход на многоуровневое проектирование, в котором необходимо рассчитывать конструкции на действие землетрясений разной силы и повторяемости. Кроме того, обоснование принятых коэффициентов сочетаний не учитывает ни статистических свойства нагрузки, ни свойства землетрясения. Так, например, при расчете сооружения по карте «В» ОСР на площадке строительства возможны 4 варианта ситуационной сейсмичности:

- I<sub>A</sub>=7, I<sub>B</sub>=8, I<sub>C</sub>=8;
- I<sub>A</sub>=8, I<sub>B</sub>=8, I<sub>C</sub>=8;
- I<sub>A</sub>=7, I<sub>B</sub>=8, I<sub>C</sub>=9;
- I<sub>A</sub>=8, I<sub>B</sub>=8, I<sub>C</sub>=9.

«В» 8 баллов, но, очевидно, сейсмическая опасность на них должна существенно различаться. Коэффициенты сочетаний в таких случаях должны быть разными, что в нормативной документации РФ не учитывается. Точно также статистические характеристики других нагрузок не учитываются при оценке коэффициенты сочетаний. Вероятность нахождения поезда на мосту во время землетрясения безусловно зависит от длины моста и интен-сивности движения. А в нормах России это коэффициент сочетаний один. Как уже отмечалось, нормативные ко-



эффиценты сочетаний предполагают расчет на сильные редкие воздействия. Однако обоснование коэффициентов сочетаний для автомобильной нагрузки относится к сильным воздействиям (МРЗ) [17], а для железнодорожной нагрузки, скорее, к относительно частым слабым (ПЗ) [18].

Аналогичная ситуация сложилась и в зарубежной нормативной литературе.

В Еврокоде 8 [19] указано, что для проектирования сейсмостойких конструкций расчетное сейсмическое воздействие сочетается с другими воздействиями. При этом коэффициент сочетания сейсмических нагрузок с постоянными равен 1,0, с динамической нагрузкой в жилых или офисных зданиях и для нагрузок от транспортных средств весом от 30 до 160 кН – 0,3, с динамической нагрузкой в зонах, предназначенных для общественных собраний, торговых центров и нагрузок от транспортных средств весом до 30 кН – 0,6, с динамическими нагрузками в складских зонах – 0,8. Здесь аналогично российским нормам не учитывается совместное воздействие сейсмике с ветром, а также температуры, динамических нагрузок на крышах и снега, лежащего на крыше ниже 1000 метров над уровнем моря (кроме Исландии, Норвегии, Швеции и Финляндии – в этих странах данный коэффициент сочетания равен 0,2 для снега, лежащего выше и ниже 1000 метров над уровнем моря). Строгое обоснование норм Еврокода в литературе отсутствует.

Нормы Новой Зеландии рассмотрены в работе британского инженера-строителя G.H. Lindup [20]. Автор указывает, что конструкции должны быть спроектированы на основе наиболее критических ситуаций, возникающих в результате комбинации всех применимых нагрузок, которые могут разумно происходить одновременно. Расчетное сочетание должно включать все комбинации нагрузок, указанные в разделах стандарта

Новой Зеландии AS/NZS 1170.0. Согласно стандартам коэффициент сочетаний для постоянной нагрузки равен 1,0, для нагрузок от температуры и трения – 1,0, для полезной нагрузки – 1,0, но с учетом наложения действия краткосрочного и длительного фактора, для сейсмической ветровой нагрузок – 1,0. Данная работа интересна тем, что она четко прописывает учёт нагрузок от температуры, но нет учёта подвижной (от транспорта) нагрузки.

В Американских нормах ASCE 7-02 [22] в расчетных сочетаниях на сейсмические нагрузки коэффициент сочетания для постоянной нагрузки равен 1,2, если мы суммируем воздействие сейсмике и постоянной нагрузки, и 0,9, если сейсмике и постоянные нагрузки противоположны друг другу. Коэффициент сочетания длительнодействующей (полезной) нагрузки равен 1,0 (0,5, если нагрузка не превышает 100 фунтов на 1 квадратный фут), снеговой – 0,2, кратковременной (например, ветер) – 0,15.

Ключевой нормативный документ FEMA 368 ("NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures"), выпущенный Федеральным агентством по управлению в чрезвычайных ситуациях США (FEMA), представляет собой адаптированную версию стандарта ASCE 7-02. В этом документе полностью сохранена методологическая основа ASCE 7-02, включая систему коэффициентов сочетаний нагрузок – перенесены без изменений все основные комбинации [23].

В Узбекистане одними из основных нормативных документов по сейсмическим нагрузкам являются: КМК 2.03.01-19. Сейсмик хуудларда курилиш [24] и шнк 2.05.03-22. Мосты и трубы / [25]. Сводная таблица коэффициентов сочетаний сейсмической нагрузки с другими по российским и отечественными нормативным документам по приведена ниже.

Таблица 1

Сводная таблица коэффициентов сочетаний из нормативной документации разных стран

Вид нагрузки	Коэффициент сочетания согласно нормативному документу					
	СП 14.13330	Еврокод 8	ASCE 7-22	Нормы Албани	Нормы Новой Зеландии	КМК 2.03.01-19, ШНК 2.05.03-22
Постоянные	0,9	1,0	1,2 (0,9)	0,9	1,0	0,9
Временные длительные	0,8	Не указан	1,0 (0,5)	0,8	1,0(+фактор времени)	0,8
Кратковременные	0,5	Не указан	0,15	0,4	1,0(+фактор времени)	0,5
Снеговые	Как доля длительнодействующих	0 (снег на крыше до 1000 м над ур. моря) 0,2 (для ряда стран и снега, лежащего выше 1000 м над ур. моря)	0,2	Не указан	0,2	Как доля длительнодействующих
Крановые	0,3	0	Не указан	Не указан	Не указан	0,3
Температурные	0	0	Как кратковременные	Не указан	1,0	0
Ветровые	0	0	Как кратковременные	Не указан	Не указан	0



От транспорта	Как кратковременные	0,3 (весом от 30 до 160 кН) 0,6 (до 30 кН)	Не указан	Не указан	Не указан	Как кратковременные
Динамические	0	0,3 (жилые здания и офисы) 0,6 (общественные и торговые) 0,8 (складские)	Не указан	Не указан	Не указан	0

Можно утверждать, что проблемой задания расчетных коэффициентов сочетаний является разносортная нормативная литература, создававшаяся для каждой страны разными инженерами с разными точками зрения. Нет четкого и понятного параметра, который смог бы оценить правильность того или иного принятого коэффициента. Именно поэтому помимо вопроса о принятии численного значения коэффициента сочетания важно также поднимать вопрос о том, как правильно задать нагрузки и воздействия, действующие на здание или сооружение.

Введенные в нормативные документы коэффициенты сочетаний не имеют достаточного основания и не учитывают статистических характеристик как сейсмической, так и сочетаемых нагрузок. По этой причине появляются работы, имеющие цель обосновать и уточнить коэффициенты сочетаний нагрузок.

Разные страны и множество исследований предлагают разные коэффициенты сочетаний, но главной проблемой этих коэффициентов является то, что они научно не обоснованы. Лишь малая часть научных работ имеет обоснование для принятия коэффициентов сочетаний. Например, в работах Шестоперова Г.С. [17], Уздина А.М. [25, 26], Сахарова О.А. [27] и Кузнецовой И.О. [26, 28], а также Сабировой О.Б. [29] приводятся некоторые обоснования рекомендуемых сочетаний нагрузок.

Все последние попытки в решении вопроса сочетаний нагрузок и воздействий делали для того, чтобы учесть многоуровневое проектирование и сейсмические особенности площадки строительства, а также статистические характеристики нагрузок. Резюмируя сказанное, можно отметить, что имеющиеся предложения по сочетанию сейсмической нагрузки с другими нагрузками не однозначны. Они не учитывают полностью требования многоуровневого проектирования и статистических характеристик сочетаемых нагрузок. Следует также отметить, что разные способы сочетаний нагрузок приводят к разным значениям коэффициентов сочетаний. Для понимания и упорядочения сложившейся ситуации необходимо, прежде всего, проанализировать состояние вопроса по сочетанию нагрузок и воздействий в теории надежности и методах проектирования по предельным состояниям.

#### 4. Заключение

Проведенный анализ показывает, что проблема задания коэффициентов сочетаний сейсмической нагрузки с другими видами воздействий остается одной из наименее разработанных областей нормативного обеспечения сейсмостойкого строительства. Во многих случаях коэффициенты сочетаний не имеют строгого научного обоснования и не опираются на

статистические характеристики ни сейсмического воздействия, ни сопутствующих нагрузок.

Сравнение зарубежных нормативных документов показывает отсутствие единой методологической базы: одинаковые виды нагрузок учитываются по-разному, а влияние повторяемости землетрясений, типа сооружения, сейсмологических условий площадки и уровня допустимого риска зачастую игнорируется. При этом действующие нормы в основном ориентированы на расчет на редкие сильные землетрясения и не учитывают в полной мере требования многоуровневого проектирования, предполагающего анализ слабых, умеренных и сильных воздействий.

В условиях активного строительства сложных инженерных сооружений в сейсмоопасных районах выявленные противоречия приобретают особую практическую значимость. Для упорядочения сложившейся ситуации необходим переход от эмпирического задания коэффициентов сочетаний к их обоснованию на основе теории надежности, вероятностных характеристик нагрузок и параметров сейсмической опасности площадки строительства.

Анализ существующих исследований показывает, что такие подходы уже формируются, однако пока не получили системного отражения в нормативных документах. Дальнейшее развитие данной области должно быть направлено на создание единой, научно обоснованной методологии сочетания нагрузок, адекватной современным требованиям сейсмостойкого проектирования.

#### Использованная литература / References

- [1] Omori F. Seismic Experiments on the Fracturing and Overturning of Columns, Publ. Earthquake Invest. Comm. in foreign Languages, №4, Tokyo, 1900-99 p.
- [2] Завриев К.С. и др. Основы теории сейсмостойкости зданий и сооружений. М., Стройиздат, 1970, 224 с.
- [3] Aggiornamentodelle«Normetecnicheperlecostruzioni» (18A00716). MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI. DECRETO 17 gennaio 2018 // Supplementoordinarioalla “GazzettaUfficiale” n. 42 del 20 febbraio 2018 - Seriegenerale. N. 8. 372 p
- [4] СП 14.13330 «Строительство в сейсмических районах»
- [5] СП 20.13330 «Нагрузки и воздействия»
- [6] СП 268.1325800 «Транспортные сооружения в сейсмических районах»
- [7] Шестоперов Г.С. Сейсмостойкость мостов. - М., Транспорт, 1984.-143 с.



[8] Кардивадзе Г.Н. Сейсмостойкость дорожных искусственных сооружений /М.Транспорт,1974, 260 с.

[9] Руководство для проектировщиков к Еврокоду 8: Проектирование сейсмостойких конструкций: руководство для проектировщиков к EN 1998-1 и EN 1998-5. Еврокод 8: Общие нормы проектирования сейсмостойких конструкций, сейсмические воздействия, правила проектирования зданий и подпорных сооружений: пер. с англ. / М. Фардис и др.; ред. серии Х. Гульванесян; М-во образования и науки Росс. Федерации, ФБООУ ВЮ «Моск. гос. строит. ун-т»; науч. ред. пер. Г.А. Джинчвелашвили. - Москва: МГС, 2013. - 484 с. (Серия «Издано в МГСУ: Еврокоды». Науч. ред. серии З.Г. Тер-Мартirosян).

[10] Lindup G. H. Adapting the structural design actions standard for the seismic design of new industrial plant // BULLETIN OF THE NEW ZEALAND SOCIETY FOR EARTHQUAKE ENGINEERING, Vol. 40, No. 3, Sep-tember 2007

[11] Enkeleda Kokona, Helidon Kokona, Nektor Cullufi. Comparative analysis of dynamic solutions using Albanian Seismic Code KTR-89 and Eurocode 8. // 3rd International Balkans Conference on Challenges of Civil Engineering, 3-BCCCE, 19-21 May 2016, Epoka University, Tirana, Al-bania

[12] Minimum design loads for buildings and other structures. // ASCE Standard ASCE/SEI 7-10.”

[13] Mohamed O. A. Remarks regarding FEMA 368 seismic analysis guidelines. // Earthquake Resistant Engineering Structures V // WIT Transactions on The Built Environment, Vol 81. 2005

[14] КМК 2.03.01-19. Сейсмик хуудларда курилиш

[15] ШНК 2.05.03-22. Мосты и трубы /

[16] Перельмутер А.В., Пичугин С.Ф. Расчетные сочетания нагрузок для проверки надежности конструкций (обзор) // Збірник наукових праць Українсь-кого інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шима-новського. – Випуск 15, 2015 р.

[17] Уздин А.М. Уточнение коэффициента сочетаний сейсмической и подвижной нагрузок при расчете железнодорожных мостов. Экспресс-информация "Сейсмостойкое строительство", 1983, Вып.10, с.20-23

[18] Уздин А.М., Кузнецова И.О. Сейсмостойкость мостов. Саарбрюкен (Германия), Palmarium, 2014, 450 с

[19] Сахаров О.А. К вопросу о назначении коэффициентов сочетаний сейсмической и других нагрузок. Сейсмостойкое строительство, 2003, №2, с.9-11

[20] Кузнецова И.О., Сахаров О.А. К вопросу об оценке коэффициентов сочетаний сейсмической и железнодорожной нагрузки. Сейсмостойкое строительство, 2006, №3, с. 21-25

[21] Сабирова О.Б. Оценка коэффициентов сочетаний сейсмической и ветровой нагрузок // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2018 № 6 – С. 39-43.

## Информация об авторах/ Information about the authors

**Шермухамедов  
Улугбек  
Забихуллаевич /  
Shermukhamedov  
Ulugbek  
Zabihullaevich**

Ташкентский государственный транспортный университет, Доктор технических наук, профессор,  
Email: [ulugbekjuve@mail.ru](mailto:ulugbekjuve@mail.ru)  
Tel.: +998903161181  
<https://orcid.org/0000-0003-1718-5331>

**Хакимова  
Якутхон  
Тулягановна /  
Khakimova  
Yakutkhon**

Базовый докторант,  
Ташкентский государственный транспортный университет  
Email: [yakutkhonkhakimova0304@gmail.com](mailto:yakutkhonkhakimova0304@gmail.com)  
тел: +998900460835  
<https://orcid.org/0000-0002-4386-5245>



## Monitoring the technical condition of operating transport tunnels

Sh.U. Normurodov<sup>1</sup><sup>a</sup>

<sup>1</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** This scientific work is devoted to the issues of monitoring the technical condition of operating transport tunnels. The study analyzes modern methods for determining and assessing deformations, cracks, settlements, and other malfunctions arising during the operation of tunnel structures. The importance of monitoring systems in ensuring the safe and reliable operation of transport tunnels is substantiated. The work examines the advantages and disadvantages of geodetic, geotechnical, and automated monitoring methods based on domestic and foreign scientific sources. Natural and man-made factors affecting tunnel structures, including rock deformation, the influence of groundwater, seismic activity, and increased loads, were also analyzed. Based on the monitoring results, the possibilities of assessing the technical condition and preventing emergencies are highlighted.

**Keywords:** Transport tunnel, operation, technical condition, monitoring, geotechnical, storage, current inspection, periodic inspection, special inspection, inspection and testing of artificial structures, conductivity, load-bearing capacity, durability assessment

## Ekspluatatsiya qilinayotgan transport tonnellarining texnik holatini monitoring qilish

Sh.U. Normurodov<sup>1</sup><sup>a</sup>

<sup>1</sup>Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

**Annotatsiya:** Ushbu maqolada ekspluatatsiya qilinayotgan transport tonnellarining texnik holatini monitoring qilish masalalariga bag'ishlangan. Tadqiqotda tunnel konstruksiyalarining ekspluatatsiya jarayonida yuzaga keladigan deformatsiyalar, yoriqlar, cho'kishlar hamda boshqa nosozliklarni aniqlash va baholashning zamonaviy usullari tahlil qilingan. Transport tonnellarining xavfsiz va ishonchli ishlashini ta'minlashda monitoring tizimlarining ahamiyati asoslab berilgan.

Ishda mahalliy va xorijiy ilmiy manbalar asosida geodezik, geotexnik va avtomatlashtirilgan monitoring usullarining afzalliklari va kamchiliklari ko'rib chiqilgan. Shuningdek, tunnel konstruksiyalariga ta'sir etuvchi tabiiy va texnogen omillar, jumladan, tog' jinslarining deformatsiyasi, grunt suvlarining ta'siri, seysmik faollik va yuklamalarning ortishi tahlil etilgan. Monitoring natijalari asosida texnik holatni baholash va avariya holatlarning oldini olish imkoniyatlari yoritib berilgan.

**Kalit so'zlar:** Transport tunneli, ekspluatatsiya, texnik holat, monitoring, geotexnik nazorat, saqlash, joriy ko'rik, davriy ko'rik, maxsus ko'rik, sun'iy inshootlarni tekshirish va sinash, o'tkazish qobiliyati, yuk ko'tarish qobiliyati, chidamlilikni baholash

### 1. Kirish

Bugungi kunda transport infratuzilmasini rivojlantirish jarayonida tonnellar muhim strategik obyektlardan biri hisoblanadi. Avtomobil va temir yo'l tonnellarining xavfsiz va uzluksiz ishlashi mamlakat iqtisodiy taraqqiyoti, yuk va yo'lovchi tashish samaradorligi hamda aholi xavfsizligi bilan chambarchas bog'liq. Ayniqsa, tog'li hududlarda, yirik shaharlar va tranzit yo'laklarda joylashgan transport tonnellarining ekspluatatsiya jarayonida texnik holatini doimiy nazorat qilib borish dolzarb masalalardan biridir.

Ekspluatatsiya davrida tonnellar turli tashqi va ichki omillar ta'sirida deformatsiyaga uchrashi mumkin. Bular jumlasiga tog' jinslarining siljishi, grunt suvlarining ta'siri, yuklamalarning ortishi, seysmik faollik, harorat va namlik o'zgarishlari, shuningdek, qurilish materiallarining eskirishi kiradi. Ushbu omillar tunnel konstruksiyalarining mustahkamligi va barqarorligiga salbiy ta'sir ko'rsatib,

favqulodda holatlar yuzaga kelishiga sabab bo'lishi mumkin [1].

Shu sababli, ekspluatatsiya qilinayotgan transport tonnellarining texnik holatini monitoring qilish zamonaviy muhandislik amaliyotining ajralmas qismi hisoblanadi. Monitoring tizimlari orqali tunnel konstruksiyalarida yuz berayotgan deformatsiyalar, yoriqlar, cho'kishlar va boshqa nosozliklarni erta aniqlash, ularning rivojlanish dinamikasini baholash hamda oldini olish choralarini ko'rish imkoniyati yaratiladi. Mazkur ishning asosiy maqsadi ekspluatatsiya qilinayotgan transport tonnellarining texnik holatini monitoring qilish usullari va tizimlarini tahlil qilish, ularning samaradorligini baholash va takomillashtirish yo'llarini aniqlashdan iborat.

Transport tonnellarining texnik holatini monitoring qilish masalalari ko'plab mahalliy va xorijiy olimlar tomonidan o'rganilgan. Ilmiy adabiyotlarda tunnel konstruksiyalarining ishonchligi, uzoq muddatli

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0001-9552-5384>



eksploatatsiyasi va xavfsizligini ta'minlashda monitoringning o'rni alohida ta'kidlanadi.

Ko'plab tadqiqotlarda N.A. Protodyakonov, V.I. Karpov, B.S. Sokolov va boshqalarning tunnel qurilishi va eksploatatsiyasida geotexnik monitoringning ahamiyati yoritilgan. Ushbu ishlarda tog' jinslarining deformatsiyasi, mustahkamlovchi konstruksiyalarning holati va grunt bosimlarini nazorat qilish usullari keng ko'rib chiqilgan. Mualliflar monitoring ma'lumotlari asosida tunnelning xavfsizlik darajasini baholash mumkinligini asoslab berganlar.

Tunnel konstruksiyalari va qurilmalarining nazorat qilinadigan miqdor va sifat ko'rsatkichlarining o'zgarishini baholash uchun ularning monitoringi olib boriladi. Monitoringning muhim tarkibiy qismi dastlabki maxsus tekshiruv bo'lib, u uchta o'zaro bog'liq bosqichda amalga oshiriladi: tayyorgarlik ishlari, dastlabki (vizual) tekshiruv, batafsil (instrumental) tekshiruv[2-3].

Tayyorgarlik ishlari tekshiruv obyekti, tunnel konstruksiyasi va qurilishi bo'yicha loyiha va ijro hujjatlari, eksploatatsiya va o'tkazilgan ta'mirlash va rekonstruksiya bo'yicha hujjatlar bilan tanishishni, shuningdek, avvalgi tekshiruvlar natijalarini tahlil qilishni nazarda tutadi.

Loyiha hujjatlari bo'yicha loyiha tashkiloti - loyiha muallifi, uning ishlab chiqilgan yili, inshootning konstruktiv sxemasi, loyihada qo'llanilgan konstruksiyalar to'g'risidagi ma'lumotlar, yig'ma elementlarning montaj sxemalari, ularni tayyorlash va tunnel qazish vaqti, tunnel, uning elementlari va konstruksiyalarining geometrik o'lchamlari, hisob sxemalari, loyihaviy yuklamalar, qurilish materiallarining tavsiflari va boshqalar aniqlanadi.

Konstruksiyalarni tayyorlash va tunnel qazish to'g'risidagi ma'lumotlar bilan qurilishni amalga oshirgan qurilish tashkilotlarining, materiallar va konstruksiyalarni yetkazib beruvchilarning nomlari, buyumlar va materiallarning sertifikatlari va pasportlari, amalga oshirilgan almashirishlar va loyihadan chetga chiqishlar to'g'risidagi ma'lumotlar belgilanadi.

Tunnel konstruksiyalaridan foydalanishni va tekshirish o'tkazish zaruriyatini keltirib chiqargan eksploatatsion ta'sirlarni tavsiflovchi materiallar va ma'lumotlar bo'yicha konstruksiyalarga tashqi ta'sirning xarakteri, atrof-muhit to'g'risidagi ma'lumotlar, eksploatatsiya paytida namoyon bo'lgan nuqsonlar, shikastlanishlar va boshqalar to'g'risidagi ma'lumotlar aniqlanadi.

Tunnel kesishmasini tekshirishga tayyorgarlik bosqichida texnik topshiriq asosida ishlar dasturi tuziladi. Unda tekshirishning maqsad va vazifalari, tekshirilishi lozim bo'lgan qurilish konstruksiyalari va jihozlari ro'yxati ko'rsatiladi, joylar belgilanadi, asboblardan o'lchash va sinash usullari belgilanadi. Dasturda, shuningdek, materiallarni ochish va namuna olish, namunalarini laboratoriya sharoitida tekshirish joylari, zarur tekshirish hisob-kitoblari ro'yxati va boshqalar ko'rsatiladi.

Dastlabki (vizual) tekshiruv tashqi belgilar bo'yicha qurilish konstruksiyalarining texnik holatini oldindan baholash va batafsil instrumental tekshiruv o'tkazish zarurligini asoslash uchun o'tkaziladi. Dastlabki tekshirishning asosi inshoot va alohida konstruksiyalarni o'lchov asboblari va priborlari (binokl, fotoapparat, ruletk, shtangensirkul, shchup va boshqalar) yordamida ko'zdan kechirish hisoblanadi.

Bunda ko'rinadigan nuqsonlar aniqlanadi va qayd etiladi, nazorat o'lchovlari o'tkaziladi, nuqsonli uchastkalarining tavsifi, chizmalari, fotosuratlarini olinadi, nuqsonlarning joylari va xususiyatlarini qayd etgan holda ularning sxemalari va vedomotlari tuziladi. Inshoot va

alohida qurilish konstruksiyalarining o'ziga xos deformatsiyalari (egilishlar, qiyshayishlar, bukilishlar, qiyshayishlar, uzilishlar va boshqalar) mavjudligini tekshirish o'tkaziladi. Agar avariya uchastkalari mavjud bo'lsa, ularning mavjudligini aniqlaydi.

Vizual tekshirish natijalari bo'yicha qurilish konstruksiyalarining texnik holatiga dastlabki baho beriladi, u shikastlanish darajasi va nuqsonlarning xarakterli belgilari bo'yicha aniqlanadi. Nuqsonlarning qayd etilgan manzarasi va ularning kelib chiqish sabablarini sinchiklab tahlil qilish ba'zi hollarda konstruksiyalarning holatini baholash va xulosa chiqarish uchun yetarli bo'lishi mumkin. Agar vizual tekshiruv natijalari qo'yilgan vazifalarni hal qilish uchun yetarli bo'lmasa, batafsil instrumental tekshiruv o'tkaziladi. Bu holda tegishli ish dasturi ishlab chiqiladi.

Agar vizual tekshiruvda inshootning yuk ko'taruvchi konstruksiyalarining mustahkamligi, turg'unligi va bikrligini pasaytiruvchi nuqsonlar aniqlansa, batafsil tekshirish dasturiga muhandislik-geologik tadqiqotlar kiritiladi. Avariya holati yuzaga kelganligidan dalolat beruvchi belgilar aniqlangan taqdirda zudlik bilan ehtimoliy qulashning oldini olish bo'yicha tavsiyalar ishlab chiqiladi.

Batafsil instrumental tekshirish qo'yilgan vazifalarga, loyiha-texnik hujjatlarining mavjudligi va to'liqligiga, nuqsonlar va shikastlanishlarning xususiyati va darajasiga qarab yoppasiga (to'liq) yoki tanlab o'tkazilishi mumkin.

Loyiha hujjatlari mavjud bo'lmaganda, konstruksiyalarning yuk ko'tarish qobiliyatini pasaytiradigan nuqsonlari aniqlanganda, tunnel rekonstruksiya qilinganda yoki konservatsiya tadbirlarisiz uch yildan ortiq muddatga to'xtatilgan qurilish qayta tiklanganda yalpi tekshiruv o'tkaziladi. Tanlab tekshirish alohida konstruksiyalarni tekshirish zarur bo'lganda va potensial xavfli joylarda o'tkaziladi, bu joylarda konstruksiyalarning mavjud emasligi tufayli yalpi tekshirish o'tkazishning iloji bo'lmaydi.

Qurilish konstruksiyalari va ularning elementlarining haqiqiy geometrik parametrlarini aniqlashtirish, ularning loyihaga mos kelishi yoki undan chetga chiqishini aniqlash uchun o'lchash ishlari o'tkaziladi. Bunda oddiy o'lchash asboblari: chizg'ichlar, ruletkalar, po'lat simlar, shtangensirkullar, nutromerlar, shchuplar, andazalar, burchak o'lchagichlar, shovunlar, lupalar, o'lchash mikroskoplaridan foydalaniladi. Zarur bo'lganda maxsus o'lchash asboblari: nivelirlar, teodolitlar, dalnomerlar, turli defektoskoplar va boshqalar, shuningdek fotogrammetriya qo'llaniladi. Qo'llaniladigan barcha asbob va moslamalar belgilangan tartibda tekshirilishi lozim.

Beton va temir-beton qoplamalarda yoriqlar bor-yo'qligi aniqlanadi va ularning ochilish kattaligi o'lchanadi. Agar nazorat gips markasida vaqt o'tishi bilan yoriq paydo bo'lsa, bu qoplamada yoriqning rivojlanish jarayoni davom etayotganidan dalolat beradi va unda sodir bo'layotgan jarayonlarning tezligini aniqlash uchun o'lchov bazasi o'rnatilishi kerak [4-5].

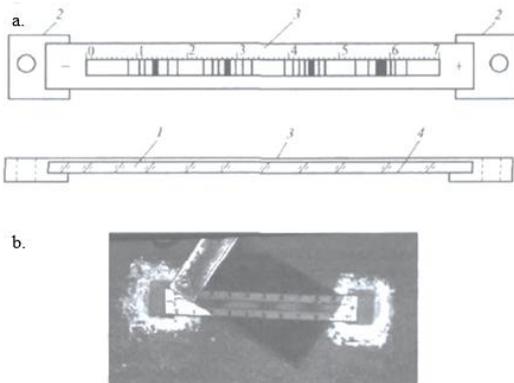
## 2. Tadqiqot metodikasi

Temirbeton konstruksiyalarda armaturaning mavjudligi, joylashishi, miqdori va sinfi, uning korroziya belgilari va qo'yiladigan detallar, shuningdek himoya qatlamining holati aniqlanadi. Metall konstruksiyalarda siqilgan sterjenlarning to'g'ri chiziqchiligi, biriktiruvchi plankalarning mavjudligi, kesimlari keskin o'zgargan elementlarning holati, haqiqiy uzunligi tekshiriladi.



Tekshirish vazifalariga qarab turli asbob va moslamalar qo'llanilishi mumkin. Ishlab turgan tonneldagi beton yoki temir-beton qoplamalarning kuchlanlik-deformatsiyalanganlik holatini baholash uchun elektrotenzometrlar yoki fotoelastik datchiklar yordamida yuksizlantirish usuli qo'llaniladi. Yuksizlantirish usuli tekshirilayotgan konstruksiyaning datchik o'rnatilgan mahalliy uchastkasida kuchlanishlarni olishda deformatsiyalarni o'lchashga asoslangan bo'lib, bunda datchik atrofida yuksizlantiruvchi tirqishlar hosil qilinadi. Bunda bo'shatilgan uchastkaning dastlabki yuklanmagan holatigacha elastik tiklanishi va ta'sir etuvchi yuklanishlarda konstruksiyaning deformatsiyalariga adekvat bo'lgan deformatsiyalarning bo'shatilishi sodir bo'ladi. Betonning deformatsiya moduli ma'lum bo'lganda, qoplamaning ichki konturidagi kuchlanishlarni hisoblash qiyin emas.

Bunday metodika Shimoliy Muy tonnelining ba'zi uchastkalarida qoplama betondagi kuchlanishlarni o'rganishda qo'llanilgan. Fotoelastik deformatsiya datchigi (1. a-rasm) maxsus optik sezgir materialdan (qotgan epoksid smolasi) yasalgan plastinka 1 dan iborat bo'lib, uning uchlari datchikni konstruksiyaga mahkamlash uchun mo'ljallangan nakladkalar 2 yopishtirilgan. Datchikning yuqori yuzasiga interferensiyon polosalar holatini qayd qilish uchun chiziqli shkala 3 (1 bo'lim = 1 mm) tushirilgan. Shkalaning qarama-qarshi uchlari cho'zilish yoki siqilish deformatsiyalarining ishorasini aniqlash uchun "+" va "-" belgilari bor. Pastki yuzasi yorug'lik qaytaruvchi qatlam 4 bilan qoplangan [6].



**1-rasm. Fotoelastik deformatsiya datchigining sxemasi (a) qoplama yopishtirilgan datchikdagi interferensiyon chiziqlari (b)**

Yuksizlantirish usulida fotoelastik datchiklar bilan ishlash metodikasi quyidagilardan iborat. Datchik o'rganilayotgan massivning belgilangan nuqtasida o'lchanayotgan deformatsiyalar yo'nalishida yopishtiriladi, shundan so'ng uning interferensiyon polosalarining boshlang'ich joylashuv tasviri qayd etiladi (1-rasm, b). Keyin datchikning uchlari yaqinida uning o'qiga perpendikulyar ravishda betonda inshootda datchik mahkamlangan qoplama bo'lagini ishdan chiqaradigan teshiklar qilinadi. Bunda qutblangan yorug'lik nurlarida ko'rinadigan datchikning interferensiyon yo'llari uning o'qi bo'ylab deformatsiyaning turiga (siqilish yoki cho'zilish) qarab bir tomonga yoki ikkinchi tomonga qarab aralashib ketadi.

O'zgaras haroratda qoplama bo'lagining nisbiy deformatsiyasi shkala bo'linmasining deformatsiyalar bo'yicha qiymatini yuksizlantiruvchi kesimidan oldin va keyin tasma holatida datchik shkalasida qayd etilgan kattaliklar farqiga ko'paytmasi sifatida hisoblanadi. Datchik

tasmasining bo'linish qiymati prizmani pressda yuklash jarayonida beton deformatsiyalarini fotoelastik datchik va deformometr (yoki tenzodatchik) bilan bir vaqtning o'zida qayd etish orqali beton namuna-prizmalarda o'tkaziladigan laboratoriya sinovlari natijalari bo'yicha aniqlanadi.

Nisbiy deformatsiyalar qiymatini yuksizlantirish usuli bilan ishonchli aniqlash uchun, birinchi navbatda, qoplama materialining deformatsion xususiyatlarini yetarlicha yuqori ishonchlilik darajasi bilan aniqlash kerak. O'lchov natijalarini qayta ishlashda datchikning harorat deformatsiyalari hisobga olinishi kerak.



**2-rasm. Yig'ma temir-beton qoplama choklarining ochilish kattaligini o'lchash**

Foydalanishdagi tonneldagi qoplama deformatsiyalari monitoringini soat tipidagi indikatorli mexanik yechiladigan deformometrlar yordamida olib borish qulay, bunda konstruksiyaga presslangan po'lat mayoqchalar orasida mahkamlangan o'lchov asosining uzunligi davriy ravishda o'lchanadi. Mexanik deformometr yordamida yig'ma temir-beton qoplama choklarining ochilish dinamikasi ham tekshiriladi, bunda chokning turli tomonlariga presslangan mayoqchalar orasidagi masofa o'lchanadi. Shu maqsadda shtangensirkuldan ham foydalaniladi (2-rasm).



**3-rasm. Qoplamadagi betonning mustahkamlik xususiyatlarini aniqlovchi "ONIKS-2,4" sklerometri**

Qoplamadagi betonning mustahkamlik xususiyatlarini "ONIKS-2,4" sklerometrlari yordamida mexanik buzmasdan nazorat qilish usullari bilan oldindan aniqlanadi. IPS-MG4.03 (3-rasm) yoki Avstriyada ishlab chiqarilgan Digi Schmidt-2000. Ishonchli natijaga ega bo'lish maqsadida burg'ulash usulidan ham foydalaniladi (4-rasm).



**4-rasm. Betonning mustahkamligini burg'ulash usulidan bilan aniqlash**

Zarur hollarda konstruksiyadagi betonning xarakteristikalarini burg'ulashda olingan namunalarini sinash yo'li bilan aniqlanadi. Buning uchun mavjud tonneldagi



“Hilti” ko‘chma portativ qurilmasidan foydalanish mumkin. Burg‘ilash qurilmasidan foydalanish qoplama tanasidan birikmalarni olishdan tashqari, uning istalgan kesimida haqiqiy qalinlikni o‘rnatish, qoplama ortidagi gruntning xususiyatlarini, qoplamaning grunt bilan orasida bo‘shliqlar mavjudligini aniqlash imkonini beradi. Qurilma yo‘l asosi plitasi yoki teskari gumbaz parametrlarini o‘rnatish uchun tunnelning nov qismida burg‘ulash ishlarini olib borish imkonini beradi.

Bu yerda shuni ta‘kidlash kerakki, buzilmaydigan usullar yoki konstruksiyadan tanlab olingan namunalarni sinash orqali aniqlangan konstruksiyalardagi betonning haqiqiy mustahkamligi qoplamaning haqiqiy yuk ko‘tarish qobiliyati to‘g‘risida ishonchli ma‘lumot olish uchun zarur bo‘lgan hisoblash parametri hisoblanadi. Biroq, ko‘zdan kechirish va tanlab (nuqtali) burg‘ilashda qoplamadagi yashirin nuqsonlar, qoplamaning grunt bilan aloqasining buzilishi, qoplama orti bo‘shlig‘ida bo‘shliqlarning rivojlanishi aniqlanmaydi.

Shuning uchun tonnelni ta‘mirlash bo‘yicha loyiha qarorlarini qabul qilish uchun ko‘pincha boshlang‘ich ma‘lumotlar yetarli bo‘lmaydi.

Tekshiruvlar sifatini yaxshilash, shuningdek, texnik diagnostika natijalarining hajmi va ishonchligini oshirish uchun so‘nggi yillarda tonnel qoplama materialining holati haqida ham, atrofdagi funt massivi haqida ham ma‘lumot olish uchun geofizik usullar qo‘llanilmoqda. Shu maqsadda maxsus yer osti zondlash asboblari - georadarlar (51K-8 yoki “Oko”), Georadar - yer osti zondlash radiotexnik asbobidan foydalaniladi. U no metall muhitlarda (fund, suv, qurilish konstruksiyalari va boshqalar) struktura va turli obyektlarning nuqtaviy va cho‘zilgan buzilishlarini aniqlash uchun mo‘ljallangan. Zondlash natijalari real vaqt rejimida qayd etish qurilmasi ekraniga chiqariladi va qayta ishlash hamda chop etish qurilmasiga chiqarish uchun faylda saqlanadi [7].

Georadarlardan foydalanish sohasi juda keng. Biroq, yer osti inshootlarining texnik holatini tekshirish maqsadida ularni qo‘llashning samaradorligini asoslaydigan ba‘zi jihatlarni ajratib ko‘rsatish mumkin. Shunday qilib, georadarni qoplama yuzasi bo‘ylab harakatlantirganda, monitor ekraniga signallar to‘plami (radarogramma) chiqariladi, unga ko‘ra tonnelning butun uzunligi bo‘ylab uning turli kesimlarida qoplamaning qalinligini va beton tuzilishidagi yashirin nuqsonlarni aniqlash mumkin, temirbeton qoplama esa - armatura qo‘yish chastotasi va chuqurligini o‘rnatish mumkin. Georadarni qo‘llash qoplama atrofidagi og‘ir massivni zichlashmagan, namligi yuqori bo‘lgan zonalarni ajratgan holda o‘rganish, shuningdek, ushbu zonalarning uzunligini aniqlash imkonini beradi.



5-rasm. “Proceq GPR Live” georadari

“Proceq GPR Live” georadari bu temirbeton tonnel qoplama tanasidan nazorat qilishda qo‘llanadigan zamonaviy qurilma hisoblanadi. Ushbu texnologiya qulayligi va simsiz sensor tizimi orqali ishlashi bilan yuqori samaradorlikni ta‘minlaydi.

“Proceq GPR Live” georadari temirbeton tonnel qoplama sifatini baholash va bir xillikni aniqlashda, yangi

temirbeton tonnel qoplama tanasining muvofiqligini nazorat qilishda, burg‘ilash, kesish va teshik ochishdan oldin armatura sterjenlarining joylashuvini aniqlashda, himoya qatlami qalinligi va armatura sterjenlari o‘lchamlarini tanlab tekshirishda, po‘lat armatura geometriyasining to‘liq tasvirini shakllantirishda, bir tomonlama foydalanishda qalinlikni o‘lchash kabi ishlarda qo‘llanadi.

Tonnelidagi beton qoplamaning suv o‘tkazmasligi ko‘chma ATAMA-2PM asbobi yordamida aniqlanadi (5-rasm). Betonning sovuqqa chidamliligi qoplama tanasidan olingan namunalarni standart usullar bo‘yicha sinash orqali aniqlanadi. Temirbeton qoplama tanasini armaturalash tizimini (armatura sterjenlarining joylashishi, ularning diametri, beton himoya qatlamining qalinligi) tekshirish va aniqlash zarur bo‘lsa, magnit yoki radiatsiya usullaridan foydalaniladi. Zarur hollarda, sterjenlarning diametri va sonini bevosita o‘lchash, armatura po‘latining sinfini aniqlash, profil rasmini chizish va korroziyaga uchragan sterjenlarning qoldiq kesimini aniqlash uchun armaturani ochib, beton nazorat tekshiruvini o‘tkaziladi [8].



6-rasm. Tonnelidagi beton qoplamaning suv o‘tkazmasligini tekshirish qurilmasi (ATAMA-2PM)

Muhandislik-geodezik ishlarni bajarish uchun zamonaviy yarim avtomat lazerli taxometrlar, lazerli ruletkalardan foydalaniladi. Tonnel qoplama tanasining deformatsiyalari va holatini nazorat qilish elektron taxometr yordamida tonnel tashqarisida joylashgan qo‘zg‘almas repera nisbatan amalga oshiriladi. Nazoratning maqsadi qoplamaning muvofiqligini bo‘lgan qaytmas deformatsiyalarini o‘z vaqtida ogohlantirish va bashorat qilishdir. Qaytargichlar (deformatsion belgilar) tonnel qoplama tanasining shakli va fazodagi holatini qayd etish va nazorat qilish uchun ishlatiladi. Ular obdelka perimetri bo‘ylab vizual tekshiruv jarayonida aniqlangan ko‘plab nuqsonlarni bo‘lgan joylarga o‘rnatiladi. O‘lchashlar va tekshirishlarning qo‘shimcha ro‘yxatini buyurtmachi texnik topshiriqda belgilaydi.



7-rasm. Tonnel qoplama tanasining deformatsiyalari va holatini nazorat qilishda lazerli taxometrlarni qo‘llash

Ekspluatatsiya qilinayotgan transport tonnellarining texnik holatini monitoring qilish ularning xavfsiz, ishonchli va uzoq muddatli ishlashini ta‘minlashda muhim ahamiyatga ega. Tahlillar shuni ko‘rsatadiki, tonnel konstruksiyalari ekspluatatsiya jarayonida turli tabiiy va texnogen omillar ta‘sirida o‘zgarishga uchraydi, bu esa doimiy nazorat va baholashni talab etadi.

Monitoring tizimlaridan foydalanish orqali tonnel holatidagi salbiy o‘zgarishlarni erta aniqlash, avariyaviy



holatlarning oldini olish hamda ta'mirlash va mustahkamlash ishlarini o'z vaqtida amalga oshirish mumkin. Adabiyotlar tahlili zamonaviy avtomatlashtirilgan monitoring usullarini joriy etish tonnellar ekspluatatsiyasi samaradorligini sezilarli darajada oshirishini ko'rsatdi.

Xulosa qilib aytganda, transport tonnellarining texnik holatini monitoring qilish tizimlarini takomillashtirish, ularni mahalliy geologik va iqlim sharoitlariga moslashtirish hamda zamonaviy raqamli texnologiyalar bilan uyg'unlashtirish bugungi kundagi muhim ilmiy va amaliy vazifalardan biridir.

### 3. Xulosa

Ekspluatatsiya qilinayotgan transport tonnellarining texnik holatini monitoring qilish ularning xavfsiz, ishonchli va uzoq muddatli ishlashini ta'minlashda muhim ahamiyatga ega. Tahlillar shuni ko'rsatadiki, tunnel konstruksiyalari ekspluatatsiya jarayonida turli tabiiy va texnogen omillar ta'sirida o'zgarishga uchraydi, bu esa doimiy nazorat va baholashni talab etadi.

Monitoring tizimlaridan foydalanish orqali tunnel holatidagi salbiy o'zgarishlarni erta aniqlash, avariya holatlarning oldini olish hamda ta'mirlash va mustahkamlash ishlarini o'z vaqtida amalga oshirish mumkin. Adabiyotlar tahlili zamonaviy avtomatlashtirilgan monitoring usullarini joriy etish tonnellar ekspluatatsiyasi samaradorligini sezilarli darajada oshirishini ko'rsatdi.

Xulosa qilib aytganda, transport tonnellarining texnik holatini monitoring qilish tizimlarini takomillashtirish, ularni mahalliy geologik va iqlim sharoitlariga moslashtirish hamda zamonaviy raqamli texnologiyalar bilan uyg'unlashtirish bugungi kundagi muhim ilmiy va amaliy vazifalardan biridir.

### Foydalanilgan adabiyotlar / References

[1] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 04.10.2017 y. PQ-3309 Qarori. "Avtomobil yo'llari ko'priklarini, yo'l o'tkazgichlar va boshqa sun'iy inshootlarni qurish hamda foydalanishni tashkil etish tizimini takomillashtirish to'g'risida".

[2] Ch.S. Raupov. Transport inshootlarining ekspluatatsiyasi, sinovi va rehabilitatsiyasi. Darslik. O'ROvaO'MTV, 2017. I va II tomlar. – 431 va – 365 b.

[3] Ch.S. Raupov, Shermuxamedov U.Z., Umarov X.Q. Transport inshootlarining ekspluatatsiyasi. 5340600 – Transport inshootlarining ekspluatatsiyasi (ko'priklar va tonnellar) va 5340600 - Transport inshootlarining ekspluatatsiyasi (temir yo'llar) ta'lim yo'nalishlari 4-bosqich bakalavriatura talabalari uchun darslik. O'ROO'MTV. Tashkent. 2020 y. – 475b.

[4] Normurodov Sh.U., Raximjonov Z.Q., O'razov X.O'. - "Transport inshootlarining diagnostikasi va sinovi" nomli 5340600, 60730800-Yo'l muhandisligi (ko'priklar va tonnellar) bakalavriat ta'lim yo'nalishlari 3, 4-kurs bakalavriat talabalari uchun amaliy mashg'ulotlar va mustaqil ishlarni bajarishga doir o'quv qo'llanma. – Jizzax: "Ilm nuri print" MCHJ nashriyoti, 2024–144 b.

[5] Normurodov Sh.U. - "Temir yo'llar ko'priklari va tonnelli ekspluatatsiyasi" nomli 60730800 – "Yo'l muhandisligi" (temir yo'llar ekspluatatsiyasi) bakalavriat ta'lim yo'nalishi 4-kurs talabalari va professor-o'qituvchilar uchun o'quv qo'llanma. – Jizzax: "Ilm nuri print" MCHJ nashriyoti, 2025–278 b.

[6] 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.

[7] Miralimov, M., Normurodov, S., & Akhmadjonov, M. (2021). Abdullaziz Karshiboev Numerical approach for structural analysis of Metro tunnel. In E3S Web of Conferences.

[8] Miralimov, M., Ishanhodjaev, A., Normurodov, S., Usmanov, D., & Abirov, R. (2025, April). Numerical study of the zone of influence of two parallel running tunnels. In AIP Conference Proceedings (Vol. 3265, No. 1, p. 030007). AIP Publishing LLC.

### Muallif to'g'risida ma'lumot / Information about author

**Normurodov Shahboz** Toshkent davlat transport universiteti dotsenti, t.f.f.d. (PhD)  
**Ulug'bekovich / Normurodov Shakhboz Ulugbekovich** E-mail: [normurodovsh25@mail.ru](mailto:normurodovsh25@mail.ru)  
Tel.: +998909308685  
<https://orcid.org/0000-0001-9552-5384>



## Methodology for assessing the dynamic impact of rolling stock on the subgrade and justification for its reinforcement in the area of rail joints

Lesov K.S.<sup>1</sup><sup>a</sup>, Kenjaliyev M.K.<sup>1</sup><sup>b</sup>, Mirzakhidova O.M.<sup>1</sup><sup>c</sup>

<sup>1</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** The article proposes a method for assessing the dynamic impact of rolling stock on the subgrade in the rail joint area, taking into account speed regimes and axial loads, based on the calculated relationship  $K_{\text{ПГ}} \rightarrow Y \rightarrow \sigma(z)$  and a normative check using the criterion  $\sigma(z) \leq 0.5$  MPa. An assessment of the conditions for exceeding the standard stresses during high-speed passenger and freight traffic has been carried out, and the introduction of the dynamic coefficient  $k_{\text{dyn}}$  to account for shock-pulse effects has been justified. It has been shown that the use of a combined reinforcement system of 'geotextile + flat geogrid' reduces vertical stresses in the main subgrade area by 25–30% and forms a standard reserve of bearing capacity of the foundation. The results obtained can be used in the design and modernisation of railway lines with mixed and high-speed traffic in rail joint areas.

**Keywords:** Dynamic impact, rail joints, subgrade, dynamic addition coefficient, dynamic coefficient, vertical stresses, geosynthetic materials, geotextiles, geogrids, track bed reinforcement, high-speed traffic, axial load, standard stresses

## Методика оценки динамического воздействия подвижного состава на земляное полотно и обоснование его усиления в зоне рельсовых стыков

Лесов К.С.<sup>1</sup><sup>a</sup>, Кенжалиев М.К.<sup>1</sup><sup>b</sup>, Мирзахидова О.М.<sup>1</sup><sup>c</sup>

<sup>1</sup>Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

**Аннотация:** В статье предложена методика оценки динамического воздействия подвижного состава на земляное полотно в зоне рельсовых стыков с учётом скоростных режимов и осевых нагрузок, основанная на расчётной связке  $K_{\text{ПГ}} \rightarrow Y \rightarrow \sigma(z)$  и нормативной проверке по критерию  $\sigma(z) \leq 0,5$  МПа. Выполнена оценка условий превышения нормативных напряжений при скоростном пассажирском и грузовом движении и обосновано введение коэффициента динамичности  $k_{\text{дп}}$  для учёта ударно-импульсных эффектов. Показано, что применение комбинированной системы усиления «геотекстиль + плоская георешётка» обеспечивает снижение вертикальных напряжений в основной площадке земляного полотна на 25–30 % и формирование нормативного запаса несущей способности основания. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и модернизации железнодорожных линий со смешанным и скоростным движением в зонах рельсовых стыков.

**Ключевые слова:** Динамическое воздействие, рельсовые стыки, земляное полотно, коэффициент динамической добавки, коэффициент динамичности, вертикальные напряжения, геосинтетические материалы, геотекстиль, георешётка, усиление основания пути, скоростное движение, осевая нагрузка, нормативные напряжения

### 1. Введение

Развитие грузового и высокоскоростного пассажирского железнодорожного движения сопровождается существенным ростом динамического воздействия подвижного состава на элементы пути и земляного полотна, особенно в зонах локальных конструктивных и жёсткостных неоднородностей, к которым в первую очередь относятся рельсовые стыки. В этих участках формируются ударно-динамические нагрузки, обусловленные переходом колёсных пар через зазоры и неровности рельсов, а также резкими изменениями жёсткости верхнего строения пути, что приводит к концентрации вертикальных напряжений в основной площадке земляного полотна и ускоренному накоплению остаточных деформаций основания.

Исследования системы «колесо–рельс–балласт–основание» показывают, что динамическая нагрузка может превышать статическую в 1,5–2,5 раза в зависимости от скорости, состояния пути и жёсткости опорной системы. Показана существенная роль геометрических неровностей и переходов жёсткости в формировании повышенных динамических воздействий на элементы пути и основание [1, 2, 3].

Нормативные документы (ГОСТ 34759–2021, ГОСТ Р 72044–2025) регламентируют динамическое воздействие через коэффициенты динамической добавки и динамичности и устанавливают предельное значение вертикальных напряжений  $\sigma(z) \leq 0,5$  МПа,

<sup>a</sup>  <https://orcid.org/0000-0002-9434-0713>

<sup>b</sup>  <https://orcid.org/0000-0003-4622-5937>

<sup>c</sup>  <https://orcid.org/0000-0001-6247-1869>



однако импульсный характер нагружения в стыковых зонах учитывается ограниченно.

В мировой практике для снижения концентрации напряжений широко применяются геосинтетические материалы (геотекстиль и георешётки), обеспечивающие перераспределение нагрузок и повышение жёсткости системы «балласт–основание». Вместе с тем недостаточно разработаны методики, напрямую связывающие параметры динамического воздействия с расчётной оценкой вертикальных напряжений и обоснованием параметров усиления именно для рельсовых стыков [4, 5].

Актуальность исследования определяется необходимостью повышения надёжности и долговечности пути при смешанном и скоростном движении, когда в стыковых зонах возможны превышения нормативных уровней напряжений и ускоренное развитие деформаций основания.

**Предмет исследования** – динамическое воздействие подвижного состава на земляное полотно в зоне рельсовых стыков и формирование вертикальных напряжений в основной площадке основания с учётом геосинтетического армирования.

**Цель исследования** – разработка методики расчётной оценки динамического воздействия и инженерное обоснование эффективности усиления земляного полотна в стыковых зонах.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

1. Проанализировать современные научные и нормативные подходы к оценке динамического воздействия подвижного состава на элементы пути и земляного полотна.

2. Обосновать использование коэффициента динамической добавки обрессоренных частей и коэффициента динамичности для расчётной оценки вертикальных нагрузок в стыковых зонах.

3. Разработать расчётную методическую цепочку определения динамической погонной нагрузки и вертикальных напряжений в основной площадке земляного полотна.

4. Выполнить оценку превышения и соблюдения нормативных значений вертикальных напряжений при различных скоростях движения и осевых нагрузках.

5. Обосновать конструктивное решение по усилению земляного полотна с применением геотекстиля и плоской георешётки и оценить его эффективность с точки зрения снижения концентрации динамических напряжений.

Реализация предложенной методики направлена на повышение обоснованности проектных и эксплуатационных решений и способствует росту устойчивости и эксплуатационной надёжности железнодорожной инфраструктуры в условиях интенсивного грузового и скоростного пассажирского движения.

## 2. Методология исследования

1) Методологическая основа и схема исследования

Исследование выполнено на основе инженерно-расчётного моделирования динамического воздействия подвижного состава на земляное полотно в зоне рельсовых стыков с последующей нормативной проверкой по предельно допустимым значениям вертикальных напряжений. Методологическая схема

включает расчётную последовательность [6, 7]:

$$K_{пр} \rightarrow Y \rightarrow \sigma(z)$$

где:  $K_{лз}$  – коэффициент динамической добавки обрессоренных частей;

$Y$  – динамическая погонная нагрузка тележки, кН;

$\sigma(z)$  – вертикальные напряжения в теле земляного полотна на глубине  $z$ , МПа.

Дополнительно для стыковой зоны учтён коэффициент динамичности  $k_{dyn}$ , отражающий ударно-импульсный характер нагружения (переходы жёсткости, зазоры, неровности) [8, 9].

2) Объект, условия и сценарии расчёта

Объект: зона рельсового стыка как участок локальной жёсткостной неоднородности пути (с повышенной вероятностью ударных воздействий).

Сценарии движения:

скорости: 60, 90, 160, 200 км/ч; осевые нагрузки: 18; 23,5; 25 т/ось; виды движения: грузовое (60–90 км/ч) и пассажирское (160–200 км/ч).

Нормативный критерий:

$\sigma(z) \leq 0,5$  МПа (по требованиям ГОСТ 34759–2021; применение динамических критериев согласуется с ГОСТ Р 72044–2025).

3) Исходные параметры динамики

Значения  $K_{лз}$  приняты как характерные (инженерные), допустимые для предварительных расчётов при отсутствии данных индивидуальных ходовых испытаний (с оговоркой о необходимости уточнения по испытаниям согласно ГОСТ 34759–2021 и ГОСТ 33788–2016).

Таблица 1

Характерные значения коэффициента динамической добавки обрессоренных частей  $K_{лз}$

Вид движения	Скорость, км/ч	18 т/ось	23,5 т/ось	25 т/ось
Грузовое	60	–	0,22	0,20
Грузовое	90	–	0,27	0,25
Пассажирское	160	0,48	–	–
Пассажирское	200	0,55	–	–

4) Расчёт динамической погонной нагрузки тележки

Динамическая погонная нагрузка вычисляется по выражению:

$$Y = \frac{n \cdot P_0(1 + K_{пр})}{l + 2.2}$$

где:  $n$  – число осей в тележке;  $P_0$  – статическая осевая нагрузка, кН;  $l$  – расстояние между крайними осями тележки, м; добавка 2,22 учитывает влияние распределения нагрузки в зоне тележки [10, 11].

Полученное значение  $Y$  используется для расчёта вертикальных напряжений в верхней части основной площадки земляного полотна.

5) Учёт ударно-динамических эффектов в стыке

Для зоны рельсовых стыков принято:

$$P_{dyn} = P_{stat} \cdot K_{dyn}, \quad \sigma(z) = \sigma(z) \cdot K_{dyn}$$

Характерные диапазоны  $k_{dyn}$  заданы, по инженерной оценке, (как надбавка к «плавной» динамике, учитывающейся через  $K_{лз}$  [12, 13]:

1,5–1,7 – исправные стыки, грузовое 60–90 км/ч;

2,0–2,5 – неблагоприятное состояние стыков, пассажирское 160–200 км/ч.

При этом связь первого приближения:

$k_{dyn} \approx 1 + K_{лз}$  рассматривается как нижняя оценка, требующая увеличения с учётом ударных эффектов стыка (что концептуально согласуется с подходами к



«impact wheel load factors» и динамическим факторам в работах [14-16] и нормативной логикой ГОСТ Р 72044–2025).

#### б) Вариант усиления и допущения

Рассмотрен конструктивный вариант усиления основной площадки земляного полотна:

геотекстиль 400 г/м<sup>2</sup> + плоская георешётка 40×40 мм.

Механизм работы усиления в рамках метода: увеличение жёсткости/связности системы «балласт–основание», перераспределение нагрузок и снижение концентрации напряжений в стыковой зоне. [6-8] В расчётной части эффект усиления отражён по результатам сравнения напряжений до/после.

Структурная схема (алгоритм расчёта)

1. Выбор сценария: вид движения → скорость  $v$  → осевая нагрузка  $P_0$ ;
2. Назначение  $K_{ng}$  (табл. 1)
3. Расчёт ( $Y$ ) по формуле
4. Определение  $\sigma(z)$  (верхняя часть основной площадки)
5. При необходимости: учёт  $k_{dyn}$  для стыка
6. Сравнение с критерием  $\sigma(z) \leq 0,5$  МПа
7. Назначение усиления и повторная оценка  $\sigma(z)$

### 3. Результаты исследования

#### 1) Вертикальные напряжения до и после усиления

Расчётные значения вертикальных напряжений в верхней части основной площадки земляного полотна приведены в обработанном виде (с нормативной интерпретацией).

Таблица 2

Вертикальные напряжения  $\sigma(z)$  в зоне рельсовых стыков до и после усиления, МПа

Условия эксплуатации	60 км/ч	90 км/ч	160 км/ч	200 км/ч
Без усиления	0,40	0,46	0,56	0,63
После усиления геосинтетическими материалами	0,28	0,32	0,40	0,45

Примечание: значения приведены для верхней части основной площадки земляного полотна; усиление выполнено по варианту комбинированной системы «геотекстиль 400 г/м<sup>2</sup> + плоская георешётка 40×40 мм».

Ключевой результат: усиление снижает  $\sigma(z)$  на 25–30% во всём диапазоне скоростей, обеспечивая выполнение критерия  $\sigma(z) \leq 0,5$  МПа даже для скоростей 160–200 км/ч.

#### 2) Эффективность усиления (процент снижения напряжений)

Для наглядности эффект усиления представлен в виде относительного снижения:

$$\Delta = \frac{\sigma_{\text{без}} - \sigma_{\text{усил}}}{\sigma_{\text{без}}} * 100\%$$

Таблица 3

Снижение  $\sigma(z)$  после усиления

Скорость, км/ч	60	90	160	200
Снижение $\sigma(z)$	30,0	30,4	28,6	28,6

#### 3) Графические представления результатов

Вертикальные напряжения  $\sigma(z)$  и эффективность усиления земляного полотна. Результаты расчёта вертикальных напряжений в зоне рельсовых стыков приведены в рис. 1.

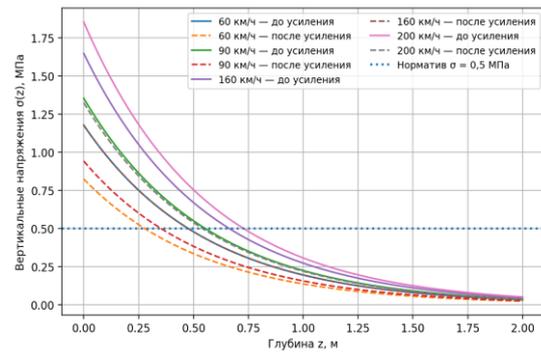


Рис. 1. Распределение вертикальных напряжений  $\sigma(z)$  по глубине для скоростей 60, 90, 160 и 200 км/ч до и после усиления

График наглядно демонстрирует превышение нормативного уровня  $\sigma(z)$  при пассажирском движении со скоростями 160–200 км/ч без усиления, а также формирование нормативного запаса по напряжениям после усиления геосинтетическими материалами.

Комбинированная система усиления основной площадки земляного полотна «геотекстиль + плоская георешётка», включающей: геотекстиль плотностью 400 г/м<sup>2</sup>, плоскую георешётку с размером ячеек 40×40 мм. Принятое конструктивное решение обеспечивает совместную работу грунта, геосинтетических материалов и балластного слоя, перераспределение динамических нагрузок и снижение концентрации вертикальных напряжений в зоне рельсовых стыков.

График демонстрирует снижение напряжений после усиления, горизонтальная пунктирная линия соответствует нормативному пределу 0,5 МПа.

#### 4) Нормативная интерпретация результатов

При грузовом движении 60–90 км/ч:  $\sigma(z) = 0,40–0,46$  МПа без усиления — формально ниже 0,5 МПа, однако близость к пределу указывает на риск остаточных деформаций при длительной эксплуатации и дефектах стыка.

При пассажирском 160–200 км/ч:  $\sigma(z) = 0,56–0,63$  МПа без усиления — превышение нормативного критерия.

После усиления:  $\sigma(z) = 0,28–0,45$  МПа — выполнение норматива и формирование запаса несущей способности основания.

#### Обсуждение

##### 1) Интерпретация и физический смысл результатов

Полученные значения подтверждают, что стыковая зона является критической по динамическому воздействию из-за совокупности факторов:

- удар колеса при прохождении стыкового зазора/неровности;
- резкие переходы жёсткости;
- активизация колебаний тележки и неподрессоренных масс.

Отсюда следует закономерность: рост скорости при равных или даже меньших осевых нагрузках может приводить к большему превышению по  $\sigma(z)$ , чем увеличение осевой нагрузки при меньших скоростях. Это согласуется с общей инженерной логикой динамического взаимодействия колесо–рельс и с практикой применения «impact/dynamic factors» в расчётах [4, 5].

##### 2) Сопоставление с результатами других авторов

Согласованность с публикациями о роли жёсткости основания.



В работе Lee J. и соавторы показано, что динамические коэффициенты существенно зависят от жёсткости опорной системы (включая особенности конструкции и основания) [1]. В нашем исследовании усиление геосинтетическими материалами действует именно через повышение «работоспособной жёсткости/связности» системы и перераспределение напряжений; наблюдаемое снижение  $\sigma(z)$  на 25–30% является следствием этого механизма и концептуально соответствует выводам [1] о влиянии жёсткости на динамические реакции.

Согласованность с подходами к динамическим/ударным факторам (impact wheel load factors).

Van Dyk et al. рассматривают динамические и ударные факторы колёсной нагрузки и их применение в проектировании, подчёркивая, что в присутствии неровностей и локальных дефектов путь испытывает существенно большие динамические воздействия [4]. В Вашей методике это отражено введением  $k_{dyn}$  как корректировки сверх «плавной» динамики, учитываемой через  $K_{nc}$ . Таким образом, принятый подход не противоречит мировой практике:  $K_{nc}$  описывает вклад колебаний обрессоренной массы, тогда как стук требует добавочного учёта импульсности.

Согласованность с исследованиями тяжеловесного движения.

Zhao et al. показывают, что для тяжеловесных линий динамические коэффициенты/усиления возрастают при росте скорости и ухудшении геометрии пути, а также при изменении условий контакта и поддерживающей способности основания [5]. В наших расчётах даже при допустимых напряжениях в грузовых режимах (60–90 км/ч) значения близки к нормативу, что подтверждает тезис [5] о необходимости удержания запаса по несущей способности основания при длительной эксплуатации и возможных дефектах пути.

3) Практическая значимость и область применения методики

Предложенный алгоритм расчёта удобен для: предпроектной оценки рисков по стыковым зонам на линиях со смешанным движением;

обоснования усиления при переводе линий на более высокие скорости;

выбора целевого варианта усиления (в статье рассмотрен вариант «геотекстиль + плоская георешётка» как технологически реализуемый в «окна» и эффективный по снижению  $\sigma(z)$ ).

4) Ограничения исследования и направления развития

1. Значения  $K_{nc}$  приняты как характерные; для итогового проектного расчёта требуется уточнение по результатам испытаний конкретного подвижного состава (ГОСТ 34759–2021, ГОСТ 33788–2016).

2.  $k_{dyn}$  использован как инженерный коэффициент для стыка; перспективным является его уточнение по инструментальным измерениям неровностей/состояния стыков и расчётам динамики колесо–рельс (в духе подходов [4–7]).

3. Эффект усиления отражён через изменение  $\sigma(z)$ ; в расширенной постановке целесообразно дополнить методику критериями по деформациям/осадкам и долговечности (циклическая работа основания).

## 4. Заключение

В статье предложена инженерно-расчётная методика оценки динамического воздействия подвижного состава на земляное полотно в зоне рельсовых стыков, основанная на связке  $K_{nc} \rightarrow Y \rightarrow \sigma(z)$  и нормативной проверке по критерию  $\sigma(z) \leq 0,5$  МПа. Методика позволяет учитывать влияние скоростных режимов и осевых нагрузок на напряжённое состояние основной площадки основания пути.

Установлено, что в стыковых зонах при скоростном пассажирском движении 160–200 км/ч формируется превышение нормативных уровней вертикальных напряжений, а при грузовом движении 60–90 км/ч – предельное состояние, способствующее накоплению остаточных деформаций. Обосновано введение коэффициента динамичности  $k_{dyn}$  для учёта ударно-импульсных эффектов, не отражаемых коэффициентом динамической добавки  $K_{nc}$ .

Показано, что применение комбинированной системы усиления «геотекстиль + плоская георешётка» обеспечивает снижение вертикальных напряжений  $\sigma(z)$  на 25–30 % и формирование нормативного запаса несущей способности основания пути, что повышает устойчивость и эксплуатационную надёжность железнодорожной инфраструктуры.

Практическая ценность методики заключается в возможности её использования при проектировании и модернизации линий со смешанным и скоростным движением для обоснования инженерных решений по усилению земляного полотна в зонах рельсовых стыков.

## Использованная литература / References

- [1] Lee J., Oh K., Park Y., Choi J. Applicability of Dynamic Coefficient Standards by Comparing Dynamic Coefficients of Ballast and Reinforced Concrete Railway Structures Based on Spring Stiffness Coefficients // Appl. Sci. – 2020. – Vol. 10, No. 23. – P. 8361. – Режим доступа: <https://doi.org/10.3390/app10238361>
- [2] ГОСТ Р 72044–2025. Железные дороги. Колесно-рельсовый контакт. Динамическое воздействие на путь. – М.: Стандартинформ, 2025. – 30 с.
- [3] Lee S.H. A Study for Correlation of Track Support Stiffness and Track Impact Factor According by Track Structures. Ph.D. Thesis. Seoul National University of Science and Technology, Seoul, Korea, 2017.
- [4] Van Dyk B.J., Dersch M.S., Edwards J.R., Ruppert Conrad J., Barkan C.P.L. Evaluation of Dynamic and Impact Wheel Load Factors and Their Application for Design. In: Proceedings of the Transportation Research Board 93rd Annual Meeting, Washington, DC, USA, 12 January 2013. – Paper No. TRB 14-4714.
- [5] Zhao X., Yang J., An B., Liu C., Cao Y., Wen Z., Jin X. Determination of Dynamic Amplification Factors for Heavy Haul Railways // Proc. Inst. Mech. Eng. Part F J. Rail Rapid Transit. – 2016. – Vol. 232, P. 514–528.
- [6] Mirzaxidova O. M., Lesov K. S., Kenjaliyev M. K. Yer polotnosi asosiy maydonchasini mahalliy armirlashni hisobga olgan holda rels choklari zonasidagi dinamik kuchlanishlarni hisoblash metodikasi // Journal of Transport Scientific-Technical and Innovation Journal. – 2025. – Vol. 2, Issue 3. – P. 201–204
- [7] Mirzakhidova O. M., Lesov K. S., Kenjaliyev M. K. Experimental studies on reinforcement of the main



platform of the railway roadbed in rail joint zones using geosynthetic materials (geotextile, flat geogrid) // The Scientific Journal of Vehicles and Roads. – 2025. – № 4. – P. 76–81

[8] Мирзахидова О. М., Лесов К. С., Кенжалиев М. К., Мавланов А. Х. Влияние армирования геосинтетическими материалами на перераспределение вертикальных напряжений и повышение устойчивости основания в зоне рельсовых стыков // Journal of Transport Scientific-Technical and Innovation Journal. – 2025. – Vol. 2, Issue 3. – P. 193–196

[9] Положение о системе ведения путевого хозяйства АО «Узбекистон темир йуллари», введенное в действие приказом № 730-Н от 10 декабря 2024 года.

[10] ВСН 354-Н. Ведомственные технические указания по проектированию земляного полотна железных дорог колеи 1520 мм. Ташкент, 2011. ГАЖК «УТЙ».

[11] Инструкция по устройству и содержанию земляного полотна железных дорог (ЦП-530). – М.: Росжелдор, 2010.

[12] СП 32.13330.2018. Железные дороги колеи 1520 мм. Нормы проектирования. – М.: Минстрой России, 2018.

[13] ГОСТ Р 55050–2012. Материалы геосинтетические. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2012.

[14] Лесов К. С., Абдужабаров 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.

[15] 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

[16] Мирзахидова О.М., Лесов, К.С., Уралов А.Ш., Кенжалиев, М.К. Повышение устойчивости пути в зонах рельсовых стыков за счёт применения геосинтетических армирующих материалов// Journal Engineer . -120-122, Special Issue| 2025

## Информация об авторах/ Information about the authors

**Лесов К.С.** Инженерия железных дорог, Ташкентский государственный транспортный университет  
E-mail: [kuvandikl@mail.ru](mailto:kuvandikl@mail.ru)

**Кенжалиев М.К.** Инженерия железных дорог, Ташкентский государственный транспортный университет  
E-mail: [mkenjaliyev@mail.ru](mailto:mkenjaliyev@mail.ru)

**Мирзахидова О.М.** Инженерия железных дорог, Ташкентский государственный транспортный университет  
E-mail: [ozoda\\_27@mail.ru](mailto:ozoda_27@mail.ru)



## Justification of the purposes of using basalt fiber in cement concrete

Soy V.M.<sup>1</sup>, Mukhammadiev N.R.<sup>1</sup><sup>a</sup>, Malikov G.B.<sup>1</sup><sup>b</sup>, Tursinaliyev D.M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** The creation of modern high-efficiency building materials and products, to which the demands are constantly increasing, can be successfully implemented using technologies using composite materials. Particularly promising are dispersed reinforced concrete, in which a strong matrix and reinforcing fibers are successfully combined. The matrix provides high compressive strength, bending strength, and durability, while dispersed fibers are characterized by significant tensile strength, high elastic modulus, and the ability to distribute loads throughout the entire volume. Such a combination increases crack resistance, improves the operational properties and durability of structures, and opens up new possibilities for use in modern engineering structures and industrial construction.

**Keywords:** concrete, basalt fiber, strength, stability, corrosion, elasticity modulus, fine-grained concrete, alkali resistance and acid resistance

## Обоснование целесообразности применения базальтового волокна в цементобетоне

Сой В.М.<sup>1</sup>, Мухаммадиев Н.Р.<sup>1</sup><sup>a</sup>, Маликов Г.Б.<sup>1</sup><sup>b</sup>, Турсиналиев Д.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

**Аннотация:** Создание современных высокоэффективных строительных материалов и изделий, требования к которым постоянно возрастают, может быть успешно реализовано с помощью технологий, использующих композиционные материалы. Особенно перспективными являются дисперсноармированные бетоны, в которых удачно сочетаются прочная матрица и армирующие волокна. Матрица обеспечивает высокую прочность на сжатие, изгиб и долговечность, а дисперсные волокна характеризуются значительным сопротивлением разрыву, высоким модулем упругости и способностью распределять нагрузки по всему объёму. Такое сочетание повышает устойчивость к трещинообразованию, улучшает эксплуатационные свойства и долговечность конструкций, открывая новые возможности для применения в современных инженерных сооружениях и промышленном строительстве.

**Ключевые слова:** Бетон, базальтовая фибра, прочность, устойчивость, коррозия, модуль упругости, мелкозернистый бетон, щелочестойкость и кислотостойкость

### 1. Введение

Исследование исходных характеристик различных видов волокон позволит подобрать наиболее эффективный компонент для дисперсноармирования мелкозернистых цементобетонов с точки зрения соотношения достигаемых прочностных характеристик и низкой стоимости проектируемого конструкционного материала.

Как видно из таблицы, базальтовое волокно по многим характеристикам превосходит остальные фибры. В частности, базальтовое волокно по прочности превосходит сталь. При этом относительное удлинение при разрыве базальтовой фибры ниже, чем стальной. Кроме того, базальтовое волокно характеризуется химическим сродством с цементным камнем. Все это в совокупности позволяет данной фибре более эффективно препятствовать образованию микротрещин в бетоне при его нагружении.

### 2. Методология исследования

Анализ характеристик волокон, приведенных в таблице 1, позволяет сделать вывод о перспективности использования базальтового волокна в качестве армирующего компонента при проектировании строительных композитов.

Таким образом, по совокупности вариативных критериев, в качестве дисперсноармирующего компонента было выбрано базальтовое волокно.

Для отбора базальтового волокна наиболее пригодного для армирования цементной матрицы, учитывая широту географии применения волокна в строительной отрасли, а так же постоянно возрастающие объемы строительства на территории Республики Узбекистан, были проанализированы волокна крупнейших производителей базальтовой фибры, годовой объем выпуск продукции которых составляет свыше 1000 тонн.

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0009-0004-2390-6961>

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0003-3691-1079>



### 3. Результаты исследования

Исходя из множества исходных свойств, для более точного выбора базальтового волокна, нами был проведен анализ сырьевого состава, соотношения геометрических характеристик (длины и диаметра) фибры, а также способов его производства.

**Таблица 2**  
Перечень свойств базальтовых волокон различных производителей

Компания	Технология	Сырье	Диаметр, мкм
ООО «Qoraqalpoq Basaltwool LLC»	центробежное диспергирование	подшихтованный базальт (SiO <sub>2</sub> - 49%)	3-5
ООО «DXO BAZALT» Навои	Раздув расплава вертиальной струей воздуха	пироксеновый порфирит	1-3
ООО «Basalt Uzbekistan» Каракалпак	дуплекс-процесс	Базальт (SiO <sub>2</sub> - 52%)	1-3
ООО «Basalt Uzbekistan» Джиззак	раздув расплава вертиальной струей воздуха	базальт (SiO <sub>2</sub> - 53%)	3-12

Одним из важных исходных показателей волокна является его состав. Для повышения адгезии к цементному камню необходимо, чтобы волокно характеризовалось силикатным составом, поскольку бетон обладает щелочной средой.

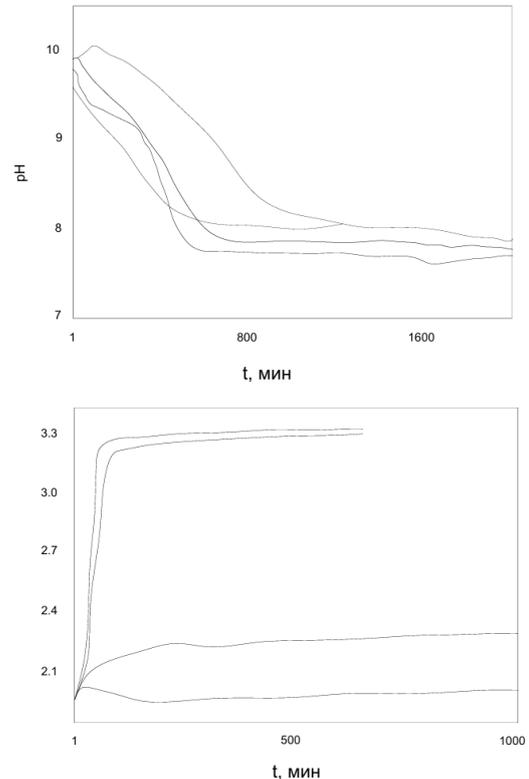
Элементный состав базальтового волокна (табл.3) различных производителей характеризуется незначительными вариациями концентраций петрогенных элементов. Исключением являются повышенные содержания магния и железа в составе продукции ООО «Basalt Uzbekistan» Джиззак и ООО «Basalt Uzbekistan» Каракалпак. Это может быть следствием повышенного содержания в исходном базальтовом сырье оливина.

**Таблица 3**  
Элементный состав базальтового волокна

Компоненты	ООО«Qoraqalpoq Basaltwool LLC»	ООО«DXO BAZALT» Навои	ООО«Basalt Uzbekistan» Каракалпак	ООО«Basalt Uzbekistan» Джиззак
	Волокно №1	Волокно №2	Волокно №3	Волокно №4
Na	1.81	3.3	2.3	1.62
Mg	3.07	1.8	1.8	2.62
Al	5.21	6.4	6.9	5.39
Si	19.43	18.4	19.2	18.03
P	0	0.2	0.2	0.23
K	0.33	0.5	0.5	0.59
Ca	3.1	3.2	2.9	3.21
Ti	0.69	0.5	0.5	0.39

Mn	0	0,1	0,1	0
Fe	3.64	4,2	3,5	7,05
O	62.19	18,4	19,2	17,03
S	0,46	0	0	0,02

Несмотря на обилие литературных данных [1], вопрос о стойкости базальтового волокна в агрессивной среде все еще остается открытым. Нами были изучены волокна четырех производителей на кислотную и щелочную стойкость (рис.1).



**Рис.1.** Изменение pH-раствора в зависимости от вида волокна при его испытании на щелочестойкость (а) и кислотостойкость (б): Волокно № 1 - ООО «Qoraqalpoq Basaltwool LLC», № 2 - ООО «DXO BAZALT» Навои», № 3 - ООО «Basalt Uzbekistan» Каракалпак, №4 – ООО «Basalt Uzbekistan» Джиззак»

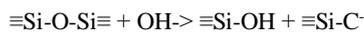
Вероятным объяснением полученных данных может быть следующее. Химические явления, лежащие в основе действия щелочей на фибру, заключаются в превращении кремнезёма в стабильные анионы, не полимеризующиеся в щелочной среде: SiO<sub>4</sub><sup>4-</sup>, Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub><sup>2-</sup>, SiO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, а катионы, находящиеся в стекловидной фазе, образуют соединения типа цинкатов и алюминатов. Если раствор не обновляется и происходит накопление продуктов разрушения, то процесс разрушения замедляется [2].

Известно, что на процесс разрушения базальтовой фибры влияет не только взаимодействие гидроксильных ионов с кремнекислородными группами, но и способность катиона щелочного раствора к ионному обмену с катионами металлов, входящими в состав базальтового волокна. При соприкосновении щелочного раствора с базальтовой фиброй сначала происходит выщелачивание стекловидной фазы и лишь затем разрушение. Скорость разрушения фибры

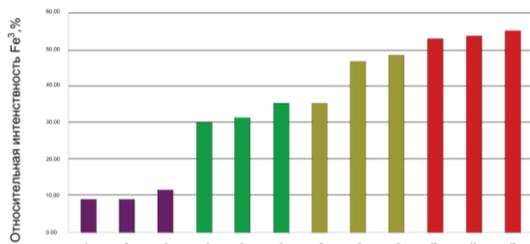


обуславливается скоростью перехода в раствор ионов Na (иона модификатора) [3].

Действие щелочных растворов начинается с адсорбции ионов Na и OFT поверхностью базальтового волокна. В результате образуется нестойкое соединение, которое разрушается по связям  $\equiv\text{Si}-\text{O}-\text{Si}\equiv$  с образованием групп  $\equiv\text{Si}-\text{ONa}$  и  $\equiv\text{Si}-\text{OH}$ . После разрушения достаточно большого количества связей  $\equiv\text{Si}-\text{O}-\text{Si}\equiv$  начинается переход разрушенных силикатов в раствор. В процессе взаимодействия базальтового волокна со щелочами условно выделяют несколько стадий [4, 5]. Сначала происходит адсорбция щелоповерхностью базальтовой фибры. Затем имеет место так называемая щелочная атака, начинающаяся у поверхностных дефектов, и распространяющаяся в дальнейшем на всю поверхность [6]:



На последней стадии продукты реакции удаляются с поверхности фибры, не образуя защитной пленки. О стойкости базальтовых волокон в агрессивных средах можно судить по химическому составу сырья, из которого оно вытянуто. Например, щелочестойкость повышается при введении в их состав уплотняющих структуру оксидов - циркония, алюминия, железа, олова и др. На стойкость волокон существенное влияние оказывает также технология и способ производства. Все это в совокупности может определять возможные субмикронные неоднородности, связанные с различным содержанием  $\text{Fe}^{2+}$  /  $\text{Fe}^{3+}$  в волокне. На рисунке 3 приведено содержание в волокнах  $\text{Fe}^{3+}$ , полученное методом мессбауэровской спектроскопии.



**Рис.2. Содержание Fe в базальтовых волокнах: 1-3 - ООО «Qoraqalpoq Basaltwool LLC»», ООО «DXO BAZALT»; 4-6 - ООО «Basalt Uzbekistan» Каракалпак»; 7-9 - 10-12 - ООО «Basalt Uzbekistan» Джиззак**

Различное содержание  $\text{Fe}^{2+}$  /  $\text{Fe}^{3+}$  в волокне, по мнению ряда исследователей [7-1] определяет возможные субмикронные неоднородности, связанные с наличием железа вне кремний-кислородной сетки, что в свою очередь делает волокна неустойчивыми к окислению, а также может привести к кристаллизации при повышенных температурах.

Как было отмечено ранее, при проектировании дисперсноармированных материалов имеют значение также геометрические характеристики волокна. По литературным данным известно, что для достижения оптимального пластично-агрегатного состояния дисперсноармирующего компонента в смеси, следует отбирать исходные компоненты с оптимальным соотношением длины к диаметру большим 10 [8]. Как видно из микроструктуры базальтового волокна, производства ООО «Basalt Uzbekistan» Джиззак» (рис.

2), данная фибра характеризуется необходимым соотношением геометрических характеристик.

В качестве агрессивной среды использовали цементное молочко, характеризующееся достаточной щелочной средой ( $\text{pH}=12,9$ ). В указанный раствор вводили распущенное волокно (рис. 3). Концентрацию базальтового волокна в растворе выбирали с учетом предельного содержания фибры в цементных композитах (3-12 % массы вяжущего), установленного на основании анализа литературных данных. Концентрация составляла 7 %. Образцы подвергли выдержке при комнатной температуре в течение 7, 14, 28, 72 суток. По истечению срока выдержки для удаления остатков цементной составляющей волокно промывали слабым раствором соляной кислоты (0,1 %) через фильтровальную бумагу. Для удаления посторонних примесей в последствие образец промывали 1 л дистиллированной воды. Далее оставшееся на фильтровальной бумаге базальтовое волокно просушивали при комнатной температуре. Растворимость волокна определяли по разности масс первоначальной навески и сухого остатка в результате выдержки в щелочной среде. Потерю массы выражали в процентах (табл. 3). Возможные потери волокна при промывке (т.н. технологические потери), приняты сопоставимыми для каждого эксперимента.

**Таблица 3**  
**Результаты исследования щелочной стойкости базальтового волокна**

№	Время испытания, сут	Масса исходная, г	pH исх.	Масса после выдержки, г	Потеря массы, %	pH после выдержки	Цвет
1	7	4,67	11,9	4,17	12,4	11,9	Норм
2	14	4,95	11,9	3,45	24,2	11,5	норм
3	28	5,01	11,9	3,31	29,9	11,5	Слабо-осветл
4	72	4,85	11,9	2,01	56,8	11,3	Слабо-осветл

В процессе наблюдения на 7 сутки на поверхности волокна обнаружилось незначительное выпадение белого осадка, вероятно, связанное с кристаллизацией  $\text{CaO}$  на ороговевшей поверхности базальта. В период с 14 до 28, 62 суток в результате утончения более мелких ворсинок волокна общая масса базальтового волокна в виде сгустка постепенно рассыпалась с медленным осаждением мелких частиц волокна (до 20 %). На 28 сутки количество белого осадка возросло, и покрывало собой уже все более крупные волокна. При осмотре образца на 72 сутки обнаружено изменение цвета поверхности волокна - от слабо-осветленного для малых ворсинок, до серого для более крупного волокна.

## 4. Заключение

Установлено, что изменение pH цементного раствора существенно зависит от времени нахождения в нем образцов волокна. Так, на 7 сутки при рост pH не зафиксирован, на 14 - отмечено уменьшение на 2 %, и в



период с 28 до 72 суток достиг уменьшения на 4,3 % относительно исходного. Полу ченные изменения значений рН находятся в пределах значения прогнозируе мой нормы.

После 28 сут выдержки в растворе потеря массы составляет около 30 %. Длительное хранение фибры (72 сут) в растворе приводит к потере массы до 50 %.

## Использованная литература / References

[1] Третьяков, Ю.Д. Разработка химических методов повышения гидrolитической и термической коррозионной стойкости базальтовых стекол / Ю.Д. Третьяков, А.В. Кнотько, В.И. Пуляев // Отчет отде- • ления химии и наук о материалах РАН. - Москва, 2007.

[2] Бабаев, В.Б. Рассмотрение возможности использования в качестве микроармирующего компонента в дорожном цементобетоне базальтового волокна / В.Б. Бабаев, А.В. Кнотько, А.В. Гаршев // Инновационные материалы и технологии (XX научные чтения): материалы Междунар. науч.-практич. Конф. - Белгород, 1-3 марта 2011 г. - Белгород, 2011. - Ч. 4. - С. 25-27.

[3] Гаршев, А.В. Окислительная коррозия базальтового волокна / А.В. Гаршев, А.В. Кнотько, М.Н. Пулькин и др. // Коррозия: материалы, ; защита. - 2005. - № 7. -С. 33-39

[4] Русаков, В.С. Основы месбауэровской спектроскопии: учеб. пособие В.С. Русаков. - М.: Физический факультет МГУ. - 2011. - 292 с

[5] Юрьев, А.Г., Лесовик Р.В., Панченко Л.А. Дисперсно-армированный . мелкозернистый бетон с использованием техногенного песка / А.Г. Юрьев, Р.В. Лесовик, Л.А. Панченко // Известия вузов. Строительство. - 2008. - № 11.-С. 121-12.

[6] Ядыкина, В.В. Управление процессами формирования и качеством строительных композитов с учетом состояния поверхности дисперсного сырья / В.В. Ядыкина // Белгород: РИЦ БГТУ им. В.Г. Шухова, 2009.- 371с.

[7] Аблесгшов, Н.Е. Реликтовая кристалличность и качество базальтового стекловолокна

(месбауэровские исследования) / Н.Е. Аблесимов, Ю.Г. Малова, СИ. Бондаревский // Стекло и керамика. - 2006. - №3. - С . 12-13.

[8] Пащенко, А.А. Армирование цементного камня минеральным волокном / А.А. Пащенко, В.П. Сербии. - Киев: УкрНИИНТИ, 1970. - 45 с.

## Информация об авторах/ Information about the authors

**Soy Vladimir  
Mikhaylovich /  
Цой Владимир  
Михайлович**

Ташкентский государственный транспортный университет, кафедра «Строительство зданий и промышленных сооружений», доктор технических наук, профессор.

E-mail: [Volodya\\_tsoy@inbox.ru](mailto:Volodya_tsoy@inbox.ru)  
Tel.: +998909521576

**Mukhammadiyev  
Nematjon  
Rakhmatovich /  
Мухаммадиев  
Нематжон  
Рахматович**

Ташкентский государственный транспортный университет, кафедра «Строительство зданий и промышленных сооружений», доктор технических наук, доцент.

E-mail: [nemat.9108@mail.ru](mailto:nemat.9108@mail.ru),  
Tel.: +998909111106

<https://orcid.org/0009-0004-2390-6961>

**Malikov  
Ganisher  
Bahromkulovich /  
Маликов  
Ганишер  
Бахромкулович**

Ташкентский государственный транспортный университет, кафедра "Мосты и тоннели" PhD,  
E-mail: [ganisherm@inbox.ru](mailto:ganisherm@inbox.ru)

Tel.: +998901893094

<https://orcid.org/0000-0003-3691-1079>

**Tursinaliyev  
Dilshod  
Murodjon o'g'li /  
Турсиналиева  
Дилшод  
Муроджон угли**

Факультет строительной инженерии

E-mail: [dilshoddilshod6565@gmail.com](mailto:dilshoddilshod6565@gmail.com)

Tel.: +998901893094



## Oscillation of a prestressed span structure of a reinforced concrete railway bridge with mass in horizontal motion

I. Mirzaev<sup>1</sup><sup>a</sup>, D.S. Askarova<sup>1</sup><sup>b</sup>

<sup>1</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** This work examines the features of calculating the strength of reinforced concrete railway bridges with a moving load and a movable oscillator. The methods of finite elements and finite differences were used. When solving the problem of oscillations of a beam with distributed parameters under the action of a moving concentrated force and mass, "parasitic oscillations" are eliminated by choosing a step in time depending on the speed of the load's movement. As an example for moving cargo or mass, the mass of the Talgo locomotive was taken. Such a mass velocity has been determined that it is possible to use the model of the force moving with a lower velocity, otherwise the model of the oscillator must be adopted. With an increase in the horizontal velocity of the oscillator, the deflection of the beam increases, and the vertical oscillations of the mass also increase.

**Keywords:** reinforced concrete, beam, reinforcement, concentrated force, concentrated mass

## Temirbeton temir yo'l ko'prigi oldindan zo'riqtirilgan oraliq qurilmasining gorizontalar harakatidagi massa bilan birgalikdagi tebranishi

I. Mirzayev<sup>1</sup><sup>a</sup>, D.S. Askarova<sup>1</sup><sup>b</sup>

<sup>1</sup>Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

**Annotatsiya:** Ushbu ishda temirbeton temir yo'l ko'priklarini qo'zg'aluvchan yuk va qo'zg'aluvchan ossillyatorlarda mustahkamlikka hisoblashning o'ziga xos xususiyatlari ko'rib chiqilgan. Chekli elementlar va chekli ayirmalar usullaridan foydalanilgan. Parametrlari taqsimlangan balkaning harakatlanuvchi to'plangan kuch va massa ta'siridagi tebranishlari masalasini sonli yechishda yukning harakat tezligiga bog'liq holda vaqt bo'yicha qadam tanlash bilan "parazit tebranishlar" yo'qotildi. Misol sifatida harakatlanuvchi yuk yoki massa uchun Talgo lokomotivi massasi qabul qilindi. Massaning shunday harakat tezligi aniqlangan bo'lib, undan past tezlikda harakatlanuvchi kuch modelidan foydalanish mumkin, aks holda ossillyator modeli qabul qilinishi shart. Ossillyatorning gorizontalar tezligi ortishi bilan balkaning salqilligi ortadi, massaning vertikal tebranishlari ham ortadi.

**Kalit so'zlar:** temirbeton, balka, armatura, to'plangan kuch, to'plangan massa

### 1. Kirish

Transport vositalarining ko'prik bilan o'zaro ta'sirini hisobga olish poyezdlar o'tishida ko'prikning haqiqiy dinamik tebranishlarini hisoblashda muhim ahamiyatga ega bo'ladi [1].

Temirbeton elementlar asosan kichik va o'rta uzunlikdagi temir yo'l ko'priklarini qurishda ishlatiladi. Ma'lumki, temirbeton beton va po'lat (armatura) ning birgalikda ishlashidan tashkil topgan kompozitsion materialdir. Betonning cho'zilish va siqilishga qarshiligi turlicha bo'ladi, natijada beton va armatura o'rtasida kuchlar qayta taqsimlanadi [2-5].

**Adabiyotlar tahlili va metodologiya.** Transport inshootlarini harakatlanuvchi yuklarga hisoblash usullarining rivojlanish yo'nalishlarini qisqacha ko'rib chiqamiz. Ko'prik va transport vositasining dinamik o'zaro ta'siri ko'plab tadqiqotchilar tomonidan ko'rib chiqilgan [4-10], harakatlanayotgan transport vositalari bilan o'zaro ta'sirda ko'priklarning dinamik xatti-harakatlariga ta'sir qiluvchi ta'sirlar ko'rib chiqiladi. Ushbu tadqiqotlarda

harakatlanuvchi transport vositalari harakatlanuvchi yuklar, harakatlanuvchi massalar yoki harakatdagi osma massalar sifatida modellashtirilib, transport vositalari bilan bog'liq bo'lgan salqillik va energiya tarqalish mexanizmlari hisobga olinadi. Transport vositasi va ko'prikning o'zaro ta'sirini o'rganishda transport vositalari yoki temir yo'l vagonlarining turli xil dinamik xususiyatlarini hisobga oladigan murakkabroq modellar ham amalga oshirildi [4-5, 11].

Bu ishda [12] ko'prik va unda harakatlanayotgan transport vositasi o'rtasidagi dinamik o'zaro ta'sir o'rganilgan. Ko'prikning siljishi, tezligi va tezlanishi turli darajada ikkita chastota to'plami, ya'ni transport vositasining tebranish chastotasi va ko'prikning xususiy chastotalari bilan tartibga solinadi. Bu mavzudagi ishlarning eng to'liq sharhi [13] maqolada keltirilgan. Ko'priklarning dinamik holatini baholashda nafaqat statik yuklar, balki vaqt bo'yicha o'zgaruvchi dinamik yuklarning ta'sirini ham chuqur tahlil qilish talab etiladi. Ayniqsa, poyezdlarning harakat tezligi oshgani sari ko'prik konstruksiyalarida

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0002-8616-9717>

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0001-7293-5348>



rezonans hodisalari yuzaga kelish ehtimoli ortadi. Bu esa konstruksiyaning uzoq muddatli mustahkamligi va xizmat qilish muddatiga salbiy ta'sir ko'rsatishi mumkin. Dinamik tahlil natijalari asosida ko'prik elementlarining konstruktiv yechimlarini takomillashtirish, tebranishlarni kamaytiruvchi texnik choralarini ishlab chiqish hamda ekspluatatsiya xavfsizligini ta'minlash mumkin bo'ladi. Ko'prik konstruksiyalarining ishonchligi ularning dinamik yuklarga qanday munosabat bildirishiga bevosita bog'liqdir. Harakatlanuvchi transport vositalari ko'prikda qo'shimcha inersiya kuchlarini hosil qiladi. Ushbu kuchlar ko'prik elementlarida qo'shimcha zo'riqishlarni yuzaga keltiradi. Natijada konstruksiyada charchash jarayonlari tezlashishi mumkin. Dinamik ta'sirlarni e'tiborga olmaslik hisob natijalarining noto'g'ri bo'lishiga olib keladi. Ayniqsa temir yo'l ko'priklarida bu holat yanada muhim hisoblanadi. Chunki poyezdlar katta massaga ega bo'lgan transport vositalaridir. Ularning tezligi oshgani sari dinamik effektlar kuchayadi. Ko'priknining xususiy tebranish chastotalari transport vositasining tebranish chastotalariga yaqinlashganda rezonans holati yuzaga kelishi mumkin. Rezonans konstruksiya uchun xavfli hisoblanadi. Bu holatda tebranish amplitudalari keskin ortadi. Natijada beton va armatura o'rtasidagi bog'lanish zaiflashishi mumkin. Temirbeton konstruksiyalarda mikro yoriqlar paydo bo'lish ehtimoli oshadi. Ushbu yoriqlar vaqt o'tishi bilan kengayib boradi. Bu esa ko'priknining yuk ko'tarish qobiliyatini pasaytiradi. Shuning uchun dinamik hisoblar alohida ahamiyat kasb etadi. Zamonaviy hisoblash usullari murakkab matematik modellarni qo'llashga asoslanadi. Bu modellar ko'prik va transport vositasini yagona tizim sifatida ko'rib chiqadi. Harakat jarayonida yuzaga keladigan barcha kuchlar hisobga olinadi. Bunda elastiklik, massaviy xususiyatlar va so'nish koeffitsientlari muhim rol o'ynaydi. Hisoblashlarda tajriba natijalari bilan solishtirish ham talab etiladi. Chunki real sharoitdagi tebranishlar nazariy modellardan farq qilishi mumkin. Shuningdek, yo'l qoplamasidagi notekisliklar ham dinamik ta'sirlarni kuchaytiradi. Relslarning deformatsiyasi qo'shimcha tebranishlarni keltirib chiqaradi. Bu omillar ham hisoblarda inobatga olinishi zarur. Ko'priklarning ekspluatatsiya davrida monitoring tizimlaridan foydalanish muhimdir. Monitoring yordamida tebranish parametrlarini doimiy nazorat qilish mumkin. Olingan ma'lumotlar asosida texnik holat baholanadi. Zarur hollarda mustahkamlash ishlari amalga oshiriladi. Bu esa avariya holatlarining oldini olishga xizmat qiladi. Dinamik tahlil natijalari yangi ko'priklarni loyihalashda ham qo'llaniladi. Loyihalash bosqichida optimal konstruktiv sxemalar tanlanadi. Material sarfi samarali rejalashtiriladi. Xavfsizlik darajasi yuqori bo'lgan yechimlar ishlab chiqiladi. Natijada iqtisodiy jihatdan ham foydali konstruksiyalar yaratiladi. Hozirgi kunda yuqori tezlikda harakatlanuvchi poyezdlar soni ortib bormoqda. Bu esa mavjud ko'priklar uchun qo'shimcha talablar qo'yadi. Eski ko'priklarni qayta baholash zarurati yuzaga keladi. Ularning dinamik bardoshligi tekshiriladi. Ayrim hollarda foydalanish tezligini cheklash talab etiladi. Ba'zi ko'priklarda rekonstruksiya ishlari olib boriladi. Ilmiy tadqiqotlar ushbu muammolarni hal etishga qaratilgan. Yangi hisoblash algoritmlari ishlab chiqilmoqda. Kompyuter texnologiyalarining rivojlanishi bu jarayonni tezlashtirmoqda. Sonli modellashtirish usullari keng qo'llanilmoqda. Bu usullar yuqori aniqlikni ta'minlaydi. Shu bilan birga, tajriba sinovlari ham o'z ahamiyatini yo'qotmaydi. Nazariya va amaliyot uyg'unligi muhim hisoblanadi. Faqat shu yo'l bilan ishonchli natijalarga erishish mumkin. Ko'priklarning xavfsizligi jamiyat uchun

muhim masaladir. Chunki ular transport tizimining ajralmas qismidir. Dinamik o'zaro ta'sirlarni chuqur o'rganish ushbu xavfsizlikni ta'minlaydi.

Ushbu maqolada (balka) taqsimlangan parametrlari tizimning harakatlanuvchi to'plangan kuch va ossilyator ta'siridagi tebranishlari haqidagi masala hisoblash misolida ko'rib chiqiladi. Bunday turdagi masalalarni yechishning keng tarqalgan usullaridan biri yechimni taqsimlangan tizimning xususiy tebranish shakllari bo'yicha qatorga ajratishga asoslangan bo'lib, bu dastlabki xususiy hosilali tenglamani global koordinatalar tizimiga nisbatan oddiy differensial tenglamalar tizimiga keltirish imkonini beradi. Ko'rib chiqilgan ishlarda qaysi holatda qo'zg'aluvchan yuklarni kuch yoki massa ko'rinishida hisobga olish kerakligi to'g'risida to'liq yechim berilmagan. Shunga asoslanib, ushbu maqolada qo'zg'aluvchan kuch va qo'zg'aluvchan ossilyator ko'rinishidagi qo'zg'aluvchan yukni modellashtirishda yukning vertikal tebranishlariga harakat tezligining ta'siri o'rganildi va sonli natijalarni taqqoslash orqali tegishli xulosalar chiqarildi.

## 2. Muhokama va natijalar

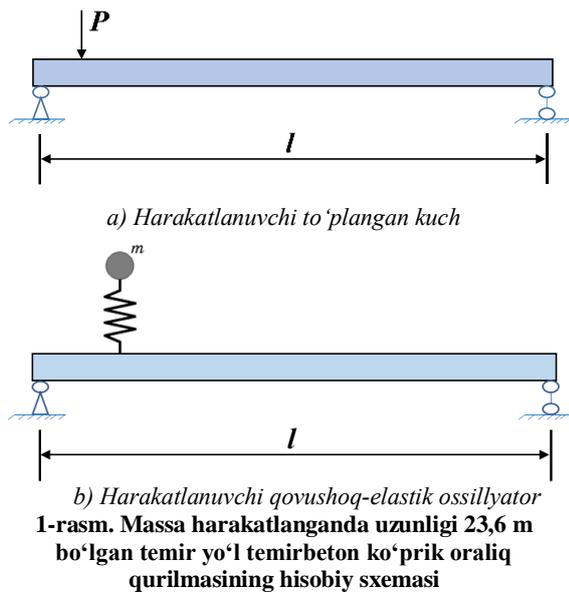
Ushbu tadqiqotda ko'prik va transport vositasining o'zaro ta'siri masalasi uchun taklif etilayotgan fizik model quyidagicha: ko'prik Timoshenkoning balkali konstruksiyasi bilan ifodalanadi va  $v$  tezlik bilan harakatlanayotgan lokomotiv g'ildiragi prujina va dempfer bilan to'plangan kuch yoki massa ko'rinishida modellashtiriladi. Bunda bitta g'ildirakka to'g'ri keladigan kuch yoki massa, ya'ni lokomotiv massasining 1/8 qismi qabul qilinadi. Tadqiqot harakatlanuvchi yuk yoki massa sifatida Talgo lokomotivi misolida amalga oshirildi.

Temir yo'l ko'prigini o'rganish uchun uzunligi 23,6 m bo'lgan oraliq qurilmalar misol qilib olindi. Simmetriya tufayli qo'shma parallel bog'langan balkalar o'rniga ko'priknining bitta balkasining tebranishini o'rganish qabul qilingan, shuningdek, lokomotiv massasining 1/8 qismi, ya'ni 8750 kg qabul qilingan, bu lokomotiv massasining bitta g'ildirakka taqsimlangan ulushi. Sonli hisob-kitoblar mualliflar tomonidan yaratilgan SHARK dasturlar majmuasi tomonidan amalga oshirildi [14]. Ushbu hisoblarda oraliq qurilma Timoshenko oldindan zo'riqtirilgan balkasi ko'rinishida modellashtiriladi [4-5, 14]. Ko'prik elementlarini diskretlash chekli elementlar usuli bilan amalga oshiriladi, olingan oddiy differensial tenglamalar sistemasi Nyumarkning oshkormas chekli – ayirmali usuli bilan yechiladi [15].

Oraliq qurilmada dastlabki kuchlanishni hosil qiluvchi ishchi armaturalar dastlabki deformatsiyalash va ishchi armaturaning har bir oxirgi elementini oraliq qurilmaning neytral o'qiga eksentrisitetlar bilan mahkamlash orqali beriladi. Ko'prik qurilishi amaliyotida oraliq qurilma balkani tayanch qismiga o'rnatiladi, bu tadqiqotlarda to'g'ri modellashtirilishi kerak. Shuning uchun balkaning neytral o'qiga nisbatan eksentriteti va tayanch (tayanch qismi) bilan qo'zg'almas yoki qo'zg'aluvchan sharnirli biriktirishdan foydalanib, balka toretslarining tayanch qismlari bilan o'zaro ta'sirlashish shartlari hisobga olinadi.

Harakatlanuvchi to'plangan massa qovushqoq – elastik prujinali modelga ega harakatlanuvchi ossilyator ko'rinishida modellashtirilgan (1-rasm, b).





O'tkazilgan hisob-kitoblarda harakatlanayotgan lokomotiv bitta g'ildiragining oraliq qurilma tebranishlariga ta'siri ko'rib chiqilgan. Uzunligi 23,6 m (B35 beton sinfi) bo'lgan, ko'ndalang kesimi tavr shaklida bo'lgan oraliq qurilmali namunaviy balka uchun sonli hisoblashda, bitta balkaning massasi 49,2 t bo'lib, oldindan berilgan deformatsiyasi  $-0,00504$  bo'lgan kuchlangan Bp-II armaturasi ishlatilgan. Armatura elementlarining elastiklik modulining qiymati  $E=2 \cdot 10^{11}$  Pa ga teng deb qabul qilingan. Armatura elementlarining tugun nuqtalarini eksentrisitet yordamida neytral o'qning tegishli tugun nuqtalari bilan birlashtiramiz. Oldindan zo'riqtirilgan balkani tayyorlashga o'xshash – armaturaning taranglik kuchini belgilaymiz  $P_0$  va uning boshlang'ich deformatsiyasini aniqlaymiz  $\epsilon_0 = P_0 / EF$  ( $E$  – armaturaning elastiklik moduli;  $F$  – armatura ko'ndalang kesimining umumiy yuzasi). Yo'lining ustki qismi massasi 64,72 kg/m bo'lgan R65 turidagi relslar, massasi 270-300 kg bo'lgan temirbeton shpallar ishlatiladi, 1 km yo'lga 1840 ta shpal yotqiziladi. Ballast qatlamining massasi 200-300 kg/m, ballast qatlamining balandligi 0,35 m [4-5].

So'ngra dasturiy majmua yordamida oldindan berilgan deformatsiyali statik masalani yechib  $\epsilon_0$  ko'priki konstruksiyasining kuchlanganlik – deformatsiyalanganlik holati aniqlandi. Ushbu hisob-kitoblarda harorat, materialning qovushoqligi va boshqalarning o'zgarishi tufayli dastlabki kuchlanish qiymatlarining yo'qolishi hisobga olinmaydi [3-5].

Ko'priki masalasining sonli yechimi uning vaqt o'tishi bilan ko'chishining o'zgarishini ko'rsatadi. Harakatlanuvchi to'plangan va taqsimlangan kuch uchun diskretlashda oraliq qurilma har bir turdagi chekli elementning ishini hisobga olgan holda 236 ta chekli elementga ajratildi, tugun nuqtalar soni 120 ta. Armatura chekli elementlarining tugunlari balka neytral o'qining tegishli tugunlari bilan eksentrisitetlar yordamida qattiq birlashtiriladi, shuning uchun chekli elementlar soni tugunlarning umumiy sonidan ko'p bo'ladi. Chekli elementlar xarakteristikalarining turlari – 5 xil turlari tegishli tartib raqamlari orqali berilgan.

Hisoblash jarayonida har bir chekli elementning geometrik va mexanik xususiyatlari alohida aniqlangan. Materiallarning elastiklik moduli va zichligi hisoblarda asosiy parametr sifatida qabul qilinadi. Vaqt bo'yicha integratsiya qilish orqali tizimning dinamik javobi olinadi. Yuklarning harakat tezligi modellashtirishda muhim omil

hisoblanadi. Har bir vaqt bosqichida tugunlardagi siljish qiymatlari aniqlanadi. Olingan natijalar grafik ko'rinishda tahlil qilinadi. Tebranish amplitudalari va chastotalari baholanadi. Hisoblash natijalari ko'priknining real xatti-harakatini aks ettiradi. Modelning aniqligi tanlangan diskretlash darajasiga bog'liq bo'ladi. Chekli elementlar sonining ko'payishi natijalarning aniqligini oshiradi. Shu bilan birga hisoblash vaqti ham ortadi. Armatura va betonning birgalikdagi ishlashi modellashtiriladi. So'nish koeffitsientlari tizimga kiritiladi. Bu tebranishlarning vaqt o'tishi bilan kamayishini ifodalaydi. Chegaraviy shartlar real tayanch sharoitlariga mos tanlanadi. Natijalar o'rtasidagi farqlar tahlil qilinadi. Shu tarzda ishonchli hisoblash natijalariga erishiladi [4-5].

Harakatlanuvchi ossilyator holati uchun diskretlashda har bir turdagi chekli elementning ishini hisobga olgan holda 237 ta chekli element olindi, tugun nuqtalar soni 122 ta. Chekli elementlar xarakteristikalarining turlari – 6 xil turlari tegishli tartib raqamlari orqali berilgan. Eksentritli birkimlar soni 120 ta.

Hisoblashlar Nyumarkning noaniq sxemasi bo'yicha vaqt bo'yicha qadam tanlash bilan harakatlanuvchi yukni modellashtirishning ikkala holati uchun amalga oshirildi. Vaqt bo'yicha qadam yukning harakat tezligiga qarab aniqlandi: 25 m/s tezlikda vaqt bo'yicha qadam 0,008 s; 50 m/s tezlikda vaqt bo'yicha qadam 0,004 s; 75 m/s tezlikda vaqt bo'yicha qadam 0,00267 s; 100 m/s tezlikda vaqt bo'yicha qadam 0,002 s; 200 m/s tezlikda vaqt bo'yicha qadam 0,001 s. Harakatlanuvchi yuk yoki massada masalani koordinata va vaqt bo'yicha diskretlash turli harakat tezliklarida hisoblashlarni amalga oshirishda "parazit tebranishlar" paydo bo'lishiga olib keladi, bu harakatlanuvchi yukning qo'shni tugunga to'satdan o'tishi bilan bog'liq. Agar vaqt bo'yicha qadam shunday tanlansaki, bir qadamda harakatlanuvchi yuk qo'shni tugunga o'tsa, u holda "parazit tebranishlar" yo'qoladi.

#### 1-jadval

##### Uzunligi 23,6 m bo'lgan balka o'rtasining maksimal egilishining o'zgarishi

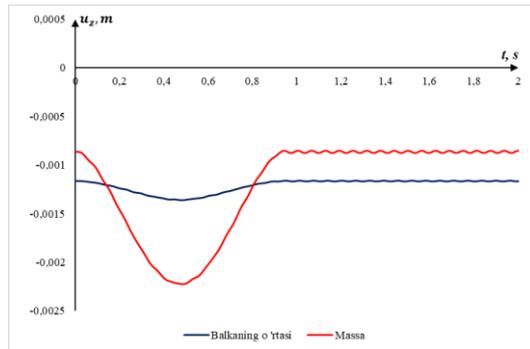
Harakatlanuvchi kuch tezligi	To'plangan kuch bo'lmagan da	25 m/s	50 m/s
Maksimal egilish (m)	-0,001163	-0,001258	0,001260

25 m/s	50 m/s	75 m/s	100 m/s	200 m/s
0,001258	0,001260	0,001262	0,001269	0,001310

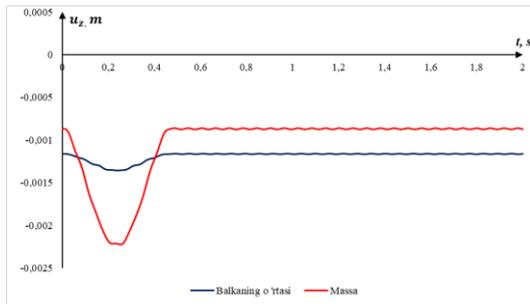
1-jadvalda to'plangan kuchning turli harakat tezliklarida oldindan – zo'riqtirilgan armaturani hisobga olgan holda balka o'rtasining maksimal egilishini hisoblash natijalari keltirilgan. To'plangan vertikal kuchning gorizontaal harakat tezligi ortishi bilan balka o'rtasining maksimal egilishi ortadi.

Balka qo'zg'aluvchan yukni ossilyator ko'rinishida qabul qilganda, ossilyator bikrligining turli qiymatlari uchun hisob-kitoblar o'tkazildi:  $1 \cdot 10^8$  N/m;  $2,5 \cdot 10^8$  N/m;  $5 \cdot 10^8$  N/m;  $7,5 \cdot 10^8$  N/m. Ossilyator bikrligining kattaligi ballastning bikrligidan, shuningdek, g'ildirakning osmaga va osmaning lokomotiv korpusiga birikish bikrligidan iborat bo'lishi mumkin.

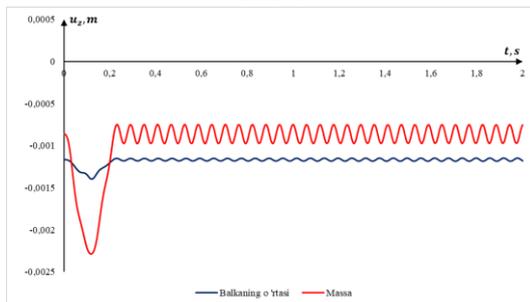




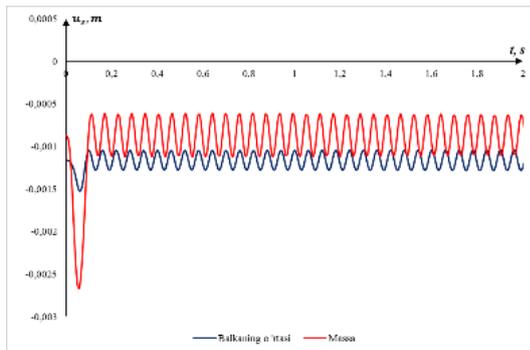
25 m/s



50 m/s



100 m/s



200 m/s

**2-rasm. Ossilyator harakatining turli tezliklarida balka o'rtasining va ossilyator massasining vertikal tebranishlari**

G'ildirakka yaqin joylashgan shpallarga tushadigan yukning taqsimoti [4-5, 16] maqolada keltirilgan. 2-rasmda balka massasi va o'rta nuqtasining turli harakat tezliklarida vertikal tebranishlarining vaqt bo'yicha o'zgarish grafiklari, ossilyator prujinasining bikrligi  $k=1 \cdot 10^8$  N/m keltirilgan. Bu grafiklardan ko'rinib turibdiki, ossilyator balkaning o'rtasiga kelgan vaqtda balka o'rtasining egilishi maksimal bo'ladi, shuningdek, bu vaqtda massaning vertikal harakati o'zining maksimal qiymatiga erishadi. So'ngra, ossilyator balkadan uzoqlashgandan so'ng, ularning birinchi xususiy shakli bo'yicha tebranishlari kuzatiladi [4-5, 17], ularning

amplitudalari ossilyatorning harakat tezligi oshishi bilan kritik tezlikka yetguncha ortadi. Ushbu grafiklar bo'yicha o'lchangan xususiy tebranishlar davri 0,0601 s ga, ossilyatorning bikrligi  $k=1 \cdot 10^8$  N/m bo'lgandagi xususiy tebranishlar davri esa 0,0587 s ga teng.

Balka va ossilyator massalarining berilgan nisbatida ossilyator bikrligining oshishi balka o'rtasining maksimal egilishiga deyarli ta'sir qilmaydi, lekin massaning vertikal tebranishlariga kuchli ta'sir ko'rsatadi. Ossilyatorning gorizontaal harakat tezligini oshirish balka o'rtasining maksimal egilishini oshirishga olib keladi.

### 3. Xulosa

O'tkazilgan ilmiy-tadqiqot ishlari natijalarini umumlashtirgan holda quyidagi xulosalarni bayon etish mumkin. Tadqiqot jarayonida aniqlanishicha, to'plangan vertikal yuk miqdori hamda ossilyatorning gorizontaal yo'nalishdagi harakat tezligi ortib borishi bilan balka o'rtasida yuzaga keladigan maksimal egilish qiymati sezilarli darajada oshadi. Bu holat yukning ta'sirida balka inersiyasining kuchayishi va konstruktsiya elementlarida qo'shimcha dinamik zo'riqishlarning paydo bo'lishi bilan izohlanadi. Natijada balka deformatsiyalanishining intensivligi yuk parametrlari bilan bevosita bog'liq ekanligi tasdiqlandi.

Shuningdek, ossilyatorning bikrligi oshirilganda balka o'rtasidagi maksimal egilish deyarli o'zgarishsiz qoldi. Biroq ushbu parametr ossilyator massasining vertikal tebranish xususiyatlariga sezilarli ta'sir ko'rsatadi, ya'ni, bikrlilik ortishi natijasida massaning tebranish amplitudasi va tebranish chastotasi o'zgaradi, bu esa tizimning umumiy dinamik xatti-harakatiga ta'sir etadi. Bu holat ossilyator parametrlarini tanlashda faqat konstruktsiya egilishigina emas, balki tebranish jarayonlarining barqarorligini ham hisobga olish zarurligini ko'rsatadi.

Bundan tashqari, to'plangan yukning harakat tezligi 50 m/s dan kichik bo'lgan hollarda yukni soddalashtirilgan holda to'plangan kuch sifatida modellashtirish yetarli aniqlikni ta'minlashi aniqlangan. Bunday tezliklarda dinamik effektlar nisbatan kichik bo'lib, soddalashtirilgan model hisoblash jarayonini sezilarli darajada yengillashtiradi. Ammo yukning harakat tezligi 50 m/s dan oshganda, ossilyator modelidan foydalanish zarur bo'ladi, chunki bu holatda yuk va konstruktsiya o'rtasidagi murakkab dinamik o'zaro ta'sirlarni faqat shu model orqali to'liq va ishonchli tavsiflash mumkin. Shu sababli, yuqori tezlikli harakat sharoitlarida aniq va haqiqiy natijalarga erishish uchun ossilyator modeli eng maqbul hisoblanadi.

*Ushbu tadqiqot ishi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Innovatsion rivojlanish agentligining moliyaviy ko'magi asosida bajarilgan (Grant AL-8924063439).*

### Foydalanilgan adabiyotlar / References

[1] Bettinelli L., Glatz B., Stollwitzer A., Fink J. Comparison of different approaches for considering vehicle-bridge-interaction in dynamic calculations of high-speed railway bridges // *Engineering Structures*. 2022. Vol. 270. P. 114897. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.114897>

[2] Мирзаев И., Шермухамедов У.З., Аскаророва Д.С. Влияние податливости основания на сейсмостойкость железнодорожных мостов // *Путевой навигатор*. 2023. №52(82). С. 60-67.



[3] Мирзаев И., Аскарова Д.С. Влияние предварительного напряженного состояния пролетного строения на колебания железобетонного железнодорожного моста во время землетрясения // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. Спецвыпуск, 2024. №4(71). С. 6-14.

[4] Мирзаев И., Аскарова Д.С., Хожаматов С.Ш. Колебания предварительно напряженного пролетного строения железобетонного железнодорожного моста при движении осциллятора // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. Спецвыпуск, 2025. №4(76). С. 33-41.

[5] Mirzayev I., Askarova D.S., Hojxmatov S.Sh. Oldindan zo'riqtirilgan balkaning ossillyator harakatida tebranishi // Железнодорожный транспорт: актуальные вопросы и инновации. 2025. № 2., С. 178-186.

[6] El Amrani A., Mataich H., El Amrani B. Stability of Beam Bridges under Bridge-Vehicle Interaction // WSEAS transactions on applied and theoretical mechanics. 2024. <https://doi.org/10.37394/232011.2024.19.6>

[7] Xie Q., Han W., Yuan, Y. Refined Vehicle-Bridge Interaction Analysis Using Incompatible Solid Finite Element for Evaluating Stresses and Impact Factors // Advances in Civil Engineering. 2020. P. 1-15. <https://doi.org/10.1155/2020/7032460>

[8] Kilikevicius A., Bacinskas D., Selech J., Matijošius J., Kilikeviciene K., Vainorius D., Ulbrich D., Romek D. The Influence of Different Loads on the Footbridge Dynamic Parameters // Mechanical Engineering. 2020. Vol. 12 (4). <https://doi.org/10.3390/sym12040657>

[9] Eshkevari S.S., Matarazzo T.J., Pakzad S.N. Simplified Vehicle-Bridge Interaction for Medium to Long-span Bridges Subject to Random Traffic Load // Journal of Civil Structural Health Monitoring. 2020. Vol. 10. P. 693-707. <https://doi.org/10.1007/s13349-020-00413-4>

[10] Sun Y.Q., Cole C., Spiryagin M., Dhanasekar M. Vertical dynamic interaction of trains and rail steel bridges // Electronic Journal of Structural Engineering. 2013. Vol. 13(1). P. 88-97. <http://dx.doi.org/10.56748/ejse.131641>

[11] Yang Y.B., Yau J.D., Yang Y.B. Vehicle-bridge interaction dynamics: with applications to high-speed railways // World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. ISBN 981-238-847-8, 2004.

[12] Yang Y.B., Lin C.W. Vehicle-bridge interaction dynamics and potential applications // Journal of Sound and

Vibration. 2005. Vol. 284. P. 205-226. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2004.06.032>

[13] Герасимов С.И., Ерофеев В.И., Колесов Д.А., Лисенкова С.И. Динамика деформируемых систем, несущих движущиеся нагрузки (обзор публикаций и диссертационных исследований) // Вестник научно-технического развития. 2021. №160. С. 25-47. <https://doi.org/10.18411/vntr2021-160-3>

[14] Рашидов Т.Р., Кузнецов С.В., Мардонов Б.М., Мирзаев И. Прикладные задачи сейсмодинамики сооружений. Книга 2. Ташкент: Навруз, 2021. 172 с.

[15] Mirzaev I., Askarova D. Spatial oscillations of a railway bridge under the impact of a real earthquake // V Central Asian conference on soil mechanics and geotechnical engineering. 2022. P. 91-95.

[16] Исаков А.Л., Машуков В.И., Корнеев Д.А. Анализ распределения напряжений и деформаций в балластной призме и земляном полотне в окрестности головной части движущегося поезда // Железные и автомобильные дороги в условиях Сибири: Сборник научных трудов. Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2006. 154 с.

[17] Pesterov A.V., Yang B., Bergman L.A., Tan C.A. Revisiting the moving force problem // Journal of Sound and Vibration. 2003. Vol. 261. P. 75-91. [https://doi.org/10.1016/S0022-460X\(02\)00942-2](https://doi.org/10.1016/S0022-460X(02)00942-2)

## Mualliflar to'g'risida ma'lumot / Information about authors

**Mirzayev  
Ibraxim /  
Mirzaev  
Ibrakhim**

f.-m.f.d., professor, Toshkent davlat transport universiteti  
[ibrakhim.mir@mail.ru](mailto:ibrakhim.mir@mail.ru)  
[+998909388017](tel:+998909388017)  
<https://orcid.org/0000-0002-8616-9717>

**Askarova  
Dilbarxon  
Sodirali qizi /  
Askarova  
Dilbarkhon  
Sodirali kizi**

PhD, Toshkent davlat transport universiteti  
[dilbarkhon1120@gmail.com](mailto:dilbarkhon1120@gmail.com)  
[+998977585820](tel:+998977585820)  
<https://orcid.org/0000-0001-7293-5348>



## Methods for determining soil pressure on underground structures under seismic influences

U. Rakhmanov<sup>1</sup><sup>a</sup>, G.B. Ismailova<sup>1</sup><sup>b</sup>

<sup>1</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** This article examines methods for determining soil pressure on underground structures. Five methods for determining ground pressure on underground structures were considered, and the calculation results were compared and presented in the form of graphs. In conclusion, an analysis of the above-mentioned methods for calculating the seismic resistance of underground structures was conducted and their shortcomings were presented.

**Keywords:** Pressure, soil, normal and tangential stresses, seismic impact, seismic waves, prevailing period, quasi-static load, normal tangential stresses, extreme stresses, plane, stress concentrations, wave theory, seismodynamic theory

## Методы определения давления грунта на подземные сооружения при сейсмических воздействиях

Рахманов У.<sup>1</sup><sup>a</sup>, Исмаилова Г.Б.<sup>1</sup><sup>b</sup>

<sup>1</sup>Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

**Аннотация:** В данной статье рассматриваются методы определения давления грунта на подземные сооружения. Рассмотрены пять методов определения давления грунта на подземные сооружения и сопоставлены результаты расчета которые приведены в виде графиков. В заключении произведен анализ рассмотренных выше методов расчета сейсмостойкости подземных сооружений и приведены их недостатки.

**Ключевые слова:** Давление, грунт, нормальные и касательные напряжения, сейсмическому воздействию, сейсмические волны, преобладающий период, квазистатическую нагрузку, нормальные тангенциальные напряжения, экстремальные напряжения, плоскость, концентрации напряжений, волновая теория, сейсмомодинамическая теория

### 1. Введение

Методы определения давления грунта на подземные сооружения разработаны рядом исследователей [1-6], получены формулы для определения нормальных и касательных напряжений, возникающих на контакте в результате взаимодействия крепи с породами. В работе [2] приведен расчет крепи выработки круглого сечения, подвергающегося сейсмическому воздействию методом многослойного кругового кольца. Задача сводится к определению напряжений на контактах слоев, так как, зная эти напряжения, можно произвести расчет каждого слоя.

**Методы определения давления грунта на подземные сооружения.** От очага землетрясения во все стороны распространяются упругие сейсмические волны, среди которых различают продольные  $P_p$  волны и поперечные  $P_5$  волны. Продольные волны характеризуются возникновением в массиве пород чередующихся напряжений растяжения и сжатия, поперечные волны - напряжений сдвига. Скорости распространения продольных и поперечных сейсмических волн отличаются друг от друга и составляют

$$C_p = \sqrt{\frac{E_g}{\gamma} \cdot \frac{1-\mu}{(1+\mu)(1-2\mu)}} \quad (1)$$

$$C_s = \sqrt{\frac{E_g}{2\gamma(1+\mu)}} \quad (2)$$

здесь  $\gamma$  - объемный вес,

$\mu$  - коэффициент Пуассона,

$E$  - модуль упругости,

$g$  - ускорение свободного падения тела.

Для плоских гармонических волн в упругой среде экстремальные значения нормальных и касательных напряжений определяются выражениями

$$\sigma_{\max} = \pm P = \pm \frac{1}{2\pi} \cdot K_c \gamma \cdot C_p T_o, \quad (3)$$

$$\tau_{\max} = \pm Q = \pm \frac{1}{2\pi} \cdot K_c \gamma \cdot C_s T_o, \quad (4)$$

где  $K_c$  - коэффициент сейсмичности, соответствующий баллу землетрясений;

$T_o$  - преобладающий период сейсмических колебаний частиц породы, определяемкй по данным инженерно-сейсмометрической службы, а при отсутствии этих данных принимаемый равным 0,1-1,0 с.

При воздействии упругих волн на подземное сооружение в нем возникает изменяющееся во времени

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0001-9702-0611>

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0002-4454-5147>



напряженное состояние, которое может быть исследовано с помощью решений динамических задач теории упругости. Величина напряжений существенно зависит от соотношения поперечных размеров подземного сооружения и длины волн. При действии плоских гармонических волн в упругой среде, ослабленной отверстием или содержащей включение из другого материала, при длине волн, значительно превосходящих размеры отверстия или включения, распределение напряжений в среде приближается к получаемому из решения статической задачи теории упругости, для упругой плоскости с отверстием или включением, нагруженной на бесконечности напряжениями  $P$ ,  $\lambda P$ , определяемыми соотношениями (3), (4) и

$$\lambda = \frac{\mu}{1-\mu} \quad (5)$$

При длинах волн  $L_3 > 12R$  и  $L_4 > 10R$  ( $R$ -радиус отверстия) максимальные коэффициенты концентраций динамических напряжений на 5-15% больше, чем при статическом нагружении. Это явление называется динамическим выбросом.

При меньших значениях длин волн коэффициенты концентрации динамических напряжений существенно меньше статических.

Решение динамических задач для крепи выработок при действии продольных и поперечных волн произвольного направления, при сейсмических волнах, длина которых не менее, чем втрое, превосходит наибольший поперечный размер выработки сводится к решению квазистатических контактных задач. Общие принципы расчета крепи выработок на сейсмические воздействия при землетрясениях разработаны Н.Н.Фотиевой.

Крепь рассматривается как кольцо заданной толщины и конфигурации в условиях полного контакта с массивом. Задача воздействия упругих волн рассматривается как плоская, т.е. рассматривается распространение сейсмических волн в плоскости поперечного сечения сооружения.

Массив горных пород моделируется линейно-деформируемой средой, механические свойства которой характеризуются средними значениями модуля деформации и коэффициента Пуассона  $\mu$ .

Расчет крепи выработки круглого сечения, подвергающейся сейсмическому воздействию от землетрясения, произведен методом расчета многослойных конструкций. Рассмотрено многослойное упругое кольцо, внешний  $n$ -й слой которого моделирует массив пород, а внутренние  $n$ - многослойную крепь.

В частном случае монолитной бетонной крепи эта схема может быть сведена к двухслойному кольцу. Кроме того, в качестве слоев могут быть выделены области в массиве пород вокруг выработки с отличающимися деформационными характеристиками ( $E$  и  $\mu$ ) вследствие упрочнения пород в результате тампонажа либо вследствие разупрочнения пород под влиянием взрывных работ или деформаций за пределом прочности.

Определим расчетную квазистатическую нагрузку, приложенную к внешнему контуру  $\Gamma = R_n$  многослойного кольца. Примем наиболее неблагоприятный случай, когда сейсмические продольные и поперечные волны достигают выработки одновременно, тогда при направлении действия волн

вдоль оси  $x'$  (рис.1) напряженное состояние массива эквивалентно действию на бесконечности напряжений.

$$\sigma_{x'}^{(\infty)} = \pm P; \quad \sigma_{y'}^{(\infty)} = \pm \lambda P; \quad \tau_{x'y'}^{(\infty)} = \pm Q, \quad (6)$$

где значения  $P$ ,  $Q$  и  $\lambda$ , определены формулами (3), (4), (5).

Учитывая равнозначность радиальных направлений для выработки круглого сечения, определим главные напряжения в массиве пород на бесконечности, пользуясь известными формулами теории напряжений

$$\left. \begin{matrix} \sigma_1 \\ \sigma_3 \end{matrix} \right\} = \pm \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

Подставляя в эти формулы значения (1.6), получим

$$\left. \begin{matrix} \sigma_1^{(\infty)} \\ \sigma_3^{(\infty)} \end{matrix} \right\} = \pm \frac{P}{2(1-\mu)} \left( 1 \pm \sqrt{(3-4\mu)(1-2\mu)} \right) \quad (7)$$

Здесь знак “ $\pm$ ” перед правой частью обозначает действие сжимающих и растягивающих напряжений на бесконечности.

Главные наибольшие напряжения действуют вдоль оси  $x''$ , которая отклонена от оси  $x'$  на угол  $\pm \alpha'$ , определяемый известной зависимостью (рис. 1)

$$2\alpha' = \arctg \left( -\frac{2\tau_{x'y'}}{\sigma_{x'}^{(\infty)} - \sigma_{y'}^{(\infty)}} \right) \quad (8)$$

Главные напряжения в массиве на бесконечности можно представить в виде

$$\left. \begin{matrix} \sigma_1^{(\infty)} \\ \sigma_3^{(\infty)} \end{matrix} \right\} = P_0 \pm P_2, \quad (9)$$

где

$$P_0 = \frac{P}{2(1-\mu)}; \quad P_2 = \frac{P}{2(1-\mu)} \sqrt{(3-4\mu)(1-2\mu)}; \quad (10)$$

Значение  $P$  определено формулой (3).

Переходя от декартовых координат к полярным и направляя ось  $x$  вдоль оси  $x''$  (рис. 1) получим следующее выражение для расчетных напряжений, приложенных к внешнему контуру многослойного кольца.

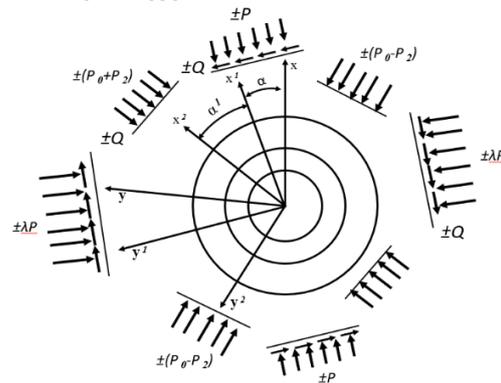


Рис. 1. Расчётная схема выработки круглого сечения

Дальнейший расчет производится в следующем порядке: в начале по нижеследующим формулам

$$K_{0i} = \frac{d_{1(i)}}{d_{2(i)} + x_0(d'_{1(i-1)} - K_{0(i-1)}d'_{2(i-1)})};$$



$$\begin{aligned} K_{11(i)} &= \frac{I}{B} (\beta_1 \alpha'_{1(i)} - \beta_2 \alpha_{1(i)}); \\ K_{12(i)} &= \frac{I}{B} (\beta_2 \alpha_{2(i)} - \beta_1 \alpha'_{2(i)}); \\ K_{21(i)} &= \frac{I}{B} (\alpha_1 \alpha'_{1(i)} - \alpha_2 \alpha_{1(i)}); \\ K_{22(i)} &= \frac{I}{B} (\alpha_2 \alpha'_{2(i)} - \alpha_1 \alpha_{2(i)}); \end{aligned} \quad (12)$$

определяются коэффициенты передачи нагрузок последовательно для всех слоев, начиная со второго изнутри. Затем по формулам

$$\begin{aligned} P_{0(i-1)} &= P_{0i} K_{0(i)}, \\ P_{2(j-1)} &= P_{2(i)} K_{11(i)} + q_{2(i)} K_{12(i)}, \\ q_{2(j-1)} &= P_{2(i-1)} K_{21(i)} + q_{2(i)} K_{22(i)}, \end{aligned} \quad (13)$$

находятся напряжения на контактах слоев.

После проведения вышеуказанных расчетов по нижеследующим формулам при  $\gamma = R_{1-1}$

$$\sigma_\theta = P_{0(i)} m_1 - P_{0(i-1)} m_2 - (P_{2(i)} n_1 - q_{2(i)} n_2 - P_{2(i-1)} n_3 + q_{2(i-1)} n_4) \cos 2\theta; \quad (14)$$

при  $\gamma = R_1$

$$\sigma_\theta = P_{0(i)} m'_1 - P_{0(i-1)} m'_2 - (P_{2(i)} n'_1 - q_{2(i)} n'_2 - P_{2(i-1)} n'_3 + q_{2(i-1)} n'_4) \cos 2\theta; \quad (15)$$

вычисляются нормальные тангенциальные напряжения на внутреннем и внешнем контурах каждого слоя.

Расчетные напряжения в крепи от сейсмических воздействий суммируются с напряжениями от горного давления. Проверка прочности слоев производится по экстремальным значениям напряжений.

Если связь крепи с массивом пород не усилена конструктивно и крепь проектируется с допущением образования трещин, то за расчетные принимаются только сжимающие напряжения  $P^*$ . В противоположном случае необходимо принимать во внимание действие на крепь продольной волны в фазе растяжения и учитывать оба знака напряжений.

Если выработка закреплена монолитной крепью, в расчетной схеме остается всего два слоя (рис.2), при этом расчетные формулы существенно упрощаются.

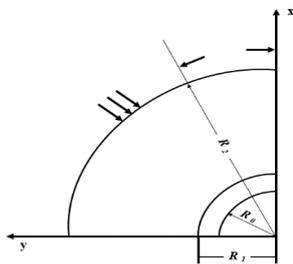


Рис. 2. Схема к расчету монолитной выработки круглого сечения

Коэффициенты передачи нагрузок через внешний слой определяются выражениями при  $\gamma \rightarrow \infty$

$$K_{0(2)} = \frac{a_{1(2)}}{d_{2(2)} + x_0' a'_{1(1)}}, \quad K_{11(2)} = 2 \frac{\beta_1}{B}, \quad K_{21(2)} = 2 \frac{\alpha_1}{B}, \quad (16)$$

где

$$\begin{aligned} B &= \alpha_2 \beta_1 - \alpha_1 \beta_2, \quad \alpha_1 = \frac{1}{x_2+1} (1 + x'' b_{1(1)}), \\ \alpha_2 &= \frac{1}{x_2+1} (x_2 + x'' b'_{1(1)}), \quad \beta_1 = -\frac{1}{x_2+1} (1 - x'' b'_{2(1)}), \end{aligned}$$

$$\beta_2 = \frac{1}{x_2+1} (x_2 + x'' b'_{2(1)}), \quad x'' = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} - \frac{x_1+1}{(c_1^2-1)^3}$$

Поскольку направление сейсмических волн заранее не известно, то необходимо знать экстремальные напряжения в крепи, которые определяются по формулам, следующим из (14) и (15)

при  $\gamma = R_0$

$$\sigma_0 = P_{0(i)} m_1 \pm (P_{2(i)} n_1 - q_{2(i)} n_2); \quad (17)$$

при  $\gamma = R_1$

$$\sigma_0 = P_{0(i)} m'_1 \pm (P_{2(i)} n'_1 - q_{2(i)} n'_2); \quad (18)$$

Выражения множителей  $m_1, m_2, m_3, m_4, n_1, n_2, n_3, n_4, a'_1, b'_1, d, a_1, b_1, d_1$ , и др. приведены в работе [2]. Экстремальные напряжения суммируются с соответствующими расчетными напряжениями от других видов воздействий на крепь.

Полагая, что в неограниченной упругой изотропной плоскости сделано круговое отверстие радиуса  $R$  и в это отверстие вставлено упругое кольцо из другого изотропного материала в [5] определены компоненты напряжений и перемещений в кольце и плоскости. Рассмотрены два варианта вставления кольца:

1 - вставленное кольцо припаяно к окружающему его материалу,

2 - кольцо просто вставлено в отверстие и не припаяно.

Упругая плоскость растягивается усилиями  $q$  вдоль оси  $Oy$  и  $P = \lambda q$  вдоль оси  $Ox$ . Для приведенных выше вариантов получены выражения, определяющие давления материала пластинки на вставленное кольцо.

Давление материала пластинки:

на впаянное упругое кольцо имеет вид

$$\begin{aligned} P &= -(\sigma_r^0)_{r=R_1} = \frac{q\mu_0(1+x)(n^2-1)}{2} P = -(\sigma_r^0)_{r=R_1} = \\ &= \frac{q\mu_0(1+x)(n^2-1)}{2} \left\{ \frac{1+\lambda}{2\mu_1+n^2\mu_1(x_0-1)+2\mu_1(n^2-1)} + \right. \\ &\quad \left. + \frac{1-\lambda}{D} [(\mu_1 - \mu_0)(3n^2 - 1) + (\mu_0 - \mu_1 x_0)(3n^4 - n^6)] \cos 2\theta \right\} \end{aligned} \quad (19)$$

на просто вложенное упругое кольцо

$$\begin{aligned} P &= -(\sigma_r^0)_{r=R_2} \\ &= \frac{q(n^2 - 1)}{2} \left\{ 1 \right. \\ &\quad \left. + 2) \left[ \frac{\mu_0(1 + \lambda)}{2\mu_1 + n^2\mu_1(x_0 - 1) + 2\mu_0(n^2 - 1)} \right] - \right. \\ &\quad \left. \left[ \frac{8\mu_0}{2\mu_1 + n^2\mu_1(x_0 - 1) + 2\mu_0(n^2 - 1)} \cdot \frac{\varepsilon}{q(1 + \lambda)R_2} \right] - \right. \\ &\quad \left. - (1 - \lambda)(n^2 - 1)^3 \frac{6\mu_0(1 + N)}{D_1} - \cos 2\theta \right\}, \end{aligned}$$

(20)

где  $q = \gamma H$  - вес вышележащего грунта,

$n = R_2 / R_1$ ,

$H$  - глубина заложения,

$R_2$  - внешний радиус кольца,

$R_1$  - внутренний радиус кольца,

$\mu_0, \mu_1, x_0, x_1, D, D_1$  - параметры, зависящие от геометрических размеров и упругих характеристик пластинки и кольца.



Нами произведен расчет подземной крепи по методам, приведенным выше и сопоставлены полученные результаты расчета (рис. 3).

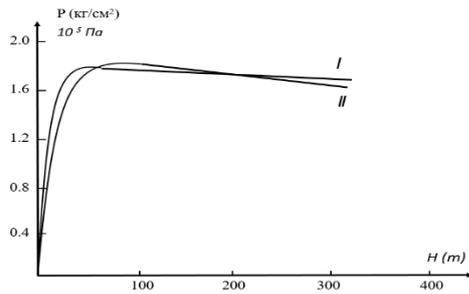


Рис. 3. Изменение давления грунта на трубопровод. 1 - по методу [2], 2 - по методу [5]

Установлено, что на глубине заложения  $H < 200R_2$  полученные результаты немного превышают результаты полученные методом приведенным в [5], максимальное расхождение составляет 10-15%. На глубине заложения  $200R_2 < H < 300R_2$  значения давлений вычисленные по методам [2] и [5] совпадают.

В [3] получены выражения для определения вертикального давления грунта на трубопровод в насыпи:

$$\begin{aligned} G_B &= \gamma D_1 (H + 0,108 D_1), \\ G_{OCH} &= \gamma D_1 (A_1 H - A_2 D_1), \\ G_{ДОП} &= (K_H - 1) \gamma H D_1, \end{aligned} \quad (21)$$

где  $\gamma$  - объемный вес грунта,

$D_1$  - наружный диаметр трубопровода,

$H$  - глубина заложения,

$A_1, A_2$  - параметры, зависящие от коэффициента бокового давления,

$K_H$  - коэффициент концентрации вертикального давления.

Результаты, полученные по формулам (21) были сопоставлены с результатами, полученными экспериментальным методом центрального моделирования [7]. Максимальные значения давления, полученные по выражениям (1.21), на 10-15% превышают значения давлений, полученных экспериментальным методом. Результаты расчета приведены на рисунке 4.

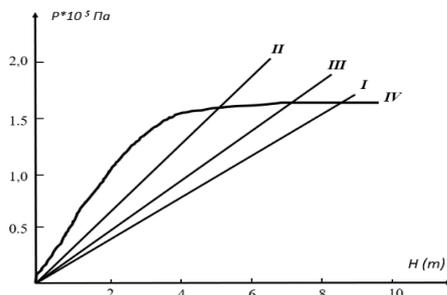


Рис. 4. Изменение давления грунта на трубопровод. I - по формуле  $G = \gamma H$ , II - по методу [3], III - экспериментальным методом - статика IV - экспериментальным методом - динамика

Статическая теория сейсмостойкости подземных сооружений основана на гипотезе жесткого защемления сооружения в грунт. Исходя из условия совместности деформации грунта и сооружения, рекомендованы

формулы для оценки порядка величин сейсмического напряжения, а следовательно, горного давления [1]

$$\sigma = \pm \frac{1}{2\pi} K_c \gamma C_p T. \quad (22)$$

Выражение (22) соответствует случаю, когда сейсмические продольные волны распространяются поперек сооружения.

Формулу (22) получают в том случае, если продольные сейсмические волны распространяются вдоль оси туннеля и в горном массиве возникают продольные сжимающие напряжения.

$$\sigma_x = \frac{q}{2\pi} K_c \frac{1}{C_p} T. \quad (23)$$

При ограниченности боковых деформаций породы сейсмическое горное давление равно

$$P_0 = \pm \frac{v}{1-v} - \frac{1}{2\pi} K_c \gamma C_p T, \quad (24)$$

где  $v$  - коэффициент Пуассона,

$K_c$  - сейсмический коэффициент,

$C_p$  - скорость распространения продольных волн,

$T$  - период колебания почвы.

## 2. Заключение

Существующие методы решения статической теории сейсмостойкости подземных сооружений [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 и др.] не всегда верны, так как занижают или завышают значения напряжений. Анализ рассмотренных выше методов расчета сейсмостойкости подземных сооружений позволяет отметить следующие недостатки:

а) при расчете подземных сооружений на сейсмостойкость в зависимости от грунтовых условий и конструктивных особенностей сооружения статическая теория сейсмостойкости подземных сооружений может быть применена в тех случаях, когда физико-механические свойства сооружения и окружающего его грунта отличаются незначительно;

б) теория определения концентрации напряжений около отверстий удобна для расчета, но не учитывает физическую природу взаимодействия сооружения с грунтом;

в) отсутствует учет пространственной работы сооружения;

г) волновая теория в изучении сейсмостойкости подземных сооружений пока не приводит к желаемым результатам при колебательном процессе самого сооружения, в частности свойств его деформирования;

д) невозможность определения распределения напряжений по толщине сооружения в целях повышения его несущей способности.

В отличие от статической, сейсродинамическая теория сложных систем подземных сооружений находит широкое применение при оценке сеймонапряженного и деформированного состояния подземных трубопроводов, тоннелей, станций метрополитенов и т.п. При изучении различных моделей взаимодействия динамической системы "сооружение-грунт" выявлен ряд закономерностей сейсмических колебаний подземных сооружений, изменение динамических усилий в их элементах в зависимости от сейсмического воздействия, геометрических размеров и физико-механических свойств конструкций и грунта [9, 10-19].

Основываясь на эти закономерности необходимо сформулировать постановку задачи, которая дает возможность определения характера распределения



напряжений по поперечному сечению сооружения в зависимости от сейсмического воздействия, геометрических размеров и физико-механических свойств сооружения и грунта, а также внутреннего давления. Кроме этих факторов, имеет немаловажное значение учет взаимодействия сооружения с грунтом.

## Использованная литература / References

- [1] Напетваридзе Ш.Г. Сейсмостойкость гидротехнических сооружений. М, Госстройиздат, 1959. 216 с.
- [2] Булычев Н.С. Расчет многослойных обделок тоннелей круглого сечения на сейсмические воздействия при землетрясениях //Материалы IV Всесоюзной конференции по динамике оснований, фундаментов и подземных сооружений. Ташкент: Фан. 1977. С.37-40.
- [3] Клейн Г.К. Расчет подземных трубопроводов, уложенных в земле М.: Стройиздат, 1969. 239 с.
- [4] Фотиева Н.Н., Дорман И.Я. Определение напряженного состояния обделки тоннеля кругового очертания от сейсмических воздействий Сейсмостойкость транспортных сооружений, 1975, № 67. С. 107-114.
- [5] Савин Г.Н. Распределение напряжений около отверстий. Киев: Нукова думка, 1968 7 887с.
- [6] Окамото Ш. Сейсмостойкость инженерных сооружений. /Пер. С англ. Л.Ш. Килимника. М.: Стройиздат, 1980. 342с.
- [7] Джурабеков С, Тешабаев З.Р., Юсупов А. Исследование изменения давления грунта на подземные сооружения при динамических воздействиях методом центробежного моделирования. -Иzv. АН УзССР, серия техн. наук, поб, 1983.-С.26-29.
- [8] Бурдзгла Н.А. Метод расчета монолитных обделок тоннелей. М.: Стройиздат, 1968. 223 с.
- [9] Филиппов А.П. Колебания деформируемых систем. /М.: машиностроение, 1970. 734 с.
- [10] Каюмов А. Исследование сейсродинамики сложных систем подземных сооружений с учетом упруго-пластического взаимодействия их с грунтом. /Автореферат дисс. канд. техн. наук. Ташкент, 1979. 19 с.
- [11] Мубаракон Я.Н. Сейсмостойкость подземных сооружений типа оболочки. //Иzv. АН УзССР, сер. техн. наук, 1974, № 2. С.35-39.

[12] Омеляненко В.А. Сейсродинамика сложных систем подземных трубопроводов конечных длин. / Автореферат дисс. канд. техн. наук, Ташкент, 1974. 19с.

[13] Проскура С.Ф. К вопросу сейсродинамических колебаний сложных систем подземных сооружений с нецентральной и неортогональной стыковкой в узлах. /Автореферат дисс. канд. техн. наук. Ташкент, 1978. 19 с.

[14] Рашидов Т.Р., Хожметов Г.Х., Джурабеков С. Исследования взаимодействия труб с окружающим грунтом методом центробежного моделирования. //Вопросы механики. Вып. 12. Ташкент, 1973. С.44-48.

[15] Рашидов Т.Р. и др. Сейсмостойкость тоннельных конструкций метрополитенов М.: Транспорт, 1975. 120 с.

[16] Рашидов Т., Ишанходжаев А.А., Дорман И.Я. Сейсмостойкие конструкции тоннелей метрополитена. М.: Транспорт, 1974. 120с.

[17] Рашидов Т.Р., Сагдиев Х. К вопросу сейсродинамики подземной цилиндрической оболочки. // Изв. АН УзССР, 1981, № 3. С.44-48.

[18] Рашидов Т.Р., Хожметов Г.Х. Сейсмостойкость подземных трубопроводов. Ташкент: Фан, 1985. 151с.

[19] Рахманов У. Изменение давления грунта на подземные сооружения при прохождении сейсмических волн. В кн. Сейсмостойкость зданий и сооружений. Ташкент. Фан. 1986, с.89-92.

## Информация об авторах/ Information about the authors

**Рахманов  
Усаркул**

Ташкентский государственный транспортный университет, Кандидат технических наук, профессор  
Email: [usarkulrahmonov@gmail.com](mailto:usarkulrahmonov@gmail.com)  
Tel.: + 998903580279  
<https://orcid.org/0000-0001-9702-0611>

**Исмаилова  
Гулчехра  
Бакиджановна**

Ташкентский государственный транспортный университет,  
Старший преподаватель  
E-mail: [8299539@inbox.ru](mailto:8299539@inbox.ru)  
<https://orcid.org/0000-0002-4454-5147>



## Methodology for Assessing Embodied Carbon in Bridge Structures

A.B. Karimova<sup>1</sup><sup>a</sup>, M.T. Abdurasulova<sup>1</sup><sup>b</sup>

<sup>1</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** This study introduces a methodology for evaluating the embodied carbon of building materials and structural elements. The approach includes relevant formulas and step-by-step procedures to systematically assess carbon emissions associated with material production and construction processes. While actual numerical results are not presented in this work, the methodology provides a framework for applying these calculations in practice. Operational carbon is not considered in this study but is identified as a topic for future research. Overall, the proposed methodology offers a structured approach to analyzing embodied carbon, supporting further studies and adaptations in construction projects aimed at sustainable development.

**Keywords:** Bridge sustainability, Embodied carbon, Operational carbon, Life Cycle Assessment, Environmental impact, Infrastructure in Uzbekistan

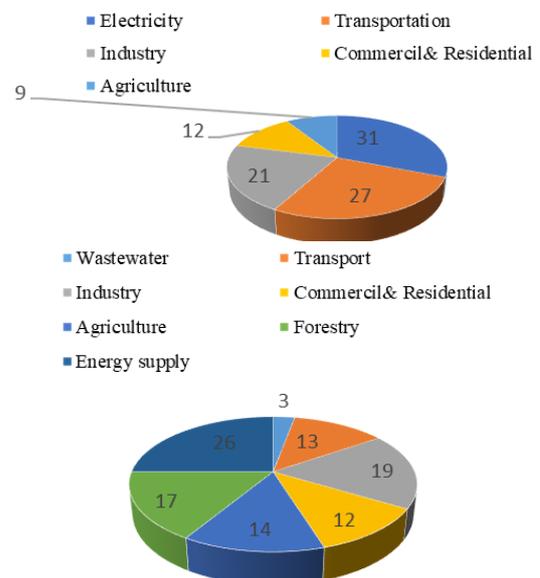
### 1. Introduction

The relationship between humanity and nature has deep and ancient philosophical roots. As expressed in a well-known proverb: “Treat the Earth well: it was not given to you by your parents, it was loaned to you by your children.” This ancient Native American proverb, spoken centuries ago, resonates even more strongly in today’s society. It implies that every action harming the Earth and its natural systems is ultimately an action taken against the future of coming generations. For this reason, growing concern regarding greenhouse gas (GHG) emissions has become an imperative issue for professionals across all disciplines.

On a global scale, GHG emissions are the primary anthropogenic drivers of climate change. According to the United States Environmental Protection Agency (EPA), the transportation sector including road, rail, air, and maritime transport together with buildings accounts for approximately 21% of global GHG emissions. When focusing on developed countries such as the United States, this proportion is even higher: in 2012, the transportation and building sectors represented about 38% of total national emissions, exceeding one third of the overall contribution.

Within the field of civil engineering, the objective is not limited to the development of residential and commercial buildings, but also encompasses critical infrastructure such as roads, bridges, and tunnels. In recent decades, numerous sustainability rating systems and assessment frameworks have been developed to evaluate and improve the environmental performance of buildings. However, in contrast to buildings, infrastructure systems and bridges in particular have received comparatively limited attention in sustainability-related research.

As mentioned previously, several studies and rating systems exist to measure the sustainability of buildings, raising the question of why bridges differ so significantly from buildings in this context.



**Fig. 1. Global Greenhouse Gas Emission by source**

One major distinction lies in the identity of the client. While buildings are most often commissioned by private companies or investors, bridges are typically initiated and funded by governments or public administrations at the municipal, regional, or national level. This difference has direct implications for project budgets, which are generally more constrained in the public sector than in private developments. Furthermore, because bridges serve to shorten travel distances and improve mobility, expectations regarding their environmental performance are often secondary. Bridge users tend to focus more on the financial cost borne by their city, state, or country indirectly funded through taxation than on the sustainability of the structure itself.

In contrast, when private companies develop buildings, obtaining sustainability certifications often enhances corporate image and demonstrates environmental

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0003-4568-4728>



responsibility, which can provide tangible benefits to the company. Another fundamental difference concerns the purpose of the structure. Most buildings are designed primarily for residential or office use, where architectural expression and façade design are secondary to functional requirements. For bridges, the primary objective is to connect different parts of a city or region and to create shorter and more efficient transportation routes. At the same time, bridges play a significant social and cultural role: they reduce travel time, enhance connectivity, and frequently become iconic elements that define the identity of a city, often being perceived as works of engineering art.

Sustainability, as defined by the EPA, is based on the principle that everything necessary for human survival and well-being depends, directly or indirectly, on the natural environment. Similarly, the Brundtland Report defines sustainable development as development that meets present needs without compromising the ability of future generations to meet their own.

In this context, this study aims to address existing gaps in bridge sustainability research by analyzing carbon emissions throughout the bridge life cycle, expanding life cycle cost assessment (LCCA) methodologies to carbon-based evaluations, and contributing to the development of a more comprehensive framework for sustainable bridge design.

Although this study is based on international databases and case studies mainly from European and North American contexts, the proposed methodology is not geographically limited. The framework developed in this research can serve as a foundation for future applications in other regions, including Uzbekistan. By adapting material emission coefficients, traffic data, and maintenance practices to local conditions, this approach could support the assessment of embodied and operational carbon emissions of bridge infrastructure at a national level. Such future applications would contribute to more informed decision-making in infrastructure planning and promote the development of sustainable bridge design practices in Uzbekistan.

## 2. Research methodology

Despite growing interest in sustainable construction, a significant knowledge gap remains in the field of sustainable bridge design. In particular, limited information is available regarding the environmental implications of material selection, structural dimensions, and, most importantly, the maintenance and operational phases of bridges. Existing studies rarely address how maintenance activities affect bridge functionality over time. For instance, during maintenance periods, it is often unclear whether a bridge remains open to traffic, how many lanes remain operational compared to full service conditions, or which alternative routes are implemented when full or partial closures occur. These aspects play a crucial role in understanding the overall sustainability performance of bridge infrastructure.

Current research related to bridge maintenance and operation is predominantly grounded in economic analyses. For certain bridges, Life Cycle Cost Analysis (LCCA) has been applied to evaluate costs associated with traffic flow, toll systems, and other infrastructure-related factors. While LCCA provides valuable insights into economic efficiency, it does not explicitly account for greenhouse gas (GHG) emissions generated during the operation and maintenance phases of a bridge's life cycle. Extending this methodology to incorporate carbon emissions represents a critical research opportunity.

The primary objective of this study is to establish a benchmark for embodied carbon in bridge structures, considering both road bridges and pedestrian bridges. In addition, this research aims to develop an integrated methodology that accounts for maintenance and operational impacts by expanding conventional LCCA frameworks to include carbon-based assessments. By addressing these gaps, this study seeks to support a more comprehensive evaluation of bridge sustainability and contribute to the development of improved strategies for the design and management of sustainable bridge infrastructure.

Sustainability is commonly defined as a fundamental principle recognizing that human survival and well-being are inherently dependent, both directly and indirectly, on the natural environment. According to the United States Environmental Protection Agency (EPA), sustainability involves creating and maintaining conditions in which human societies and natural systems can coexist in a productive and balanced manner, while fulfilling social, economic, and environmental needs for both present and future generations.

This concept is closely aligned with the definition presented in the Brundtland Report, which describes sustainable development as development that satisfies current needs without undermining the capacity of future generations to meet their own. In this sense, sustainability extends beyond immediate outcomes and requires a long-term perspective that accounts for the lasting impacts of human actions.

Sustainable development therefore represents a comprehensive way of thinking, in which the direct and indirect consequences of decisions are carefully considered. These consequences may manifest over short or extended time horizons ranging from months to decades or even centuries yet their existence and influence remain significant. Ensuring that such impacts do not irreversibly damage natural systems is central to the pursuit of sustainable development.

Greenhouse gas (GHG) emissions represent the primary anthropogenic driver of global warming. Among these gases, carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) is the most significant contributor, as shown in Figure 1-6. In addition to CO<sub>2</sub>, other gases such as methane (CH<sub>4</sub>), nitrous oxide (N<sub>2</sub>O), and fluorinated gases also play a role in intensifying climate change and degrading the ozone layer. Although fluorinated gases are released in relatively small quantities, they have a disproportionately high impact on the Earth's climate due to their high Global Warming Potential (GWP) and are therefore classified as High Global Warming Potential gases (EPA, 2012).

■ Methane ■ Nitrous Oxide ■ Fluorinated Gases ■ Carbon dioxide

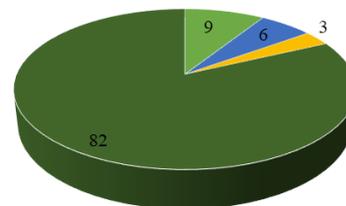


Fig. 2. Greenhouse Gases

Since the Industrial Revolution, the concentration of greenhouse gases in the Earth's atmosphere has increased considerably as a result of various human activities. These activities include energy production, transportation, industrial processes, and construction-related operations. A



summary of the main anthropogenic sources contributing to greenhouse gas emissions is presented in Table 1-1.

**Table 1**  
**Greenhouse Gases Source of Emissions**

Green house Gases	Source
Carbon dioxide CO <sub>2</sub>	Burning fossil fuels
	Burning solid waste
	Burning trees and wood products
	Certain chemical reactions
Methane CH <sub>4</sub>	Production, transport of coal
	Production, transport of natural gas
	Production, transport of oil
	Livestock and other agricultural practice
Nitrous oxide N <sub>2</sub> O	Agricultural and industrial activities
	Combustion of fossils fuels
	Combustion of solid waste
Fluorinated gases	Variety of industrial process

Global Warming Potential (GWP) is an index used to evaluate and compare the capacity of different greenhouse gases to trap heat in the atmosphere over a defined period, typically 100 years. This indicator expresses how much energy a specific gas absorbs relative to carbon dioxide during the same timeframe (EPA, 2012). Carbon dioxide is assigned a GWP value of 1, as it serves as the reference gas for comparison.

Other greenhouse gases exhibit significantly higher GWP values, indicating a stronger warming effect per unit mass. For instance, methane and nitrous oxide have substantially higher GWP values than carbon dioxide, as illustrated in Table 1-2, highlighting their greater contribution to climate change despite lower emission quantities.

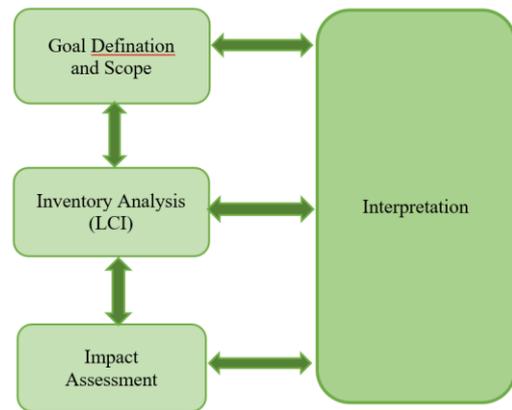
**Table 2**  
**Global Warming Potential of some Greenhouse Gases**

Green house gases	GWP (100 years)
Methance CH <sub>4</sub>	21
Nitrouse oxide N <sub>2</sub> O	310

Life Cycle Assessment (LCA) is a systematic methodology used to assess the environmental impacts associated with a product, process, or system throughout its entire life span, from raw material extraction to end-of-life disposal (UNEP, 1996). This approach enables a comprehensive evaluation of environmental burdens by considering all stages of a product's existence.

As illustrated in Figure 1-7, the LCA framework is structured into four main phases:

1. Goal and Scope Definition, which establishes the purpose of the study, system boundaries, and assumptions;
2. Life Cycle Inventory (LCI), involving the collection and quantification of inputs such as materials and energy, as well as outputs including emissions and waste;
3. Life Cycle Impact Assessment, where the potential environmental impacts are evaluated based on inventory data;
4. Interpretation, which involves analyzing the results, identifying key contributors, and drawing conclusions to support decision-making.



**Fig. 3. Life Cycle assessment Framework**

#### Embodied Carbon

Embodied energy represents the total energy required to produce a material, covering all stages from extraction to final manufacturing (Treloar, 1994). The associated embodied carbon quantifies the greenhouse gas (GHG) emissions resulting from this energy, measured in kilograms of CO<sub>2</sub> equivalent (De Wolf, 2014). In the context of bridges, embodied carbon is primarily considered during the construction phase, reflecting the emissions from material processing, transportation, and assembly. Unlike buildings, where maintenance and end-of-life stages are often included, bridge analysis generally focuses on construction-related emissions.

Operational carbon accounts for GHG emissions occurring throughout the bridge's service life, including maintenance activities and routine operation. Maintenance can temporarily obstruct traffic, causing additional emissions, which are therefore included in the operational carbon assessment. Furthermore, energy consumption from bridge lighting and other electrical systems contributes to operational emissions. Together, embodied and operational carbon provide a comprehensive picture of the bridge's carbon footprint, supporting more informed decisions for sustainable bridge design and management.

This study focuses on a selection of pedestrian and road bridges to analyze their embodied carbon during the construction phase. The same methodology is applied to both types of bridges, ensuring consistency in assessment. The steps of the methodology are as follows:

#### 1. Determining Structural Material Quantities (SMQ)

The first step is to identify the quantities of structural materials used in each bridge. Accurate material quantities are crucial for calculating embodied carbon. While obtaining this data for existing bridges may be challenging, designers and engineers can apply the same approach during the design or immediately after construction. The quantity of structural material  $i$  is denoted as  $SMQ_i$ .

#### 2. Normalizing Material Quantities (NMQ)

To allow comparisons between bridges of different sizes, material quantities are normalized. The normalized quantity of structural material (NMQ <sub>$i$</sub> ) is calculated as the weight of material per unit area of the bridge deck:

$$NMQ_i [kg/m^2] = \frac{SMQ_i [kg]}{Length [m] \times Width [m]}$$

#### 3. Calculating Embodied Carbon (EC)

The embodied carbon of each structural material is calculated by multiplying the normalized material quantity by its embodied carbon coefficient:



$$EC_i [kgCO_2e/m^2] = NMQ_i [kg/m^2] \times ECC_i [kgCO_2e/kg]$$

#### 4. Global Warming Potential of the Bridge (GWP)

Finally, the total embodied carbon or global warming potential of the bridge is calculated as the sum of the embodied carbon of all materials:

### 3. Conclusion

This study presents a methodology for assessing the embodied and operational carbon of pedestrian and road bridges, aiming to establish a benchmark and evaluate their sustainability over the entire life cycle. The methodology consists of three main steps: first, collecting comprehensive data on bridges; second, calculating the embodied carbon based on structural material quantities; and third, adapting a Life Cycle Cost Assessment (LCCA) approach to estimate the operational carbon, including traffic impacts during maintenance and energy use for lighting.

The data collection includes bridge dimensions, material quantities, daily traffic volumes, lighting systems, and toll information. This ensures a thorough understanding of both the construction and operational characteristics of the bridges. Embodied carbon is calculated by normalizing material quantities and applying material-specific carbon coefficients to estimate the total global warming potential (GWP). Operational carbon considers emissions from maintenance, traffic delays, and electricity consumption, capturing both direct and indirect contributions to greenhouse gas emissions.

While actual numerical results are not presented in this study, the proposed methodology provides a structured and repeatable framework for evaluating bridge sustainability. Importantly, this framework can be adapted for Uzbekistan and other Central Asian contexts, taking into account local material production processes, operational practices, and emission factors. Such adaptation would allow more accurate national-level environmental assessments and support sustainable decision-making in bridge design and management.

In summary, this methodology offers a solid basis for designing and assessing sustainable bridge infrastructure, integrating functional, social, and environmental aspects while allowing future research to implement Uzbekistan-specific parameters.

### References

[1] United Nations Environment Programme (UNEP). (1996). Life cycle assessment: What it is and how to do it. Paris: UNEP.

$$GWP [kgCO_2e/m^2] = \sum EC_i [kgCO_2e/m^2]$$

This methodology provides a structured framework for evaluating the environmental impact of bridges during their construction stage and allows comparison across different bridge types.

[2] Hammond, G. P., & Jones, C. I. (2011). Inventory of carbon & energy (ICE). University of Bath, UK.

[3] De Wolf, C. (2014). Material quantities in building structures and their environmental impact. Master's thesis, Massachusetts Institute of Technology.

[4] De Wolf, C., Iuorio, O., & Ochsendorf, J. (2015). Structural material quantities and embodied carbon coefficients: Challenges and opportunities. Journal of Industrial Ecology.

[5] Hunt, L. R. (2004). Development of a rating system for sustainable bridges. Master's thesis, Massachusetts Institute of Technology.

[6] Marzouk, M., Noh, A., & El-Said, M. (2014). Developing green bridge rating system using Simos' procedure. HBRC Journal, 10(3), 209–220.

[7] Santero, N., Loijos, A., Akbarian, M., & Ochsendorf, J. (2011). Methods, impacts, and opportunities in the concrete pavement life cycle. MIT Concrete Sustainability Hub.

[8] Itoh, Y., & Kitagawa, T. (2002). Using CO<sub>2</sub> emission quantities in bridge lifecycle analysis. Japan Society of Civil Engineers.

[9] Yanev, B., & Testa, R. B. (n.d.). Life cycle performance of bridge components in New York City. New York City Department of Transportation.

[10] World Commission on Environment and Development. (1987). Our common future. Oxford University Press.

### Information about the author

**Karimova  
Anora  
Bakhtiyerovna**

Department of "Bridges and Tunnels" of Tashkent State Transport University, (PhD), Associate Professor

E-mail: [anorakarimovabaxtiyorovna@gmail.com](mailto:anorakarimovabaxtiyorovna@gmail.com)

Tel.: +998909904443

<https://orcid.org/0000-0003-4568-4728>

**Abdurasulova  
Marjona  
Tulkin kizi**

Tashkent State Transport University  
Master's degree

e-mail:

[marjonaabdurasulova054@gmail.com](mailto:marjonaabdurasulova054@gmail.com)



## Economic efficiency of implementing modern prefabricated reinforced retaining walls

Kh.U. Urazov<sup>1</sup>  <sup>a</sup>

<sup>1</sup>Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** In this article, the economic efficiency of implementing modern prefabricated reinforced retaining walls is evaluated by comparing the costs associated with the construction and installation of traditionally used retaining walls, as well as the expenses required to eliminate potential shortcomings and problems during their service life. Justifying the efficiency of prefabricated reinforced retaining walls plays an important role in enhancing the technical and economic performance of reinforced concrete highway bridges and overpasses. Replacing traditionally used retaining walls with prefabricated reinforced retaining walls allows for accelerated construction processes, more effective allocation of materials and labor, and reduction of long-term operational costs of the structures.

**Keywords:** Prefabricated panel, bridge approaches, economic efficiency, bridge, overpass, retaining wall, structure, concrete, reinforcement, service life, technical condition

## Zamonaviy yig'ma elementlardan iborat armaturalangan tirkama devorlarni qo'llashning iqtisodiy samaradorligi

O'.X. O'razov<sup>1</sup>  <sup>a</sup>

<sup>1</sup>Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

**Annotatsiya:** Ushbu maqolada Zamonaviy yig'ma elementlardan iborat armaturalangan tirkama devorlarni qo'llashning iqtisodiy samaradorligini baholash uchun an'anaviy foydalanishdagi tirkak devorlarni tayyorlash va montaj qilish bilan bog'liq xarajatlar o'rtasidagi farq hamda foydalanish bilan bog'liq mumkin bo'lgan kamchiliklar va muammolarni bartaraf etish xarajatlar taqqoslanadi. Yig'ma elementlardan iborat armaturalangan tirkama devorlarni qo'llashning samaradorligini asoslash, avtoyo'l temirbeton ko'priklari va yo'l o'tkazgichlarining texnik va iqtisodiy samaradorligini oshirishda muhim rol o'ynaydi. Qurilishda an'anaviy foydalanishdagi tirkak devorlar o'rniga yig'ma elementlardan iborat armaturalangan tirkama devorlarni qo'llash, qurilish jarayonlarini tezlashtirish, materiallar va ishchi kuchini samarali taqsimlash, shuningdek, inshootning uzoq muddatli ekspluatatsiya davridagi xarajatlarni kamaytirish imkonini beradi.

**Kalit so'zlar:** Yig'ma panel, yaqinlashuv ko'tarmalari, iqtisodiy samaradorlik, ko'priklari, yo'l o'tkazgich, tirkak devor, konstruksiya beton armatura ekspluatatsiya, texnik holat

### 1. Kirish

Yig'ma elementlardan iborat armaturalangan tirkama devorlarni qo'llashning samaradorligini asoslash, avtoyo'l temirbeton ko'priklari va yo'l o'tkazgichlarining texnik va iqtisodiy samaradorligini oshirishda muhim rol o'ynaydi. Qurilishda an'anaviy foydalanishdagi tirkak devorlar o'rniga yig'ma elementlardan iborat armaturalangan tirkama devorlarni qo'llash, qurilish jarayonlarini tezlashtirish, materiallar va ishchi kuchini samarali taqsimlash, shuningdek, inshootning uzoq muddatli ekspluatatsiya davridagi xarajatlarni kamaytirish imkonini beradi. Tirkama devorlarining yig'ma elementlardan tashkil etilishi, ko'priklari yaqinlashuv ko'tarmalarining yuk ko'tarish qobiliyatini oshirish va qurilish sifatini ta'minlashda katta ahamiyatga ega. Yig'ma elementlardan iborat armaturalangan tirkama devorlarni avtoyo'l temirbeton ko'priklarda qo'llash samaradorligini asoslash orqali, Respublikamiz ko'priklari qurilishida yangi texnologiyalarni joriy etish, resurslarni tejash va loyiha samaradorligini maksimal darajada oshirishga imkon yaratamiz. Shuning uchun, ushbu

“Avtoyo'l temirbeton ko'priklari yig'ma elementlardan iborat armaturalangan tirkama devorlarni qo'llashning samaradorligini asoslash” deb nomlangan to'rtinchi bobda avtoyo'l temirbeton ko'priklari va yo'l o'tkazgichlarining yaqinlashuv ko'tarmalari konstruksiyalarini takomillashtirish orqali, ularning iqtisodiy samaradorligini oshirish imkoniyatlari ko'rib chiqiladi. Iqtisodiy samaradorlik yoki iqtisodiy tahlil nafaqat ko'priklari va yo'l o'tkazgichlar balki muhandislik qurilishining ixtiyoriy obyektlari qurilishida muhim rol o'ynaydi. Aynan shuning uchun uning ahamiyatini asoslovchi asosiy sabablar va argumentlar keltirilishi kerak bo'ladi.[1].

### 2. Tadqiqot metodikasi

Hozirgi kunda respublikamizda ko'priklari qurilish sohasida ko'priklari yangi turdagi metod va usullardan foydalangan holda ko'priklari qurilmoqda, jumladan monolit usulda qurilgan bir nechta ko'priklarni misol qilib olishimiz mumkin, hamda Avtomobil yo'llaridagi yaqinlashuv

<sup>a</sup>  <https://orcid.org/0000-0002-1289-879X>



ko'tarmalarining tirkak devorlarini keltirishimiz mumkin. Ammo bu zamonaviy metodlar va ularda ishlatiladigan konstruksiyalar qay darajada samaradorligini tekshirish maqsadida ABC4 dasturiy taminoti orqali hisoblab chiqildi. [2]

Qurilishi loyihalananayotgan avtoyo'l ko'priki va yo'lo'tkazgichlarida yig'ma elementlardan iborat armaturalangan tirkama devorlarni qo'llashning iqtisodiy samaradorligini hisoblash uchun quyidagi ma'lumotlar talab qilinadi:

- talab qilingan qurilish materiallari xarajatlari, shu jumladan, ularni saqlash va tashish xarajatlari;

- qurilish materiallarini montaj qilish texnologiyasiga ko'ra talab qilingan mashina-mexanizmlar xarajatlari;

- ishchi kadrlarga bo'lgan ehtiyoj.

Yig'ma elementlardan iborat armaturalangan tirkama devorlarni qo'llashning iqtisodiy samaradorligini baholash uchun an'anaviy foydalanishdagi tirkak devorlarni tayyorlash va montaj qilish bilan bog'liq xarajatlar o'rtasidagi farq hamda foydalanish bilan bog'liq mumkin bo'lgan kamchiliklar va muammolarni bartaraf etish xarajatlari taqqoslanadi.

Yuqorida keltirilgan ma'lumotlar asosida qurilishi loyihalananayotgan avtoyo'l temirbeton ko'priklarida yig'ma elementlardan iborat armaturalangan tirkama devorlarni qo'llashning iqtisodiy samaradorligini ularni barpo etish xarajatlarini taqqoslash orqali aniqlaymiz. Dastlab xar ikki variant uchun (**1-variant**: an'anaviy tirkak devor, **2-variant**: yig'ma elementlardan iborat armaturalangan tirkama devor) tayyorlash xarajatlarini loyihaviy kalkulyatsiya (4.1-jadval) orqali aniqlaymiz va o'zaro taqqoslaymiz (4.1-rasm). Ushbu jarayon 3 bosqichda amalga oshiriladi (beton qorishmasi va armakarkaslarni tayyorlash va umumlashtirish).

**1-bosqich**: Tirkak devor konstruksiyasini tayyorlashda  $1m^3$  beton qorishmasining narxi materiallar, ishchi kuchi va mashina-mexanizmlar uchun sarflangan miqdorlarning umumiy narxlarini yig'indisiga bog'liq holda quyidagicha hisoblanadi:

$$E_{bq} = E_m + E_{ish} + E_{msh} \quad (1)$$

bu yerda:

$E_{bq}$  – tirkak devor konstruksiyasini tayyorlash uchun kerakli beton qorishmasining tayyorlanish miqdori ( $1m^3$  uchun mln. so'mda);

$E_m$  – beton qorishmasini tayyorlash uchun sarflangan material miqdori ( $1m^3$  uchun mln. so'mda);

$E_{ish}$  – beton qorishmasini tayyorlash uchun sarflangan ishchi kuchi miqdori ( $1m^3$  uchun mln. so'mda);

$E_{msh}$  – beton qorishmasini tayyorlash uchun sarflangan mashina-mexanizmlar miqdori ( $1m^3$  uchun mln. so'mda).

Beton qorishmasining material narxi uni tayyorlashda foydalanilgan qurilish materiallar narxlarini (sement, sheben, qum, suv va kimyoviy komponentlar) yig'indisiga bog'liq holda quyidagicha hisoblanadi:

$$E_m = E_s \cdot Q_{s1} + E_{sh} \cdot Q_{sh1} + E_q \cdot Q_{q1} + E_w \cdot Q_{w1} + E_k \cdot Q_{k1} \quad (2)$$

bu yerda:

$E_s, E_{sh}, E_q, E_w, E_k$  – beton qorishmasini tayyorlash uchun sarflangan material miqdori, mos ravishda sement, sheben, qum, suv va kimyoviy komponentlar (bir birligi uchun mln. so'mda);

$Q_{s1}, Q_{sh1}, Q_{q1}, Q_{w1}, Q_{k1}$  –  $1m^3$  beton qorishmasini tayyorlash uchun qurilish materiallariga bo'lgan ehtiyoj, mos ravishda sement, sheben, qum, suv va kimyoviy komponentlar.

Quyidagi formulalar orqali beton qorishmasini tayyorlash uchun sarflangan ishchi kuchi (mehnat sarfi) va mashina-mexanizm xarajatlari aniqlanadi:

$$E_{ish} = E_{ish1} \cdot Q_{ish} \quad (3)$$

bu yerda:

$E_{ish1}$  – mehnatga xaq to'lashning 1 soatlik me'yori, mln. so'mda (Bandlikga ko'maklashish va Qurilish Varizligi qarorlari bilan tartibga solinadi);

$Q_{ish}$  –  $1m^3$  beton qorishmasini tayyorlash uchun ishchi kuchiga bo'lgan ehtiyoj, ishchi-soat.

$$E_{msh} = E_{fy} \cdot Q_{fy1} + E_{bsu} \cdot Q_{bsu1} \quad (4)$$

bu yerda:  $E_{fy}, E_{bsu}$  – old yuklagich va beton zavodining 1 soatlik vaqt me'yori sarfi, mln. so'mda;

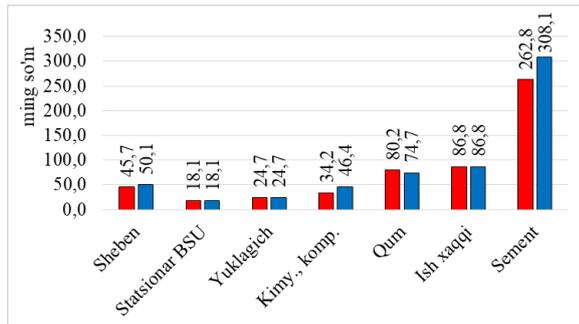
$Q_{fy1}, Q_{bsu1}$  –  $1m^3$  beton qorishmasini tayyorlash uchun old yuklagich va beton zavodiga bo'lgan ehtiyoj, mash-soat. [3].

1-jadval

Tirkak devorlar uchun loyihaviy kalkulyatsiya (beton qorishmasi)

Nomlanishi	Birligi	1 birlik uchun narx, sum	1-variant		2-variant	
			B25 F-200 W-6		B35 F-200 W-6	
			Me'yoriy sarf	Summa	Me'yoriy sarf	Summa
Sement	kg	730.0	360	262800.0	422	308060.0
Qum	m <sup>3</sup>	97600.0	0.822	80227.2	0.765	74664.0
Sheben	m <sup>3</sup>	89450.0	0.511	45708.9	0.560	50092.0
Suv	m <sup>3</sup>	10080.0	0.162	1632.9	0.166	1673.3
Kimyoviy komponent	kg	10000.0	3.42	34200.0	4.64	46400.0
JAMI:			424569,00		480889,30	
Ish xaqqi	ish-soat	28783.10	3,017	86838.61	3,017	86838.61
Yuklagich	mash-soat	143063.0	0,173	24749.9	0,173	24749.9
Statsionar BSU	mash-soat	76850.0	0,236	18136.6	0,236	18136.6
JAMI:			554294,11		610614,41	





**1-rasm. Tirkak devor variantlari uchun material sarfi: qizil rangda an'anaviy tirkak devorlar, ko'k rangda yig'ma elementlardan iborat armaturalangan tirkama devor ko'rsatilgan**

1-rasmdan ko'rishimiz mumkinki an'anaviy tirkak devor uchun loyihaviy beton qorishmasini tayyorlash xarajatlari 0.55 mln. so'mni ( $1m^3$  uchun) va yig'ma elementlardan iborat armaturalangan tirkama devor uchun loyihaviy beton qorishmasini tayyorlash xarajatlari 0.61 mln. so'mni ( $1m^3$  uchun) tashkil qildi.

**2-bosqich:** O'z navbatida ushbu ikki turdagi (*mavjud va taklif qilinayotgan*) tirkak devor armakarkaslarini tayyorlashdan tortib ushbu konstruksiyalarni saqlash omboriga yetkazishgacha muddatda ishchilarning mehnat sarflarini xam hisobga olish lozim bo'ladi.

Buning uchun xar ikkala variantning metal sarfi miqdori aniqlanadi hamda o'zgaruvchilar o'rtasidagi bog'liqlikni aniqlash orqali hisoblanadi. Euklid yoki Pifagor ta'kidlaganidek bu bog'liqlik o'zgarimas munosabatni bildirib bir o'zgaruvchi o'zgariganda boshqa o'zgaruvchi qanday o'zgarishini aniqlash imkonini beradi (2 va 3-jadvallar).

$$Q_{ish} = Q_m \cdot Q_t \quad (5)$$

bu yerda:  $Q_{ish}$  – tirkak devor konstruksiyasini tayyorlashdagi umumiy ish hajmi uchun vaqt sarfi, ishchi-soat;

$Q_m$  – belgilangan ish turini bajarish uchun standartlarda belgilangan vaqt me'yori, bir birlik uchun ishchi-soat;

$Q_t$  – tirkak devor konstruksiyasini tayyorlash uchun ish hajmi (*xar bir ish turi uchun alohida hisoblanadi*).

**2-jadval**

**Ana'naviy foydalanishdagi tirkak devor uchun**

Ish turlarining nomlanishi	Birlik	Ish hajmi	Birlik uchun ishchi-soat	Ish hajmi uchun ishchi-soat
Armaturani mashinadan kran yordamida omborga tushurish	t	0,8990	0,72	0,64728
Armataturalarni omborga tashish, L=50M	t	0,8990	2,76	2,48124
Armataturalarni kesish				
Armatura AI	t	0,0723	1,68	0,121464
Armatura AIII	t	0,8267	2,68	2,215556
Armataturalarni ombordan beton sexiga tashish, L=20M	t	0,8990	1,59	1,42941
Armatura karkas sterjenlarini yig'ish				
Armatura	t	0,8990	31	27,869
Bog'lochi (zakladnoy)	1		0,0087	

qismni karkazga o'rnatish				
Opalubka yuzalarini tozalash	10m <sup>2</sup>	3,1	0,57	1,78752
Metal opalubkani yig'ish	m <sup>2</sup>	31,0	0,22	6,82
Metal opalubkani yechish	m <sup>2</sup>	31,0	0,16	4,96
Armatura karkazini opalubkaga o'rnatish	1 karkas	1,0	0,44	0,44
Opalubkani beton olishga tayyorlash	10 m <sup>2</sup>	3,1	0,46	1,426
Vibratori tayyorlash	1 vib.	1,0	0,16	0,16
Beton qorishmasini kubloga tushirish				
Vibrator yordamida beton qorishmasiga ishlov berish	m <sup>3</sup>	6,9	1,8	12,42
Konstruksiyalarni markirovka qilish	100 harf	0,12	0,47	0,0564
Konstruksiyalarni omborga joylashtirish	10 konst.	0,1	1,2	0,12
Jami:				62,95387

2-jadvalda temirbeton konstruksiyalarni tayyorlash uchun zarur bo'lgan ish turlari va ularning bajarilishi uchun kerakli ishchi-soatlar me'yori ko'rsatilgan. Bunda har bir ish turi uchun kerakli materiallar, uskunalar va ishchi kuchining sarfi, shu jumladan armatura, opalubka yig'ish va beton olish jarayonlari uchun vaqt me'yori keltirilgan bo'lib ana'naviy foydalanishdagi tirkak devor uchun umumiy mehnat sarfi 62.95 soatni tashkil qildi. [3].

**3-jadval**

**Yig'ma elementlardan iborat armaturalangan tirkama devor uchun**

Ish turlarining nomlanishi	Birlik	Ish hajmi	Birlik uchun ishchi-soat	Ish hajmi uchun ishchi-soat
Armaturani mashinadan kran yordamida omborga tushurish	t	0,0107	0,72	0,007704
Armataturalarni omborga tashish, L=50M	t	0,0107	2,76	0,029532
Armataturalarni kesish				
Armatura AI	t		1,68	
Armatura AIII	t	0,0107	2,68	0,028676
Armataturalarni ombordan beton sexiga tashish, L=20M	t	0,0107	1,59	0,017013
Armatura karkas sterjenlarini yig'ish				
Armatura	t	0,0107	31	0,3317
Bog'lochi (zakladnoy) qismni karkazga o'rnatish	1		0,0087	0



Opalubka yuzalarini tozalash	10m <sup>2</sup>	0,5	0,57	0,2907
Metal opalubkani yig'ish	m <sup>2</sup>	5,1	0,22	1,122
Metal opalubkani yechish	m <sup>2</sup>	5,1	0,16	0,816
Armatura karkazini opalubkaga o'rnatish	1 karkas	1,0	0,44	0,44
Opalubkani beton olishga tayyorlash	10 m <sup>2</sup>	0,5	0,46	0,2346
Vibratori tayyorlash	1 vib.	1,0	0,16	0,16
Beton qorishmasini kubloga tushirish				
Vibrator yordamida beton qorishmasiga ishlov berish	m <sup>3</sup>	0,45	1,8	0,81
Konstruksiyalarni markirovka qilish	100 harf	0,12	0,47	0,0564
Konstruksiyalarni omborga joylashtirish	10 konst.	0,1	1,2	0,12
Jami:				4,464325

Yig'ma elementlardan iborat armaturalangan tirkama devor konstruksiyasini tayyorlash uchun umumiy mehnat sarfi 4.3-jadval bo'yicha 4.46 soatni tashkil qildi. Bunda an'anaviy foydalanishdagi tirkak devor konstruksiyasini tayyorlash uchun yig'ma elementlardan iborat armaturalangan tirkama devor konstruksiyasini tayyorlash uchun sarflangan vaqt me'yoriga nisbatan 58.44 (yoki 13.1 barabarga) soatga ko'p vaqt sarflandi. Buni yig'ma elementlardan iborat armaturalangan tirkama devor konstruksiyasini tayyorlash an'anaviy tirkak devor konstruksiyasini tayyorlashga nisbatan kam mehnatligi bilan izohlash mumkin.

**3-bosqich:** Shotland iqtisodchisi, doktor hamda "klassik iqtisodiyot"ning asoschilaridan biri hisoblangan Adam Smith tabiri bilan aytganda loyihaviy kalkulyatsiya bu qurilish yoki boshqa turdagi loyihalarni amalga oshirishdan oldin, narx, vaqt, resurs va boshqa shu kabi muhim parametrlarni hisoblash jarayonidir. U loyiha uchun zarur bo'lgan materiallar, ishchi kuchi, mashina-mexanizmlar va boshqa xarajatlar asosida tuziladi. Loyihaviy kalkulyatsiya loyiha boshqaruvchilariga qarorlar qabul qilishga yordam berishi bilan birgalikda, resurslarni samarali taqsimlash va qurilish jarayonining moliyaviy jihatdan samarali bo'lishini nazorat qiladi. Kalkulyatsiya davomida hisoblangan miqdorlar, ish haqi, materiallar va mashina-mexanizm narxleri loyiha byudjeti va moliyaviy rejalariga asos bo'ladi.

Aynan shuning uchun transport inshootlari qurilishida foydalanish taklif qilinayotgan yig'ma elementlardan iborat armaturalangan va an'anaviy foydalanishdagi tirkak devor konstruksiyalari uchun loyihaviy kalkulyatsiyani tayyorlash uchun proaktiv yondashuv zaruriyatini keltirib chiqaradi (4 va 5-jadvallar).

#### 4-jadval

##### Ana'naviy foydalanishdagi tirkak devor uchun loyihaviy kalkulyatsiya

№	Nomlanishi	Birligi	Miqdori	Narxi	Summa
1	Beton B25 (M-350)	M <sup>3</sup>	6,9	554294,11	3824629,0
2	Armatura A I d=28 MM	kg	41,8	8826,089	368930,5

3	Armatura A I d=32 MM	kg	30,5	8826,089	269195,7
4	Armatura A III d=12 MM	kg	325,1	8826,089	2869362,0
5	Armatura A III d=16 MM	kg	94,5	8826,089	834065,4
6	Armatura A III d=32 MM	kg	407,1	8826,089	3593101,0
7	Armatura Bp I d=5	kg	4,5	10500,00	47250,0
8	Emulsion smazka	litr	0,89	4100,00	3649,0
	JAMI:				11810182,6
	Ish xaqqi	Ish-soat	62,95	28783,10	1811896,15
	JAMI:				13622078,75
	Boshqa turdagi xarajatlar	17,27%			2352533,00
	JAMI:				15974611,75

4-jadvalda tirkak devor uchun loyihaviy kalkulyatsiya uning an'anaviy foydalanishdagi namunasi asosida tayyorlangan bo'lib, materiallar va xarajatlar hisobini ko'rsatadi. Ya'ni, har bir materialning miqdori, narxi va umumiy summasi keltirilgan. Shuningdek, ish haqi va soatlari, boshqa turdagi xarajatlar ham hisobga olingan bo'lib, ana'naviy foydalanishdagi tirkak devor konstruksiyasi uchun loyihaviy narx 15.97 mln. so'mni (I dona konstruksiya uchun) tashkil qildi.

#### 5-jadval

##### Yig'ma elementlardan iborat armaturalangan tirkama devor uchun

№	Nomlanishi	Birligi	Miqdori	Narxi	Summa
1	Beton M-350	M <sup>3</sup>	0,51	554294,11	282689,99
2	ZD	dona	4	65900,00	263600,00
3	Armatura A III d=5 MM	kg	2,76	8826,089	24360,01
4	Armatura A III d=6 MM	kg	2,83	8826,089	24977,83
5	Armatura A III d=8 MM	kg	4,48	8826,089	39540,88
6	Armatura Bp I d=5	kg	0,31	10500,00	3255,00
7	Emulsion smazka	litr	0,42	4100,00	1722,00
	JAMI:				640145,71
	Ish xaqqi	Ish-soat	4,47	28783,10	128660,46
	JAMI:				768806,17
	Boshqa turdagi xarajatlar	17,27%			132772,8256
	JAMI:				901578,9956

Yuqorida keltirilgan 5-jadvalga muvofiq yig'ma elementlardan iborat armaturalangan tirkama devor



konstruksiyasining narxi 0.906 mln. so'mni (1 dona konstruksiya uchun) va an'anaviy foydalanishdagi tirgak devor konstruksiyasi bilan o'zaro tafovut esa 0.901 mln. so'mni (an'anaviy tirgak devor konstruksiyasining o'lchami 7.7x1.48m (11.40m<sup>2</sup>) ni tashkil qiladi, yig'ma elementlardan iborat armaturalangan tirkama devor konstruksiyasining o'lchami 1.5x1.5m (2.25m<sup>2</sup>) ni tashkil qiladi. Shuning uchun ushbu konstruksiyalarni o'zaro taqqoslashda yuzalar o'rtasidagi tafovutni yo'qotish uchun taklif qilinayotgan konstruksiya yuzasini kerakli miqdorga oshiramiz) tashkil qildi. Bunda esa narxlar o'rtasidagi tafovut 11.47 mln. so'mni tashkil qildi.

Ushbu 4, 5-jadvallardan ko'rishimiz mumkinki yig'ma elementlardan foydalanishning an'anaviy metodlarga nisbatan arzonroq ekanligini ko'rsatadi.



2-rasm. Qurilishi loyihalashtirilgan ko'prik yaqinlashuv ko'tarmasi

Ushbu yaqinlashuv ko'tarmasining uzunligi 152.55m, balandliklari mos ravishda h1=1.36 va h2=11.61 va tashish masofasi 1.0km, grunt guruhi II ni tashkil qiladi.

#### 6-jadval

##### Ikki usulni o'zaro iqtisodiy taqqoslanishi

Ishlarning nomlanishi	Moddiy resurslarning sarf miqdori, mln. so'm		Resurs sarfi orasidagi farq, mln so'm
	1-variant	2-variant	
1	2	3	4
<b>Avtomobil temirbeton ko'prik yaqinlashuv ko'tarmasini barpo etish</b>			
Jami bajarilgan ishlar bo'yicha	6 242,997	3 402,927	2 840,070
Ishchilarning mehnat sarfi	986,044	242,910	743,134
Mashina-mexanizm	538,731	142,251	396,480
Material (transport va omborxonalar bilan)	4 718,221	3 017,766	1 700,455
Sug'urta xarajatlar	23,428	12,770	10,658
Boshqa turdagi xarajatlar	1 078,166	587,686	490,480
Jami xarajatlar	7 344,590	4 003,383	3 341,207
Jami xarajatlar (QOS bilan)	8 225,941	4 483,788	3 742,152

Jadvalda agar 1 va 2 – variant resurslari sarfi orasidagi farq musbat bo'lsa, ikkinchi variant arzonroq yoki samaraliroq ekanligini anglatadi. Aksincha, agar farq manfiy bo'lsa, birinchi variant samaraliroq yoki arzonroq bo'lishi mumkin.

$$C_d = \sum C_{x1} - \sum C_{x2} \quad (5)$$

bu yerda:  $C_d$  – iqtisod qilinadigan mablag';

$C_{x1}$  – an'anaviy tirgak devordan foydalanigan xolda ko'tarmani barpo etish sarf xarajatlari;

$C_{x2}$  – yig'ma elementlardan iborat armaturalangan tirkama devordan foydalanigan xolda ko'tarmani barpo etish sarf xarajatlari.

$$\sum C_{x1} = C_{n1} \cdot k_1 \quad (6)$$

$$C_{n1} = C_{ish1} + C_{mm1} + C_{m1} \cdot k_2 \quad (7)$$

$$\sum C_{x2} = C_{n2} \cdot k_1 \quad (8)$$

Agar yig'ma elementlarning ishlab chiqarish va montaj qilish jarayonidagi yuqori samaradorligi (*material va mehnat resurslarining kam sarfliligi*) ham e'tiborga olinsa ushbu turdagi konstruksiyalardan keng ko'lamda foydalanish yanada dolzarb ahamiyat kasb etadi. Buning uchun avtomobil temirbeton ko'prik yaqinlashuv ko'tarmasini barpo etishda xar ikki turdagi tirgak devor konstruksiyalarini qo'llash va ularning iqtisodiy samaradorligini aniqlash lozim. Quyida ABC4 dasturiy ta'minoti yordamida 152.55m uzunlikdagi avtomobil temirbeton ko'prik yaqinlashuv ko'tarmasi (2-rasm) uchun loyihaviy smeta tuzamiz (6-jadval).

$$C_{n2} = C_{ish2} + C_{mm2} + C_{m2} \cdot k_2 \quad (9)$$

bu yerda:  $k_1$  – sarf xarajatlarining umumiy qiymatiga nisbatan olinadigan koeffitsient;

$k_2$  – materiallarni saqlash va tashish xarajatlarini inobatga oluvchi koeffitsient;

$C_{n1}$  – mavjud usuldagi jami to'g'ridan to'g'ri xarajatlar;

$C_{n2}$  – taklif etilayotgan usuldagi jami to'g'ridan to'g'ri xarajatlar;

$C_{ish1}, C_{ish2}$  – ishchilarning mehnat sarfi xarajatlari;

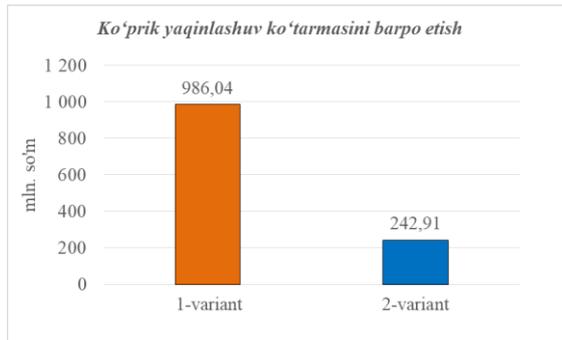
$C_{mm1}, C_{mm2}$  – mashina mexanizm sarf xarajatlari;

$C_{m1}, C_{m2}$  – materiallar sarf xarajatlari.

Yuk ko'tarish qobiliyatini oshirishning mavjud va taklif etilayotgan usullarini iqtisodiy jixatdan samaradorligini o'zaro solishtirib baholash uchun biz ABC4 dasturiy ta'minotidan foydalangan holda har ikki usul uchun ham loyiha-smeta hujjatlarini ishlab chiqildi (Ilovalar). Bunda jami bajarilgan ishlarni hisoblashda ishchilarning mehnat sarfi, mashina-mexanizm va material sarflari inobatga olingan. Shuningdek, ta'mirlash ishlarida ichki tashishlarni amalga oshirish uchun transport xarajatlari, qurilish materiallarni saqlash uchun omborxonalar va boshqa turdagi xarajatlar ham hisoblangan (4.6-jadval). Ushbu jadvallarda respublikada loyihalani qurilayotgan II-toifali avtomobil yo'llaridagi ko'prik inshootlari misolida hisoblangan. [4]

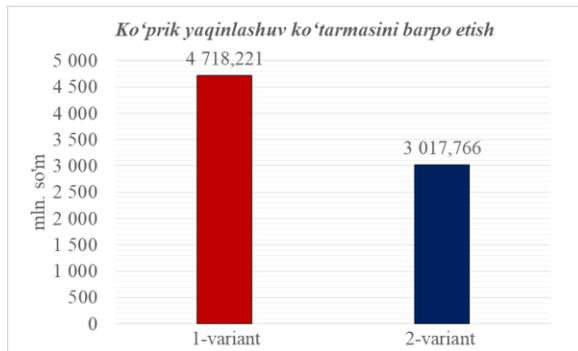
Quyida keltirilgan 4.3-4.5-rasmlarda loyihalani qurilayotgan avtoyo'l temirbeton ko'prik va yo'lo'tkazgichlarining yaqinlashuv ko'tarmasini barpo etishda, amaliyotda mavjud va taklif etilayotgan usullarning moddiy kapital boyliklarning sarf miqdorlari va erishilishi prognozlashtirilayotgan iqtisodiy samaradorliklar natijalari, jumladan ishchilarning mehnat sarf xarajatlari, materiallar va mashina mexanizmlar sarf xarajatlarining o'sish dinamikasi ko'rsatilgan.



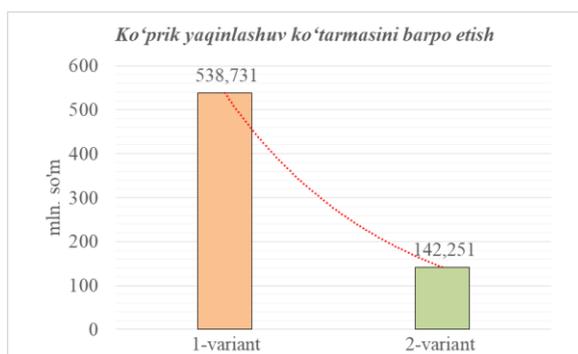


**3-rasm. Avtoyo'l temirbeton ko'priq yaqinlashuv ko'tarmasini barpo etishda ishchilarning mehnat sarf xarajatlarining o'sish dinamikasi; 1-variant: an'anaviy tirgak devorlar uchun, 2-variant: yig'ma elementlardan iborat armaturalangan tirkama devorlar uchun**

Yuqoridagi grafikdan ko'rishimiz mumkinki, muallif tomonidan taklif etilayotgan usul yordamida yaqinlashuv ko'tarmalarida yig'ma elementlardan iborat armaturalangan tirkama devor konstruksiyalarini qo'llash orqali erishiladigan *iqtisodiy samaradorlik* – ko'tarma uchun ishchilarning mehnat sarfi hisobidan 743.13 mln. so'mni tashkil qilmoqda.



**4-rasm. Avtoyo'l temirbeton ko'priq yaqinlashuv ko'tarmasini barpo etishda materiallar sarf xarajatlarining o'sish dinamikasi; 1-variant: an'anaviy tirgak devorlar uchun, 2-variant: yig'ma elementlardan iborat armaturalangan tirkama devorlar uchun**



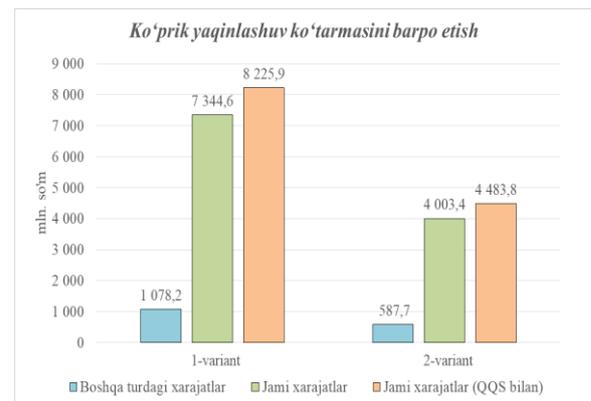
**5-rasm. Avtoyo'l temirbeton ko'priq yaqinlashuv ko'tarmasini barpo etishda mashina mexanizmlar sarf xarajatlarining o'sish dinamikasi; 1-variant: an'anaviy tirgak devorlar uchun, 2-variant: yig'ma elementlardan iborat armaturalangan tirkama devorlar uchun**

Materiallar va mashina - mexanizmlarning sarfi miqdori hisobidan erishiladigan iqtisodiy samaradorlik, ko'tarma uchun mos ravishda 1700,46 va 396,48 mln. so'mni tashkil qildi. Bunda ko'tarmani yig'ma elementlardan iborat

armaturalangan tirkama devorlar yordamida barpo etilgan hisobiga material va mashina-mexanizmlar uchun sarf xarajatlarni ish turlariga mos ravishda 1.56 barobardan 3.79 barobargacha iqtisod qilishga erishish mumkin.

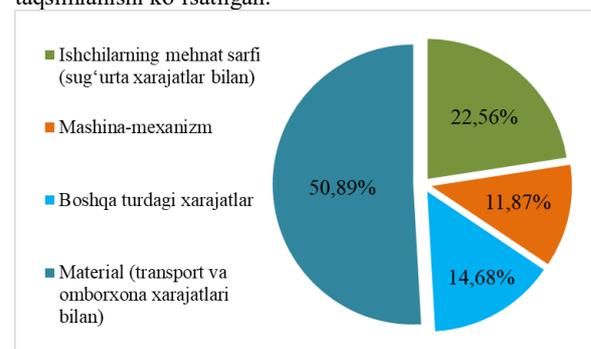
Quyidagi 6-rasmda esa ko'priq inshooti yaqinlashuv ko'tarmasini barpo etishdagi (*taqqoslanayotgan xar ikki usuldagi*) moddiy resurslarning umumiy sarf miqdori o'zgarishi dinamikasi keltirilgan.

Avtoyo'l temirbeton ko'priq inshooti yaqinlashuv ko'tarmasini barpo etishdagi qurilish tashkilotining boshqa turdagi xarajatlar taqqoslanayotgan usullar uchun mos ravishda 1078,2 va 587,7 mln. so'mmi, jami umumiy xarajatlar 7 344,6 va 4 003,4 mln. so'mni tashkil qildi. Ushbu jami umumiy xarajatlar esa o'z navbatida qo'shilgan qiymat soliq hisobiga 8 225,9 va 4 483,8 mln. so'mgacha o'smoqda.



**6-rasm. Avtoyo'l temirbeton ko'priq yaqinlashuv ko'tarmasini barpo etishda umumiy sarf xarajatlarining o'sish dinamikasi**

7-rasmda avtoyo'l temirbeton ko'priq yaqinlashuv ko'tarmasini yig'ma elementlardan iborat armaturalangan tirkama devorlar yordamida barpo etishda iqtisod qilinadigan moddiy resurslarning ish turlariga nisbatan taqsimlanishi ko'rsatilgan.



**7-rasm. Ko'priq yaqinlashuv ko'tarmasini yig'ma elementlardan iborat armaturalangan tirkama devorlar yordamida barpo etishda iqtisod qilinadigan moddiy resurslarning taqsimlanishi**

### 3. Xulosa

Yuqorida keltirilgan jadval va rasmlardan ko'rishimiz mumkinki, qurilishi loyihalanaotgan avtoyo'l ko'priq va yo'lo'tkazgichlarning yaqinlashuv ko'tarmalarini ularda yig'ma elementlardan iborat armaturalangan tirkama devor konstruksiyalarini qo'llash orqali quyidagicha iqtisodiy samaradorlikga erishishimiz mumkin:

ishchilarning mehnat sarfi hisobidan 743134470.0



soʻmgacha;  
 mashina mexanizmlar sarfi hisobidan 396480160.0  
 soʻmgacha;  
 qurilish materiallari (transport va omborxonalar xarajatlari bilan) sarf xarajatlari hisobidan 1700454680.0 soʻmgacha;  
 sugʻurta xarajatlari hisobidan 10657760.0 soʻmgacha;  
 qurilish tashkilotining boshqa xarajatlari hisobidan 490480020.0 soʻmgacha;  
 qoʻshilgan qiymat soliq hisobidan 400944890.0 soʻmgacha.  
 Shuningdek, avtoyoʻl koʻpriklarining yaqinlashuv koʻtarmalarini barpo etish uchun sarflanadigan qurilish montaj ishlarining muddatlari ham sezilarli darajada qisqarishi mumkin.

## Foydalanilgan adabiyotlar / References

- [1] Oʻzbekiston Respublikasi Prezidentining 04.10.2017 y. PQ-3309 Qarori. “Avtomobil yoʻllari koʻpriklarini, yoʻl oʻtkazgichlar va boshqa sunʼiy inshootlarni qurish hamda foydalanishni tashkil etish tizimini takomillashtirish toʻgʻrisida”.
- [2] Основания, фундаменты и подземные сооружения: справочник проектировщика / под ред. Е.А. Сорочана, Ю.Г. Трофименко. М.: Стройиздат, 1985. 479 с.

[3] Проектирование опорных стен и стен подвалов: справочное пособие к СНиП/ Центр. н.-я. я проектирую. ин-т пром. здани и сооружени.М.:Стройиздат, 1990–101 с.

[4] Абдураимов У.К., Уразов Х. У., Зокиров Ж.Ж., Алимухамедов Ж.М. (2023). The ТРЕБОВАНИЯ К КОНСТРУКЦИЯМ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНО В РАЙОНАХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЕСКОВ. Innovative Technologies in Construction Scientific Journal, 1(1). Retrieved from <https://inntechcon.uz/index.php/current/article/view/9>

[5] 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.

## Muallif toʻgʻrisida maʼlumot / Information about author

**Urazov Xumoyun**  
**Oʻtkir oʻgʻli /**  
**Urazov**  
**Khumayun**

Toshkent davlat transport universiteti  
 “Koʻpriklar va tonnellar” kafedrası  
 tayanch doktoranti, assistent  
 Tel.: +998 94 343 90 26  
<https://orcid.org/0000-0003-3594-5170>



## Assessment of the block strength of dispersely-armonized basalt fiber, complex-modified small-grain fiber concrete

Makhamataliyev I.M.<sup>1</sup>, Soy V.M.<sup>1</sup>, Mukhammadiev N.R.<sup>1</sup><sup>a</sup>, Malikov G.B.<sup>1</sup><sup>b</sup>

<sup>1</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** The article presents the results of a study on the impact strength of fibroconcrete with basalt fiber obtained on the basis of a complexly modified ash aggregate and "POLIMIX" superplasticizer cement binder. Based on the conducted experimental studies, it was established that during the volumetric hardening of fine-grained concrete with basalt fiber, as well as the complex modification of the cement matrix of basalt fiber concrete with ash filler and "POLIMIX" superplasticizer, an ultra-strong surface layer is formed in the composite, which creates a monolithic mineral enclosure, significantly improving all the physical and mechanical properties of the material.

**Keywords:** concrete, strength, stability, corrosion, elasticity modulus, fine-grained concrete, alkali resistance and acid resistance

## Оценка ударной прочности дисперсно-армированного базальтовым волокном комплексно-модифицированного мелкозернистого фибробетона

Махаматалиев И.М.<sup>1</sup>, Цой В.М.<sup>1</sup>, Мухаммадиев Н.Р.<sup>1</sup><sup>a</sup>, Маликов Г.Б.<sup>1</sup><sup>b</sup>

<sup>1</sup>Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

**Аннотация:** В статье приведены результаты исследования ударной прочности фибробетона с базальтовой фиброй, полученного на основе комплексно модифицированного зольным наполнителем и суперпластификатором «POLIMIX» цементного вяжущего. На основании проведения экспериментальных исследований установлено, что при объемном упрочнении мелкозернистого бетона базальтовым фиброволокном, а также комплексной модификации цементной матрицы базальтофибробетона зольным наполнителем и суперпластификатором «POLIMIX» в композите образуется сверхпрочный поверхностный слой, который создает монолитную минеральную оболочку, значительно повышающую все физико-механические показатели материала.

**Ключевые слова:** бетон, прочность, устойчивость, коррозия, модуль упругости, мелкозернистый бетон, щелочестойкость и кислотостойкость

### 1. Введение

В современном производстве цементных бетонов для повышения их качества, а также улучшения ряда важных их свойств активно применяется дисперсное армирование с использованием фиброволокон из различных материалов [1,7,9,10]. Введение фибры в состав бетона положительно влияет на показатели предела прочности при растяжении, ударной вязкости, а также повышает трещиностойкость и износостойкость материала. Применение такого вида армирования обладает высокой экономической целесообразностью, поскольку стоимость волокон значительно ниже, чем стоимость традиционной стержневой стальной арматуры [2,9,10]. Применение дисперсного армирования для высокопрочных бетонов представляет интерес при условии неизменности или улучшения их технологических свойств. Известно отрицательное влияние дисперсного армирования бетонов на реологические и технологические свойства бетонов. При этом следует иметь в виду, что дисперсное армирование производится именно на уровне

цементного теста. В настоящее время все более широкое применение находят методы значительного повышения рабочих характеристик и эксплуатационного ресурса бетонных конструкций за счет применения базальтофибробетона – бетона с добавлением базальтовых волокон (фибры) [5-7,12,13].

Анализ. Исследования влияния базальтового фиброволокна на физико-механические свойства мелкозернистого бетона представляют большой интерес при изготовлении конструкций из него. Важными показателями здесь являются такие прочностные характеристики, как прочность на сжатие и растяжение при изгибе. Однако не менее важным показателем физико-механических свойств бетонов, предназначенных для изготовления строительных конструкций является и ударная прочность. Примерами конструкций, подвергающихся ударам, могут служить бетонные сваи, полы промышленных зданий из бетона, на которые мостовым краном регулярно сбрасываются тяжелые грузы, бетонные дамбы, подвергающиеся

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0009-0004-2390-6961>

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0003-3691-1079>



ударам морских волн с камнями и галькой, фундаменты, испытывающие вибрации, которые представляют собой по сути дела серии кратких ударов, бетонные пирсы, по которым ударяют пристающие суда [5-7,9,10].

Ударная прочность (сопротивление удару) – это свойство материала сопротивляться разрушению при ударных нагрузках. Она характеризуется количеством работы, затраченной на разрушение стандартного образца, отнесенной к единице объема или площади поперечного сечения. Другими словами, ударная нагрузка характеризуется удельной работой, затрачиваемой на разрушение бетона, то есть работой, отнесенной к единице объема. Берем объем, а не площадь поперечного сечения из-за того, что на практике имеем дело с объемными железобетонными конструкциями.

Необходимо отметить, что проведенный анализ существующих методов оценки ударной прочности высокопрочных бетонов показал полное отсутствие необходимых в данном случае нормативных документов. Выполненный анализ литературных источников показал, что существует не стандартизированная методика испытания на удар бетона, приведенная в [11]. Это обстоятельство можно объяснить тем, что ранее оценке ударной прочности бетонов не уделялась достаточно серьезного внимания, ограничиваясь оценкой других прочностных свойств композита. С ужесточением требований к конечникам свайных фундаментов, актуальным стал вопрос оценки сопротивляемости бетонов и ударным воздействиям. Учитывая вышеизложенное коллективом учёных-материаловедов Ташкентского государственного транспортного университета были выполнены экспериментальные исследования по оценке ударной прочности фибробетона с базальтовой фиброй, полученного на основе комплексно модифицированного зольным наполнителем и суперпластификатором «POLIMIX» цементного вяжущего.

## 2. Методология исследования

В соответствии с задачей исследования были проведены экспериментальные испытания ударной прочности (сопротивления удару) обычного (контрольный состав), комплексно-модифицированного (состав по аналогу) мелкозернистого бетонов, а также разработанного комплексно-модифицированного мелкозернистого базальтофибробетона (запатентованный состав). Как известно, этот показатель играет значительную роль и в процессе эксплуатации материалов в конструкциях, подвергающимся динамическим воздействиям, например, при расчете на действие ударной циклической нагрузки от транспорта. Испытания ударной прочности бетонов производились по методике, изложенной в [11]. Испытание на удар выполнялось на копре Педжа, который является наиболее распространенным среди существующих копров для высокопрочных бетонов (рис. 1).



Рис. 1. Копер Педжа

Копр состоит из массивной опоры массой около 50 кг, служащей также наковальней, и двух направляющих стержней. На нем испытывались образцы в виде цилиндров с диаметром и высотой равными 25 мм. На наковальне устанавливался экспериментальный образец. По направляющим стержням передвигался стальной молот массой 2 кг. Удар молота по образцу производился через подбоек со сферической поверхностью, чтобы удар передавался строго в центр верхней грани образца. Первый удар наносился молотком, падающим с высоты 1 см, второй – с высоты 2 см, третий – с высоты 3 см и так далее до разрушения образца, то есть до появления первой трещины.

Показателем сопротивляемости бетонного образца удару служит порядковый номер удара, предшествующий разрушению образца. Ударная прочность бетона вычисляется как среднее арифметическое результатов испытаний трех образцов по следующей формуле:

$$R_{\text{уд}} = \frac{A}{V} = \frac{[1 + 2 + 3 + \dots + (n-1)]m \cdot 9,81}{V}$$

где  $n$  – порядковый номер удара, разрушившего образец, т.е. высота падения груза, см;  $(n-1)$  – порядковый номер удара, предшествующий разрушению;  $A$  – количество работы, затраченной на разрушение стандартного образца, Дж;  $m$  – масса стального молота, кг;  $V$  – объем образца, см<sup>3</sup>.

За результат испытаний принимают среднее арифметическое значение ударной прочности трех образцов.

## 3. Результаты исследования

Для определения ударной прочности бетонов испытанию подвергались образцы-цилиндры размером  $d=2,5$  см и  $h=2,5$  см, в возрасте 28 суток нормального твердения, полученных из бетонных смесей различного количественного и качественного составов по контрольному составу, составам по прототипу и патенту на изобретение. В экспериментальных исследованиях были использованы: портландцемент марки ЦЕМ0 32.5Н производства ОАО «Ахангаранцемент» (ГОСТ 31108-2020), мелкий заполнитель – речной кварцевый песок Майского карьера с модулем крупности  $M_{\text{кр}}=0,68$  и средней плотностью  $\sim 2000$  кг/м<sup>3</sup> (ГОСТ 26633-2012), базальтовая фибра диаметром 13-17 мкм и длиной 6-12 мм производства СП ООО «MEGA INVEST INDUSTRIAL» (Джизакская обл.), зола-уноса Ангренской ТЭС с удельной поверхностью  $S_{\text{уд}}=4000$  см<sup>2</sup>/г, поликарбосилатный суперпластификатор «POLIMIX» производства компании «ARMEN CONSTRUCTION CHEMICAL» (Ташкентская обл.), представляющий собой жидкость коричневого цвета плотностью  $1,06 \pm 0,02$  г/см<sup>3</sup>. Образцы испытывались на ударную прочность при сжатии в 28-суточном возрасте после нормального твердения согласно вышеуказанной методике.

Составы бетонных смесей по прототипу и заявке приведены в таблице 1.



**Таблица 1**  
**Составы бетонных смесей по прототипу и заявке**

Составы бетонной смеси	Соотношение компонентов смеси, масс, %		
	1	2	3
По прототипу [12]			
Портландцемент	28	29	30
Кварцевый песок	56	58	60
Базальтовая фибра диаметром 13-17 мкм и длиной 6-12 мм	0,05	0,09	0,18
Сульфонафталинформальдегидный суперпластификатор «Полипласт СП-4»	0,12	0,15	0,18
Вода	15,83	12,76	9,64
По патенту на изобретение [13]			
Составы бетонной смеси	4	5	6
Портландцемент	25,2	26,1	27
Кварцевый песок	57,59	61,90	60,89
Базальтовая фибра диаметром 13-17 мкм и длиной 6-12 мм	0,05	0,09	0,18
Зола-уноса Ангренской ТЭС	2,8	2,9	3,0
Поликарбосилатный суперпластификатор «POLIMIX»	0,12	0,15	0,18
Вода	14,24	11,47	8,75

Полученные результаты исследований ударной прочности мелкозернистых бетонов различных составов, представлены в табл. 2.

**Таблица 2**  
**Результаты испытаний ударной прочности мелкозернистых бетонов различного состава**

№ образца	Масса образца, кг	Размеры, см		Площадь, см <sup>2</sup>	Объем образца, см <sup>3</sup>	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Порядковый номер удара, разрушившего образец	Ударная прочность, Дж/см <sup>2</sup>	Среднее
		диаметр	высота						
Контрольный состав									
1	29,60	2,50	2,51	4,91	12,32	2,403	6	0,33	0,34
2	29,81	2,51	2,50	4,95	12,38	2,408	6	0,34	
3	29,39	2,49	2,51	4,87	12,22	2,405	6	0,35	
Состав по прототипу									
4	29,59	2,49	2,50	4,87	12,18	2,429	12	1,66	1,65
5	29,73	2,50	2,50	4,91	12,28	2,421	12	1,64	
6	29,82	2,50	2,50	4,91	12,28	2,428	12	1,65	
Состав по патенту на изобретение									
7	29,59	2,49	2,50	4,87	12,18	2,429	13	1,97	1,98
8	29,73	2,50	2,50	4,91	12,28	2,421	13	1,98	
9	29,82	2,50	2,50	4,91	12,28	2,428	13	1,99	

Результаты экспериментальных испытаний показали, что фактическая ударная прочность дисперсно-армированного базальтовой фиброй комплексно модифицированного мелкозернистого базальтофибробетона по прототипу в возрасте 28 суток нормального твердения составляет 1,65 Дж/см<sup>3</sup>, что соответствует фактическому повышению в 4,8 раза по сравнению с обычным мелкозернистым бетоном класса В30. Второй цикл экспериментальных испытаний показал, что фактическая ударная прочность дисперсно-армированного базальтовой фиброй комплексно модифицированного мелкозернистого

базальтофибробетона по патенту на изобретение в возрасте 28 суток нормального твердения составляет 1,98 Дж/см<sup>3</sup>, что соответствует фактическому повышению в 5,8 раза по сравнению с обычным мелкозернистым бетоном класса В30 и на 21% по сравнению с мелкозернистым базальтофибробетоном полученному по прототипу. Такое высокое повышение ударной прочности базальтофибробетона подтверждает теоретические прогнозы о повышении ударопрочных свойств бетона за счет модифицирования дисперсно-волоконными наполнителями.

## 4. Заключение

1) Приведены методика и результаты экспериментальных испытаний ударной прочности мелкозернистого базальтофибробетона, комплексно модифицированного зольным наполнителем и суперпластификатором «POLIMIX». 2) Ударная прочность дисперсно-армированного базальтовой фиброй комплексно модифицированного мелкозернистого базальтофибробетона по прототипу в возрасте 28 суток нормального твердения составляет 1,65 Дж/см<sup>3</sup>, что соответствует фактическому повышению в 4,8 раза по сравнению с обычным мелкозернистым бетоном класса В30. 3) Ударная прочность дисперсно-армированного базальтовой фиброй комплексно модифицированного мелкозернистого базальтофибробетона по патенту на изобретение в возрасте 28 суток нормального твердения составляет 1,98 Дж/см<sup>3</sup>, что соответствует фактическому повышению в 5,8 раза по сравнению с обычным мелкозернистым бетоном класса В30. 4) При упрочнении мелкозернистого бетона путем объемного дисперсного армирования базальтовым фиброволокном и комплексной модификации цементной матрицы зольным наполнителем (зола-уноса ТЭС) и суперпластификатором «POLIMIX» в композите образуется сверхпрочный поверхностный слой, который создает монолитную минеральную оболочку, значительно повышающую все остальные физико-механические свойства базальтофибробетона.

## Использованная литература / References

- [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., Цой В.М., Кесарийский А.Г. Методологические основы исследования многокомпонентных высококачественных бетонов нового поколения (Монография). - «Фан ва технология», 2018. -196 с.
- [4] Адылходжаев А.И., Махаматалиев И.М., Цой В.М., Умаров К.С. Комплексно-модифицированные бетоны с органоминеральными добавками



(Монография). - «Инновацион ривожланиш нашриёт-манбаа уйи», 2020. -235 с.

[5] Махаматалиев И.М. Высокопрочные бетоны: проблемы и их решения // Вестник ТашИИТа. –Ташкент. 2011,- №1.- С.2-5. (05.00.00.№11)

[6] Махаматалиев И.М. Современные тенденции совершенствования железобетонных конструкций // Вестник ТашИИТа. –Ташкент. 2012,- №2.- С.16-18. (05.00.00. №11)

[7] Махаматалиев И.М. О бетонах нового поколения на основе эффективных минеральных добавок, тонкозернистых песков и гиперпластификаторов // Вестник ТашИИТа. –Ташкент. 2013,- №1/2.- С.24-27. (05.00.00. №11)

[8] Махаматалиев И.М. О технико-экономической эффективности использования высокопрочных бетонов//Архитектура. Градостроительство. Дизайн. – Ташкент. 2013,- №2. - С.17-21. (05.00.00. №4)

[9] Рабинович Ф.Н. Дисперсноармированные бетоны. М.: Стройиздат, 1989. 177 с.

[10] Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно – армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции: Монография. М.: Издательство АСВ, 2004. - 560 с.

[11] Ковалев Я.Н. Строительные материалы. Лабораторный практикум: учеб. -метод. пособие / Я.Н. Ковалев [и др.] / под ред. д.т.н. Я.Н. Ковалева. – Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2013, – 633 с.

[12] Патент РФ №2420472 С1, дата приоритета 10.06.2011, дата публикации 27.06.1998, авторы Перфилов Д.Е. и др.

[13] Патент на изобретенте UZ IAP 07518 “Бетонная смесь”, дата приоритета 26.01.2023, опубликовано 18.10.2023, авторы: Адылходжаев А.И., Махаматалиев И.М., Цой В.М., Ильясов А.Т., Худоёров А.А.

## Информация об авторах/ Information about the authors

**Makhamataliev Irkin Muminovich / Махаматалиева Иркина Муминовича** Ташкентский государственный транспортный университет, кафедра «Строительство зданий и промышленных сооружений», доктор технических наук, профессор

**Soy Vladimir Mikhaylovich / Цой Владимир Михайлович** Ташкентский государственный транспортный университет, кафедра «Строительство зданий и промышленных сооружений», доктор технических наук, профессор.

E-mail: [Volodya\\_tsoy@inbox.ru](mailto:Volodya_tsoy@inbox.ru)  
Tel.: +998909521576

**Mukhammadiyev Nematjon Rakhmatovich / Мухаммадиев Нематжон Рахматович** Ташкентский государственный транспортный университет, кафедра «Строительство зданий и промышленных сооружений», доктор технических наук, доцент.

E-mail: [nemat.9108@mail.ru](mailto:nemat.9108@mail.ru),

Tel.: +998909111106

<https://orcid.org/0009-0004-2390-6961>

**Malikov Ganisher Bahromkulovich / Маликов Ганишер Бахромкулович** Ташкентский государственный транспортный университет, кафедра “Мосты и тоннели” PhD,

E-mail: [ganisherm@inbox.ru](mailto:ganisherm@inbox.ru)

Tel.: +998901893094

<https://orcid.org/0000-0003-3691-1079>



# Identification and Assessment of Critical Spatial Deformations and Internal Force States of Continuous Monolithic Reinforced Concrete Bridges under Strong Seismic Actions Using MiDAS Civil

A. Abdullaev<sup>1</sup><sup>a</sup>

<sup>1</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** The article presents the results of spatial seismic calculations for a continuous monolithic reinforced concrete bridge structure using the spectral method implemented in the MiDAS Civil software package. In the study, a spatial computational model of the structure was developed, taking into account the combined spatial behavior of the bridge span structure, intermediate and end supports, as well as the prestressed reinforcement system. The computational model is based on the finite element method, considering the stiffness properties of the structure and the interaction of bending, torsional, and transverse shear deformations. Through spectral analysis, the internal forces and displacements induced by standard seismic loads on the bridge's structural elements were evaluated. The obtained results allow for the determination of seismic stability in continuous monolithic bridges, refinement of calculation schemes, and optimization of design and technological solutions for seismically active regions.

**Keywords:** transportation structures, bridge, earthquake-resistant design, Midas Civil, linear spectral analysis, post-tension

## MiDAS Civil dasturida kuchli seysmik yuklamalar ta'sirida uzluksiz monolit temirbeton ko'priklarning fazoviy deformatsiyalanishi va ichki kuchlarining kritik holatlarini aniqlash va baholash

A. Abdullayev<sup>1</sup><sup>a</sup>

<sup>1</sup>Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

**Annotatsiya:** Maqolada MiDAS Civil dasturiy majmuasi yordamida spektral usul asosida uzluksiz monolit temirbeton ko'priklari inshootining fazoviy seysmik hisoblari natijalari bayon etiladi. Tadqiqotda ko'priklarning oraliq qurilmasi, oraliq va chekka tayanchlari, shuningdek oldindan zo'riqtirilgan armatura tizimining birgalikdagi fazoviy ishlashi hisobga olingan holda inshootning fazoviy hisoblash modeli ishlab chiqilgan. Hisoblash modeli chekli elementlar usuli asosida shakllantirilib, unda konstruksiyaning bikrlilik xususiyatlari, egilish, buralish va ko'ndalang siljish deformatsiyalarining o'zaro ta'siri inobatga olingan. Spektral tahlil jarayonida me'yoriy seysmik ta'sirlarning ko'priklarning konstruktiv elementlarida hosil qiladigan ichki kuchlar va ko'chishlar baholangan. Olingan hisob natijalari uzluksiz monolit ko'priklarning seysmik barqarorligini aniqlash, hisoblash sxemalarini aniqlashtirish hamda seysmik faol hududlar uchun konstruktiv-texnologik yechimlarni optimallashtirish imkonini beradi.

**Kalit so'zlar:** transport inshootlari, ko'priklari, zilzilabardosh loyihalash, Midas Civil, chiziqli spektral tahlil, post-tension

### 1. Kirish

Hozirgi kunda dunyoning Yaponiya, Turkiya, Eron, Xitoy, AQSH, Chili, Rossiya, Koreya Respublikasi va Yevropa Ittifoqining bir qator davlatlari, xususan, Germaniya, Italiya, Fransiya, Ispaniya, Shvetsiya kabi rivojlangan va rivojlanayotgan mamlakatlarida avtomobil yo'llaridagi ko'priklarning inshootlarining zilzilabardoshligi zamonaviy seysmik himoyalash usullarini qo'llash hamda ko'priklarning konstruktiv parametrlarini tanlash orqali ta'minlanmoqda. Shu jihatdan avtomobil yo'llaridagi uzluksiz monolit ko'priklarning inshootlarining loyihalash, qurish va ekspluatatsiya bosqichlarida harakat xavfsizligini ta'minlashga alohida e'tibor qaratilmoqda.

Respublikamizning avtomobil yo'llaridagi uzluksiz monolit ko'priklarning inshootlarining loyihalash, qurish va ekspluatatsiya bosqichlarida seysmik ta'sirlarni hisobga olgan holda ularni zilzilabardoshligini ta'minlashga

qaratilgan yirik miqyosdagi chora-tadbirlar amalga oshirilmoqda. Jumladan, O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023 yil 11 sentabrdagi "O'zbekiston – 2030" strategiyasi to'g'risida"gi PF-158-son Farmoniga [1] muvofiq 53-maqсадda "O'zbekiston Respublikasining global transport-logistika tarmoqlariga integratsiyasini chuqurlashtirish va milliy transport tizimining salohiyatini oshirish, 56 ming kilometr yo'llarni qurish va ta'mirlash, Toshkent – Samarqand va Toshkent – Farg'ona vodiysi yo'nalishlarida davlat-xususiy sheriklik asosida avtomobil yo'llarini qurish" bo'yicha vazifalar belgilangan. Ushbu vazifalarni amalga oshirishda, avtomobil yo'llaridagi uzluksiz monolit ko'priklarning inshootlarini loyihalash, qurish va ekspluatatsiya bosqichlarida seysmik ta'sirlarni hisobga olish orqali ularning konstruktiv parametrlarini tanlash, har xil kuchga ega seysmik ta'sirlarda monolit ko'priklari

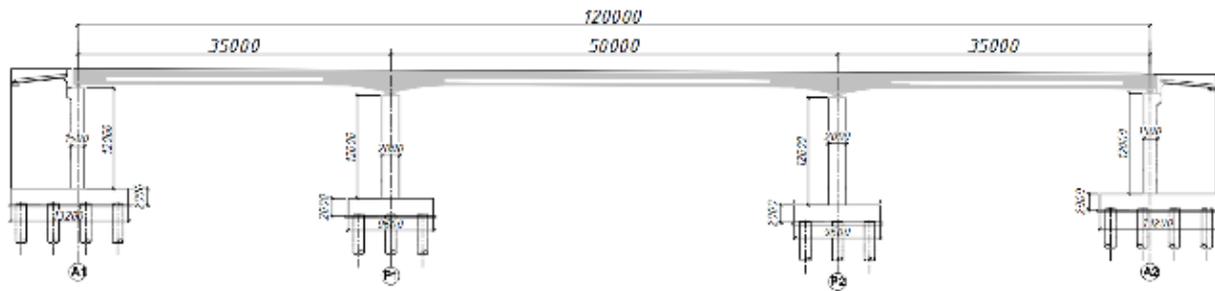
<sup>a</sup> <https://orcid.org/0009-0009-7560-2691>



inshootlarning kuchlanish-deformatsiyalanish holatini baholash, real zilzila yozuvlari asosidagi seysmik kuchlar ta'sirida uzluksiz monolit ko'prikinshootlari fazoviy konstruksiyalarining seysmodinamikasi masalalarini sonli hisoblash usullarini takomillashtirish dolzarb va muhim ahamiyat kasb etadi.

Transport inshootlarning zilzilaga chidamliligining zamonaviy muammolari bo'yicha ilmiy nazariy va eksperimental tadqiqotlar, jumladan, inshootlarning zilzilabardoshligini ta'minlash masalalari bilan shug'ullanuvchi xorijiy davlatlarning zabardast olimlari: Sh. Okamoto [1], X. Iemura [2], G.N. Karsivadze [3], S.V. Kuznetsov [4], A.M. Uzdin [5], G.S. Shestoperov [6], Z.G. Xuchbarov [7], L.N. Dmitrovskaya [8] va boshqa olimlar tomonidan tadqiq qilish ishlari amalga oshirilgan.

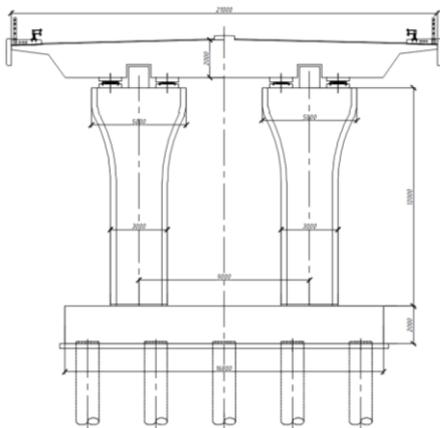
## 2. Tadqiqot metodikasi



1-rasm. Monolit yo'l o'tkazgich sxemasi

Yo'l o'tkazgichning fasad qismi bo'ylab oraliq qurilma o'zgaruvchan balandlikdagi plita ko'rinishida loyihalashtirilgan bo'lib, plita balandligi oraliqning markaziy qismida 1,35 m, tayanchlar ustida esa 2,0 m ni tashkil etadi.

Oraliq tayanchlar konstruktiv yechimiga ko'ra ikki ustunli temirbeton tayanchlar ko'rinishida bajarilgan bo'lib, ularning asosiy geometrik o'lchamlari quyidagicha: ustunlarning umumiy balandligi 12 m, fasad tekisligi bo'yicha eni 2,0 m, ko'ndalang yo'nalishdagi o'lchami esa 3,0 m dan 5,0 m gacha o'zgaruvchan qiymatlarga ega (2-rasm).



2-rasm. Oraliq tayanchning umumiy ko'rinishi

Uzluksiz monolit ko'prikinshootining seysmik ta'sirlar ostidagi hisob-kitoblari chiziqli spektral tahlil tamoyillariga asoslangan chekli elementlar usulini qo'llovchi Midas Civil dasturiy majmuasi yordamida amalga oshirildi.

Midas Civil — transport inshootlari va turli qurilish obyektlarini modellashtirish, hisobiy tahlil qilish hamda

Tadqiqot doirasida Jizzax shahri hududida barpo etilayotgan 4K-253a toifali avtomobil yo'li yo'nalishida, Islom Karimov ko'chasidan M39 Toshkent–Termiz magistral avtomobil yo'ligacha bo'lgan uchastkada joylashgan uzluksiz temirbeton konstruksiyali yo'l o'tkazgichning tahlil obyekti sifatida tanlab olindi [9].

Mazkur tadqiqotda Jizzax shahri hududida joylashgan, umumiy uzunligi 120 m va ko'ndalang o'lchami 21 m ni tashkil etuvchi uch oraliqli monolit temirbeton yo'l o'tkazgich konstruksiyasi tadqiqot obyekti sifatida tanlab olinadi. Inshootning oraliq qurilmasi butun uzunligi bo'ylab o'zgaruvchan qalinlikka ega bo'lib, u individual loyihaviy yechim asosida ishlab chiqilgan 35 + 50 + 35 m oraliqlarni qamrab oluvchi uzluksiz monolit temirbeton hisoblash sxemasiga muvofiq bajarilgan (1-rasm).

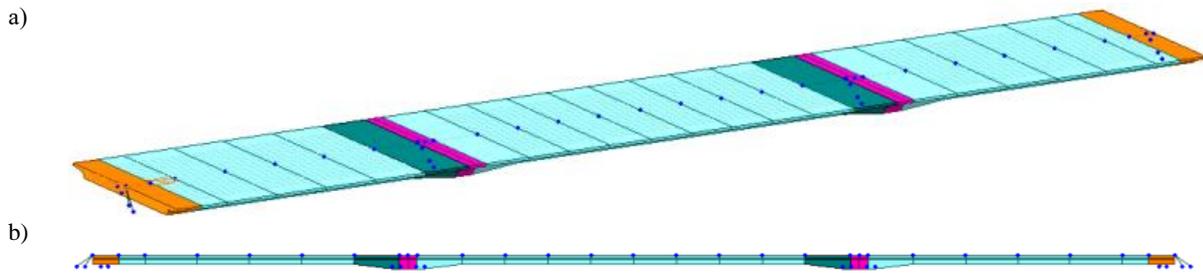
konstruktiv elementlarni loyihalash uchun mo'ljallangan dasturiy majmuadir. U ko'priklar va fuqaro inshootlarini loyihalashda zamonaviy standartni belgilovchi qulay interfeysli muhandislik platformasi bo'lib, ma'lumotlar bazasini shakllantirishdan tortib nochiqliq masalalarni yechishgacha bo'lgan funksiyalarni o'z ichiga oladi. Uning rivojlangan modellashtirish va tahlil vositalari ChEU asosida konstruksiyalarni hisoblashda uchraydigan asosiy muammolarni samarali hal etishga yordam beradi.

Yo'l o'tkazgichning asosiy konstruktiv elementlari: oraliq qurilma hamda taranglikdan keyingi armatura trosslari fazoviy ishlashini to'liq aks ettirish maqsadida cho'zilish-siqilish, ikkala yo'nalishda siljish deformatsiyalari, shuningdek egilish va buralish ta'sirlarini hisobga olgan holda chekli elementlar usuli asosida modellashtiriladi. Grunt Vinkler modeli yordamida modellashtirilgan.

Modellashtirish usuli sifatida karkasli tahlil tanlangan. Karkasli modellashtirish jarayonida ikkita turli xil kesim yaratiladi: bo'sh va to'ldirilgan kesimlar. 3,50 metr uzunlikdagi burchaklarda to'ldirilgan kesimli diafragma aniqlanadi. O'rta qismda esa bo'sh kesim belgilanadi. Chegaraviy shartlar elastomer tayanch qismlarining bikrligi orqali aniqlanadi. Tugunning mahalliy o'qi global o'q bilan mos keladi: X bo'ylama o'q bo'ylab, Y ko'ndalang o'q bo'ylab, Z vertikal bo'ylab. Barcha elementlar ularning yuqori markazidan belgilanadi.

Oraliq qurilma armatura kanatlarini zo'riqtirish uchun "post-tension" usuli qo'llaniladi. Oraliq qurilma plitasining ko'ndalang kesimida 19 ta kanal hosil qiluvchi mavjud bo'lib, ularda 150 mm<sup>2</sup> kesim yuzasiga ega 31 tola armatura kanatlari joylashtirilgan. Ular yo'l o'tkazgich bo'ylab uzluksiz tizimlardagi materiallar epyurasi bo'yicha joylashgan. Umumiy maydon 4650 mm<sup>2</sup> deb hisoblanadi. Yo'l o'tkazgichning oraliq qurilmasini modellashtirish 3-rasmida ko'rsatilgan.

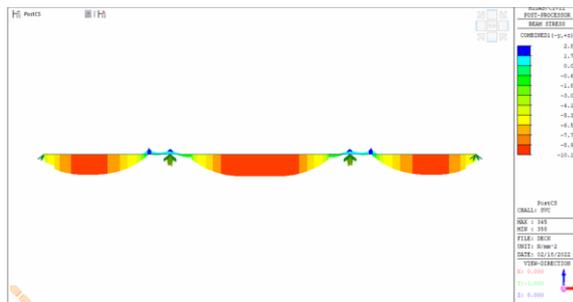




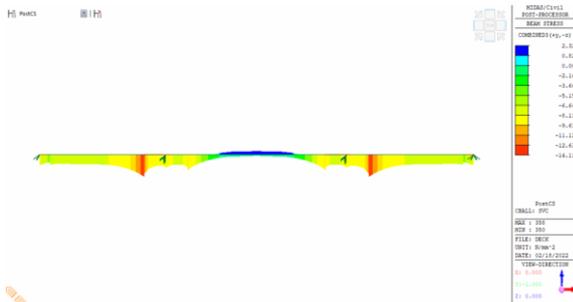
3-rasm. Oraliq qurilmani modellashtirish: a - b) uch o'lchamli modelning ko'rinishi

Zo'riqtirilgan armatura troslariga bir tomonidan 1400 N/mm<sup>2</sup> kuch bilan yuklanma berilgan.

4 va 5-rasmlarda yo'l o'tkazgich oraliq qurilmasining yuqori va pastki qismlaridagi normal kuchlanishning o'zgarish grafiklari ko'rsatilgan.



4-rasm. Yo'l o'tkazgich oraliq qurilmasining yuqori qismidagi normal kuchlanishning o'zgarishi



5-rasm. Yo'l o'tkazgich oraliq qurilmasining pastki qismidagi normal kuchlanishning o'zgarishi

4 va 5-rasmlardan ko'rinib turibdiki, yo'l o'tkazgichning o'rta qismida oraliq qurilmaning yuqori qismidagi eng yuqori siqilish kuchlanishlari -10,10 MPa ni, pastki qismidagi eng yuqori cho'zilish kuchlanishlari esa 2,32 MPa ni tashkil etadi. Bu ko'rsatkichlar ShNQ 2.05.03-2022 "Ko'priklar va quvurlar" bo'yicha ruxsat etilgan kuchlanishlar chegarasida bo'lib, mos ravishda 50,4 MPa va 3,22 MPa ni tashkil etadi.

### 3. Xulosa

Ishlab chiqilgan fazoviy hisoblash yondashuvi asosida uzluksiz monolit temirbeton yo'l o'tkazgich MiDAS Civil dasturida kuchli seysmik yuklamalar ta'sirida seysmik barqarorlikka baholandi. Hisoblashlar jarayonida inshootning oraliq qurilmasida hosil bo'ladigan normal kuchlanishlar aniqlanib, ularning qiymatlari amaldagi me'yoriy hujjatlar talablari bilan taqqoslandi.

Natijalar uzluksiz monolit temirbeton yo'l o'tkazgich oraliq qurilmasining kuchli seysmik ta'sirlar sharoitida

kuchlangan–deformatsiyalangan holati me'yoriy talablarga muvofiq ekanligini, shuningdek qabul qilingan hisoblash modeli va konstruktiv yechimlar inshootning seysmik mustahkamligini ta'minlashini tasdiqlaydi.

### Foydalanilgan adabiyotlar / References

- [8] Окамото Ш. Сейсмостойкость инженерных сооружений. – М.:Стройиздат, 1980. – 321с.
- [9] Zhu H., Wen Y., Iemura H. A study on interaction control for seismic response of parallel structures //Computers & Structures. – 2001. – Т. 79. – №. 2. – С. 231-242.
- [10] Карцивадзе Г.Н. Сейсмостойкость дорожных искусственных сооружений при сильных землетрясениях. – М.: Транспорт, 1974. – 260с.
- [11] Рашидов Т.Р., Кузнецов С.В., Мардонов Б.М., Мирзаев И. Прикладные задачи сейсродинамики сооружений. Книга 2. Колебания и устойчивость подземных сооружений сложной структуры при сейсмических воздействиях. – Ташкент : Навруз, 2020. – 171 с.
- [12] Уздин, А.М. Что скрывается за линейно-спектральной теорией сейсмостойкости / А.М. Уздин // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2009. № 2. - С. 18 – 23.
- [13] Шестоперов Г.С. Сейсмостойкость мостов. – М.: Транспорт, 1984. – 143с.
- [14] Хучбаров З.Г. Сейсмоизоляция автодорожных мостов // Фрунзе, КиргизНИИ. – 1986. – 58с.
- [15] Дмитриевская Л.Н. Методы оценки сейсмостойкости многоопорных сооружений: Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук. – СПб., 2005 – 212 с.
- [16] Abdullayev A.R. Seysmik ta'sirlarni hisobga olgan holda avtomobil yo'llaridagi uzluksiz monolit ko'priklarining konstruktiv parametrlarini tanlash. Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi, TDTU. Toshkent – 2025 – 157 b.

### Muallif to'g'risida ma'lumot / Information about author

Abdullayev  
Abduraxim  
Rovshan o'g'li /  
Abdullaev  
Abdurakhim  
Rovshan ugli

Toshkent davlat transport universiteti "Ko'priklar va tonnellar" kafedrasini, (PhD), assistent  
E-mail: [abdurahim4095@gmail.com](mailto:abdurahim4095@gmail.com)  
Tel.: +998909446530  
<https://orcid.org/0000-0002-8338-2053>



## Optimization of the design of bridge intermediate supports

Sh.Z. Nishonboev<sup>1</sup><sup>a</sup>, Z.M. Mirzayeva<sup>1</sup><sup>b</sup>, Kh.U. Urazov<sup>1</sup><sup>c</sup>, A.A. Abdusattorov<sup>1</sup><sup>d</sup>

<sup>1</sup>Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** This scientific article covers issues of improving the intermediate supports of bridges. The design features of existing monolithic supports were analyzed, and existing shortcomings in terms of their shape, dimensions, and material consumption were identified. Three design options based on monolithic reinforced concrete have been proposed, and their seismic resistance, load-bearing capacity, and economic efficiency have been parametrically compared. It has been proven that the second proposed structural variant is the most optimal solution in terms of material consumption, economic indicators, and seismic resistance. The research results provide scientifically based recommendations for practical application in improving bridge intermediate supports.

**Keywords:** intermediate support, monolithic reinforced concrete, seismic stability, structural form, parametric analysis, load capacity, economic efficiency, optimization

## Ko'priklarning oraliq tayanchlari konstruksiyasini optimallashtirish

Sh.Z. Nishonboev<sup>1</sup><sup>a</sup>, Z.M. Mirzayeva<sup>1</sup><sup>b</sup>, O'X. O'razov<sup>1</sup><sup>c</sup>, A.A. Abdusattorov<sup>1</sup><sup>d</sup>

<sup>1</sup>Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

**Annotatsiya:** Ushbu ilmiy maqolada ko'priklarning oraliq tayanchlarini takomillashtirish masalalari yoritilgan. Amaldagi monolit tayanchlarning konstruktiv xususiyatlari tahlil qilinib, ularning shakli, o'lchamlari va material sarfi bo'yicha mavjud kamchiliklar ko'rsatib berilgan. Monolit temirbeton asosidagi uchta konstruktiv variant taklif qilinib, ularning seysmik barqarorligi, yuk ko'tarish qobiliyati va iqtisodiy samaradorligi parametrik jihatdan solishtirilgan. Taklif etilgan ikkinchi konstruktiv variant material sarfi, iqtisodiy ko'rsatkichlari hamda seysmik barqarorlik bo'yicha eng maqbul yechim ekanligi isbotlangan. Tadqiqot natijalari ko'priklarning oraliq tayanchlarini takomillashtirishda amaliy qo'llash uchun ilmiy asoslangan tavsiyalar beradi.

**Kalit so'zlar:** oraliq tayanch, monolit temirbeton, seysmik barqarorlik, konstruktiv shakl, parametrik tahlil, yuk ko'tarish qobiliyati, iqtisodiy samaradorlik, optimallashtirish

### 1. Kirish

Hozirgi kunda transport infratuzilmasini modernizatsiya qilish, avtomobil yo'llari o'tkazuvchanligini oshirish va shahar hamda mintaqalararo aloqalarni mustahkamlash davlat siyosatining ustuvor yo'nalishlaridan biri hisoblanadi. Ko'priklar va yo'l o'tkazgichlar transport tizimining muhim tarkibiy qismidir. Ularning konstruktiv ishonchligi hamda foydalanish davridagi barqarorligi yo'llarning umumiy ekspluatatsion samaradorligiga bevosita ta'sir ko'rsatadi.

O'zbekistonning seysmik faol hududlarda joylashgani ko'prik inshootlariga qo'yiladigan talablarni yanada oshiradi. Shu sababli ko'priklarning oraliq tayanchlarini takomillashtirish, ularning shakli, konstruktiv yechimi va material sarfini optimallashtirish talab etiladi. Monolit temirbeton texnologiyalari rivojlanib borayotgani ushbu inshootlarda yangi konstruktiv imkoniyatlarni yaratmoqda. Monolit tayanchlar yuqori seysmik barqarorlik, konstruksiyaning yaxlitligi, mustahkamligi va iqtisodiylik bilan ajralib turadi.

Shu bilan birga, ko'prik tayanchlarini shakllantirishda an'anaviy yondashuvlar har doim ham optimal natija bermaydi. Shuning uchun oraliq tayanchlarning zamonaviy, konstruktiv va iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq

shakllarini izlash dolzarb ilmiy vazifa sifatida namoyon bo'lmoqda.

### 2. Adabiyotlar tahlili va metodologiya

Adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, ko'prik tayanchlari konstruksiyalarini takomillashtirish yo'nalishidagi ilmiy izlanishlar asosan quyidagilarga qaratilgan:

- tayanchlarning seysmik barqarorligini oshirish;
- monolit temirbetonning afzalliklaridan maksimal foydalanish;
- konstruktiv shaklni optimallashtirish orqali material sarfini kamaytirish;
- tayanchlarning yuk ko'tarish qobiliyatini oshirish;
- ekspluatatsion davomiyligni ta'minlash.

Shermuxe'dov U.Z. va hamkorlarining ilmiy ishlari O'zbekiston sharoitida, xususan seysmik xavf yuqori bo'lgan hududlarda ko'prik inshootlarini loyihalash masalalarining dolzarbligini asoslaydi. V.N. Smirnovning

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0002-2021-946X>

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6961-595X>

<sup>c</sup> <https://orcid.org/0000-0003-3594-5170>

<sup>d</sup> <https://orcid.org/0000-0002-4073-8769>



tadqiqotlarida fazoviy temirbeton tayanchlarning yuklanish ostida deformatsiyalanishi, ularni hisoblash mezonlari va optimal konstruktiv shakllarni tanlash bo'yicha ilmiy asoslar keltirilgan.

Xalqaro adabiyotlar tahlili ham shuni ko'rsatadiki, oraliq tayanchlarni yangi shakl va o'lchamlarda ishlab chiqish, seysmik ta'sirlarga moslashgan konstruksiyalarni yaratish hamda qurilish muddatlarini qisqartiruvchi texnologiyalarni qo'llash zamonaviy ko'priksizlikning asosiy yo'nalishlaridan biridir.

Ushbu tadqiqot avtoyo'l ko'priklarining oraliq tayanchlarini takomillashtirishga qaratilgan bo'lib, quyidagi metodik yondashuvlarga tayanadi:

#### 1. Analitik tahlil

Mavjud ko'priklar tayanchlari konstruksiyalari, ularning afzallik va kamchiliklari, yuklanish sxemalari, deformatsiya holatlari va seysmik ta'sir ostida ishlash prinsiplari o'rganildi.

#### 2. Uchta konstruktiv tayanch yaratish

Tadqiqotda monolit temirbetondan tayyorlangan uch xil oraliq tayanch varianti ishlab chiqildi. Har bir variant parametrik belgilari bo'yicha baholandi:

- konstruktiv murakkablik;
- yuk ko'tarish qobiliyati;
- ekspluatatsion ishonchlilik;
- iqtisodiy ko'rsatkichlar.

#### 3. Kompyuter hisoblari

Hisob-kitob optimal kesim o'lchamlarini tanlash vazifasini qamrab oldi.

#### 4. Iqtisodiy tahlil

Har bir konstruktiv variant bo'yicha:

- beton sarfi;
- qurilish qiymati;
- mehnat xarajatlari.

#### 5. Optimallashtirish mezonlari

Variantlar o'zaro solishtirilib, eng maqbul yechim sifatida 2-variant tanlandi.

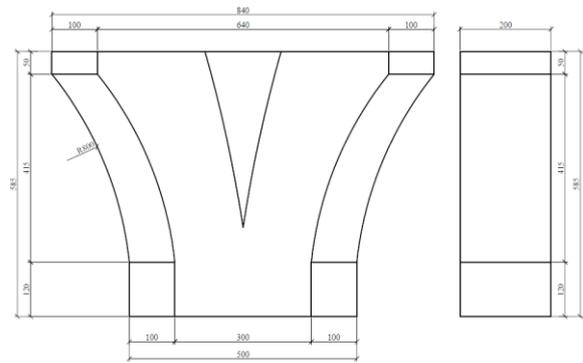
### 3. Muhokama va natijalar

Tadqiqot natijasida ishlab chiqilgan yangi konstruktiv yechimlar quyidagi afzalliklarni namoyon etdi:

- seysmik barqarorlikning oshishi;
- yuk ko'tarish qobiliyatining yaxshilanishi;
- material sarfining kamayishi;
- qurilish jarayonining soddalashuvi;
- mehnat xarajatlarning qisqarishi;
- xizmat muddati va ishonchlilikning ortishi.

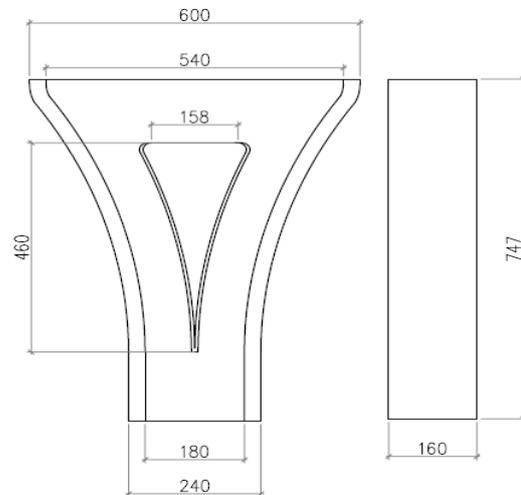
Variantlar iqtisodiy solishtirilganda 3 variant ichidan eng tejamkori - 2-variant bo'lib, u 36,6 % iqtisodiy samaradorlikni ta'minladi.

Ko'priklar ko'rib chiqilayotgan oraliq tayanchi temirbeton konstruksiyadan iborat (1-rasm). Hisoblash nuqtayi nazaridan, tizim murakkab ramali tizimdir. Tayyorlash usuliga ko'ra taklif etilayotgan tayanch konstruksiyasini monolit konstruksiyaga kiritish mumkin.



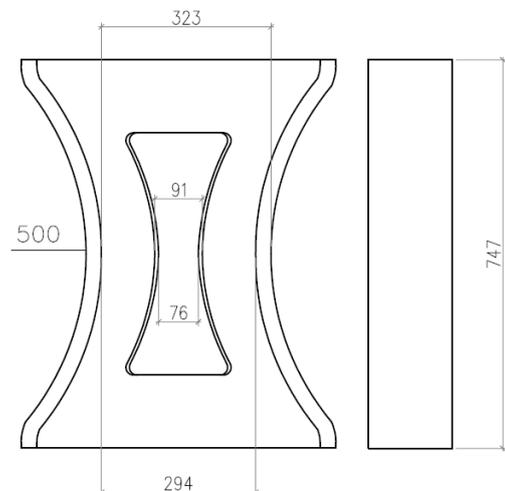
1-rasm. Oraliq tayanchning birinchi varianti

Ko'priklar ko'rib chiqilayotgan oraliq tayanchi temirbeton konstruksiyadan iborat (2-rasm). Hisoblash nuqtayi nazaridan, tizim murakkab ramali tizimdir. Tayyorlash usuliga ko'ra tayanch konstruksiyasini monolit konstruksiyaga kiritish mumkin.



2-rasm. Oraliq tayanchning ikkinchi varianti

3-hisoblash modeli tavsifi. Ko'priklar ko'rib chiqilayotgan oraliq tayanchi fazoviy temirbeton konstruksiyadan iborat (3-rasm). Hisoblash nuqtayi nazaridan, tizim murakkab ramka tizimidir [3].



3-rasm. Oraliq tayanchning uchinchi varianti



1-jadval

Tayanch variantlarining solishtirma jadvali

Bajariladigan ishlarning nomi	Ish hajmi, m <sup>3</sup>			Qiymati, mln so'm	Umumiy qiymat, mln so'm		
	1	2	3	3	4	5	6
Tayanch tanasi	71	45	54	3,5	248	157	189

#### 4. Xulosa

Uchta konstruktiv yechim bo'yicha o'tkazilgan iqtisodiy va texnik tahlillar natijasida 2-variantning eng maqbul opora konstruksiyasi ekanligi aniqlandi. Ushbu variant material sarfi bo'yicha tejamkorligi, yakuniy qurilish qiymatining pastligi va individual loyihalangan konstruktiv shaklining samaradorligi bilan ajralib turadi.

Taklif etilgan opora konstruksiyasi ko'prik va yo'l o'tkazgichlarini qurish jarayonini sezilarli darajada soddalashtiradi, qurilish muddatini qisqartiradi, materiallarning optimal sarflanishini ta'minlaydi hamda mehnat xarajatlarini kamaytiradi. Shaklning konstruktiv ustunliklari oporaning seysmik barqarorligini oshirib, uzoq muddatli ekspluatatsion ishonchligini ta'minlaydi.

Olingan natijalar asosida 2-variantli monolit oraliq tayanch texnik, iqtisodiy va ekspluatatsion ko'rsatkichlar bo'yicha eng maqbul yechim sifatida tavsiya etiladi.

#### Foydalanilgan adabiyotlar / References

[1] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 04.10.2017 y. PQ-3309 Qarori. "Avtomobil yo'llari ko'priklarini, yo'l o'tkazgichlar va boshqa sun'iy inshootlarni qurish hamda foydalanishni tashkil etish tizimini takomillashtirish to'g'risida".

[2] Podolny W., Scalzi J.B. Bridge Engineering Handbook: Construction and Maintenance of Bridge Structures. – CRC Press, 2011. – 358 p.

[3] Kondratyev B.S., Tarasov A.V. Proektirovanie mostovyx opor: raschety, konstruktiv yechimlar va ekspluatatsiya xususiyatlari. – Moskva: ASV, 2016. – 312 s.

[4] Смирнов В.Н. Опоры мостовых сооружений: проектирование, строительство, ремонт и реконструкция: учебное пособие. – Санкт-Петербург: ДНК. – 2013. – 55 с.

[5] Tursunov A.A. Monolit ko'prik tayanchlari uchun optimal konstruktiv shakllarni aniqlashning hisobiy usullari // "Inshootlar mexanikasi" jurnali. – Toshkent, 2019. – №3. – B. 60–67.

#### Mualliflar to'g'risida ma'lumot / Information about authors

<b>Nishonboev Shavkat Zohidovich</b>	Toshkent davlat transport universiteti "Ko'priklar va tonnellar" kafedrasida assistent Tel.: +998 98 300 15 92 <a href="https://orcid.org/0000-0002-2021-946X">https://orcid.org/0000-0002-2021-946X</a>
<b>Mirzayeva Zamira Mahamadazizovna</b>	Toshkent davlat transport universiteti "Ko'priklar va tonnellar" kafedrasida assistent Tel.: +998 90 357 83 01 <a href="https://orcid.org/0000-0001-6961-595X">https://orcid.org/0000-0001-6961-595X</a>
<b>O'razov Xumoyun O'tkir o'g'li / Urazov Khumayun</b>	Toshkent davlat transport universiteti "Ko'priklar va tonnellar" kafedrasida assistent Tel.: +998 94 343 90 26 <a href="https://orcid.org/0000-0003-3594-5170">https://orcid.org/0000-0003-3594-5170</a>
<b>Abdusattorov Asqarxo'ja Abdumavlon o'g'li</b>	Toshkent davlat transport universiteti "Ko'priklar va tonnellar" kafedrasida tayanch doktoranti, assistent Tel.: +998 90 905 61 90 <a href="https://orcid.org/0000-0002-4073-8769">https://orcid.org/0000-0002-4073-8769</a>



## Subsidence of the railway track embankment at the boundaries of water pipelines

S. Djabbarov<sup>1</sup><sup>a</sup>, E. Abdualiyev<sup>1</sup><sup>b</sup>

<sup>1</sup>Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** The article investigates the impact of water pipeline malfunctions on railway embankment parameters, specifically examining the effect of soil moisture on the deformation (settlement) of both the embankment and the water pipeline itself. To solve this problem, the finite element method was employed, and multiple variant calculations were performed using Midas software. The study determined and compared the deformation (settlement) of the embankment and water pipeline for two types of soil moisture, embankment heights of 2, 3, 4, 5, and 6 meters, and a combination of three types of loads.

**Keywords:** railway, water pipes, earthwork, moisture, settlement, deformation

## Suv o'tkazuvchi quvurlar chegarasida temir yo'l izi yer polotnosini cho'kishi

Djabbarov S.T.<sup>1</sup>, Abdualiyev E.B.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

**Annotatsiya:** Maqolada temir yo'llardagi suv o'tkazuvchi quvurlar nosozliklarini temir yo'l yer polotnosining parametrlariga ta'siri, xususan grunt namlanishini yer polotnosi va bevosita suv o'tkazuvchi quvur deformatsiyasiga(cho'kishiga) ta'siri tadqiq etilgan. Masalani yechishda chekli elementlar uvulidan foydalanilgan bo'lib ko'p variantli hisob ishlari Midas dasturiy ta'minotida amalga oshirilgan. Bunda gruntning ikki xil namligi, ko'tarma ko'rinishdagi yer polotnosining 2, 3, 4, 5, 6 m balandliklari va uch turdagi yuklanishlar kombinatsiyasi uchun yer polotnosi va suv o'tkazuvchi quvur deformatsiyasi(cho'kishi) aniqlangan va qiyoslangan.

**Kalit so'zlar:** Temir yo'l, suv o'tkazuvchi quvurlar, yer polotnosi, namlik, cho'kish, deformatsiya

### 1. Kirish

Hozirgi vaqtda yo'lovchi tashish hajmini oshirish, poyezdlar tezligini ko'tarish va harakat xavfsizligini ta'minlash mamlakatimiz transport infratuzilmasini, xususan yuqori tezlikdagi temir yo'l magistrallarini rivojlantirishda ustuvor masalalardan hisoblanadi. Barcha toifadagi poyezdlarning ravon, to'tovsiz va xavfsiz haraktini ta'minlash sohaning doimiy vazifasi hisoblanadi hamda temir yo'l transporti infratuzilmasini bir maromda, buzilishsiz ishlashini talab qiladi [1, 2]. Bunda temir yo'l izining muhim elementi bo'lgan suv o'tkazuvchi quvurlarning o'z funksional vazifalarini butun xayot sikli davomida to'liq bajarilishini ta'minlash zarur. Suv o'tkazuvchi quvurlardagi nosozliklarni yer polotnosining ekspluatatsion ishonchligiga ta'sirini tadqiq etish dolzarb hisoblanadi. Temir yo'llarda foydalaniladigan tosh, beton va temirbetonli suv o'tkazuvchi quvurlarning eng keng tarqalgan shikastlanishlari va deformatsiyalariga yoriqlarning paydo bo'lishi, sinish, choklarning ochilishi, quvur bo'g'inlari va bosh qismlarining cho'kishi hamda qiyshayishi, gidrozolyatsiyaning buzilishi, bosh qismlarning yemirilishi, quvur atrofidagi gruntning yuvilishi kiradi [3, 4, 5].

Suv o'tkazuvchi quvurlarda yoriqlarning paydo bo'lishi va uning oqibatida gidrozolyatsiyaning buzilishi yer polotnosi gruntining namligini oshishiga, o'z navbatida ularning fizik-mexanik xususiyatlarini o'zgarishiga hamda

yer polotnomining ko'taruvchanlik qobiliyatining pasayishiga olib keladi [6,7,8].

### 2. Adabiyotlar tahlili va metodologiya

Temir yo'l izi va yer polotnosidagi cho'kishlarni hosil qiluvchi asosiy omillarni (poyezddan tushayotgan yuk qiymati, yer osti (grunt) qatlamining namligi ortishi va boshqalar) ta'siri mamlakatimiz va chet el olimlari tomonidan ko'p marotaba o'rganib chiqilgan [9,10]. Lekin omillarning ahamiyatligini solishtirish va aniqlash uchun, bir xil cheklovchi shartlar kiritilgan umumiy hisoblash modelida bir qator matematik eksperimentlarni amalga oshirish zarur. Umumiy ko'rinishda suv o'tkazuvchi quvurlar chegarasida yer polotnosini ustuvorligini aniqlash masalasini statik tarzda yechib bo'lmaydi. Bunday masalalarni yechishda quyidagi usullardan foydalaniladi:

- chekli muvozanat usullari (CHMU);
- chekli elementlar usullari (CHEU).

Mexanik masalalarni yechishga asoslangan chekli elementlar usuli alternativ yondashuv hisoblanadi. Kuchlangan-deformasiyalangan holatning haqiqiy tasviriga (ko'rinishiga) ega bo'lish imkoniyati ushbu usulning boshqa usullarga nisbatan ustunligini ko'rsatadi. Ammo CHEU dan

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0002-3798-407X>

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6367-6305>



foydalanish, o'z navbatida, deformatsiyalar qiymatining cheklanishi, natijalarning bir-biriga to'g'ri kelmasligi kabi muammolar va bir qator kamchiliklar bilan bog'liq. Shunday qilib, murakkab masalalarni hal qilish jarayonida turli xil yondashuv kombinatsiyalaridan foydalanish maqsadga muvofiq [11,12].

Keyingi vaqtda chekli muvozanat, hamda chekli elementlar usullaridan foydalangan holda turli geotexnik masalalarni yechish imkonini yaratuvchi ko'plab sifatli dasturiy ta'minotlar ishlab chiqildi. Mazkur tadqiqot ishida cho'kishlarni hosil qiluvchi omillarni baholash MIDAS GTS NX dasturiy kompleksida yaratilgan modelda amalga oshirildi.

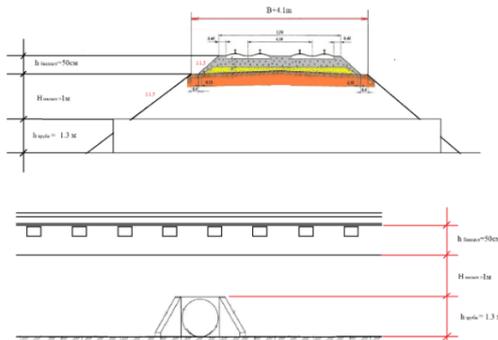
Boshlang'ich ma'lumotlar. Hisoblarni bajarish uchun boshlang'ich ma'lumotlar quyida keltirilgan texnik topshiriqqa muvofiq qabul qilingan:

1. B - temir yo'l yer polotnosi asosiy maydonchasi kengligi(1-rasm), 7.6 m ga teng deb qabul qilingan;

2. PO – relsga bir o'qdan tushadigan yuklama(2-rasm), 25,5 t/o'q ga teng deb qabul qilingan;

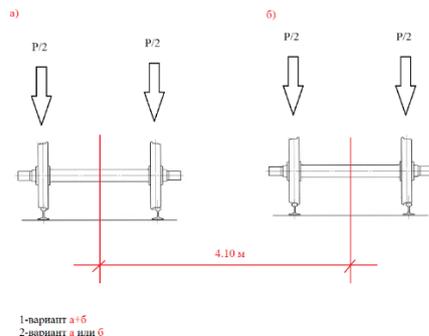
3. Hko'tarma -ko'tarma balandligi(1-rasm), 2,0m; 3,0 m; 4,0 m; 5,0 m; 6,0 m ga teng deb qabul qilingan.

Ishda ko'tarma balandligi bilan farq qiluvchi jami 5 ta model ko'rib chiqilgan. Har bir modelda yuklanish turi bilan farqlanuvchi 3 tadan hisoblash holati mavjud (o'z og'irligidan, bitta iz bo'yicha yuklanish va ikkita iz bo'yicha yuklanish).



1-rasm. Umumiy hisoblash sxemasi

Hisob-kitoblarni amalga oshirish uchun gruntning meyoriy hujjatlariga muvofiq qabul qilingan xususiyatlaridan foydalanilgan, Grunt materiallarini belgilash uchun Mor-Kulon va plastik masalalarini, beton quvur uchun esa elastik-modeldan foydalanilgan. Grunt materiallarining 3 turi (asos, ko'tarma ko'rinishidagi yer polotnosi va ballast) va temir beton materialining bir turi (quvur) ajratilgan.



2-rasm. Yuklamalarni taqsimlash sxemasi va topshiriq'i

Ko'tarma suglenok gruntlardan, ballast shag'alli gruntndan, asos tabiiy holda yotuvchi suglenok gruntlardan tashkil topgan. Suvga to'yinganligiga bog'liq holda suglinkali ko'tarmaning bir nechta variantlari ko'rib

chiqilgan: grunt namligining meyoriy qiymati - 18% va namlangan grunt - 28%. Quyidagi 1-jadvalda ushbu materiallarning xususiyatlari keltirilgan.

Dastlabki ma'lumotlar asosida hisobotida keltirilgan tipik muhandislik-geologik uchashtalar asosida 3D model qurildi. Modelni kalibrash va hisoblash metodologiyasi temir yo'l yer polotnosi suv o'tkazish quvuri chegarasida cho'kish va asos bilan sinovlarning nazariy modelida amalga oshirildi. def qiymatlarini namlik oshishi bilan elastik modul kamayishi tamoyiliga bog'lab, ilmiy ko'rinishda chiqaraman. Geotexnikada odatda namlik ortishi grunt yumshaydi va Edef, kamayadi.

Quyida 18–28% namlik diapazoni uchun mos taqsimlab olinadi va 1-jadvalda keltirilgan.

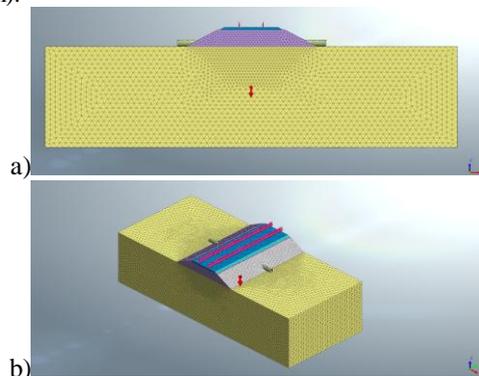
1-jadval

Materiallarning asosiy geomexanik xarakteristikalarini

Yer polotnosi gruntlarining nomi	Zichlik $\rho$ , kN/m <sup>3</sup>	Ishqalanish burchagi $\phi$ , grad	Yer polotnosining bosimi C, kN/m <sup>2</sup>	Yer polotnosini deformatsiya moduli $E_{def}$ , kN/m <sup>2</sup>	Puasson koef-ti. $\nu$
1	2	3	4	5	6
Ballast	17	40	0	120000	0,27
Ko'tarma (W=18 %)	17	27	16	55000	0,33
Ko'tarma (W=28 %)	17,5	24	12	55000	0,33
Asos	19,5	28	19	70000	0,32
Quvur	25	-	-	27500000	0,18

### 3. Muhokama va natijalar

Temir yo'l yer polotnosidagi suv o'tkazuvchi quvur chegarasida cho'kishlarni hosil qiluvchi omillarning ta'sir darajasini baholash uchun, grunt massividan shartli ravishda "kesib olingan" 3d modelning masalasi ko'rib chiqilgan (1-rasm).



3-rasm. Modelni hisoblash sxemasi: a-ko'dalang qirgimi, b- 3D ko'rinishi

Gruntli blokning gabarit o'lchami (uzunligi, kengligi, balandligi) mos ravishda 70 x 30 x 24.8 m ni tashkil etadi. Ishlab chiqilgan model tetraed shaklining hajmiy (3D) chekli elementlari bilan approksimatsiyalangan. Balandligi 2 m bo'lgan ko'tarma ko'rinishidagi yer polotnosining modeldagi chekli elementlarning umumiy soni - 378722, tugunlar soni - 70909 ta (3-rasm). Xuddi shunday sinov modellari balandligi 3.0, 4.0, 5.0 va 6.0 m bo'lgan yo'l polotnosining boshqa konstruksiyalari uchun ham qurilgan. Bu modellarning har birida gruntli asosning o'lchamlari, elementlar va uzellar soni 2-jadvalda keltirilgan.



2-jadval

Yo'l polotnosi modellari tavsifi

Tr/r	Ko'tar ma balandli gi, m	Gruntli asos blokining o'lchamlari, m			Miqdori, dona	
		uzunlik	kenglik	balandlik	element	tugunlar
1	2	70	30	23.8	378722	70909
2	3	70	30	24.8	412870	76888
3	4	70	30	25.8	453806	84130
4	5	70	30	26.8	498780	92517
5	6	70	30	27.8	546025	100523

Kuchlanish-deformasiya holatining statik hisoblari chekli elementlar usuli yordamida amalga oshirilgan. Chekli elementlar usulini qo'llashda hisoblanayotgan sohaning kuchlanish-deformasiyalanish holatiga oid chegaraviy masala yechimi tenglamalar sistemasining raqamli yechimiga keltiriladi:

$$[K]\{u\} = \{F\} \quad (1)$$

bunda  $[K]$  - bikirlik matrisasi;

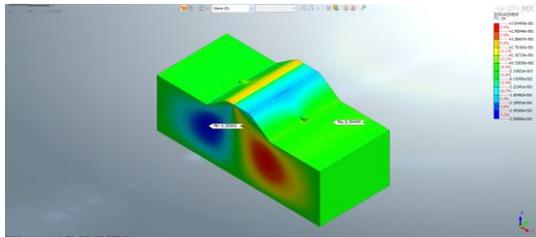
$\{u\}$  - tugun siljishlari vektori;

$\{F\}$  - yuklanishlar vektori.

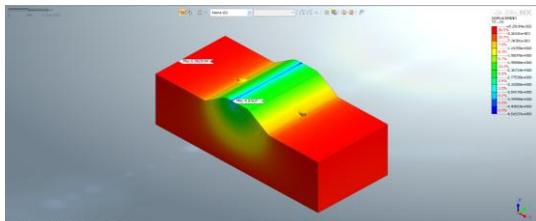
MIDAS GTS NX dasturiy kompleksida quyidagi fizik ko'rsatkichlarni aniqlash uchun materiallarning turli xil chiziqli-elastik va nochiziqli-elastik modellari amalga oshirilgan:

- ko'tarmaning X va Z o'qi bo'ylab siljishi;
- quvurning X va Z o'qi bo'ylab siljishi.

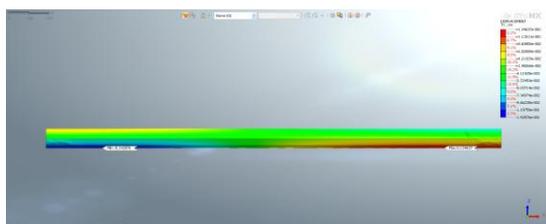
Balandligi 4,0 m bo'lgan ko'tarma ko'rinishidagi yo'l polotnosi uchun yuqorida keltirilgan fizik ko'rsatkichlarni aniqlash bo'yicha hisoblash natijalari mos ravishda 4-7-raslarda keltirilgan.



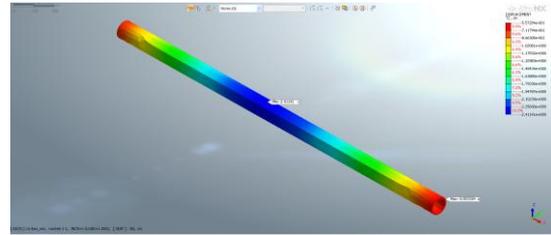
4-rasm. Ko'tarmaning X o'qi bo'ylab ko'chishi



5-rasm. Ko'tarmaning Z o'qi bo'ylab siljishi (Zmax=4.8163 sm)



6-rasm. Quvurning X o'qi bo'ylab siljishi



7-rasm. Quvurning Z o'qi bo'ylab siljishi (Z max= 2.41141 sm)

Huddi shunday hisoblar yuqorida keltirilgan boshlang'ich ma'lumotlar uchun ham bajarilgan va grunt namligining 2 ko'rsatkichi bo'yicha natijalari 3 va 4 - jadvallarda keltirilgan.

3-jadval

Grunt namligi 18% bo'lganda hisoblash ko'rsatkichlari, sm

Yuklama turi	Ko'rsatkichlar	Ko'tarma balandligi, m				
		2	3	4	5	6
Konstruksiyaning o'z og'irligidan	Ko'tarmaning X o'qi bo'ylab ko'chishi	0,15 9	0, 20 9	0, 26 4	0, 32 2	0, 37 7
	Ko'tarmaning Z o'qi bo'ylab ko'chishi	1,23 9	1, 62 1	1, 62 1	2, 49 8	2, 92 8
	Quvurning X o'qi bo'ylab siljishi	0,06 5	0, 07 6	0, 08 8	0, 12 6	0, 14 2
	Quvurning Z o'qi bo'ylab siljishi	1,10 9	1, 42 2	1, 74 9	1, 79 4	2, 40 4
Yo'llardan biridagi poyezd yuklamasini hisobga olgan holda	Ko'tarmaning X o'qi bo'ylab ko'chishi	0,25 6	0, 30 4	0, 35 3	0, 40 9	0, 46 7
	Ko'tarmaning Z o'qi bo'ylab ko'chishi	3,89 9	4, 32 3	4, 76 4	5, 27 5	5, 71 7
	Quvurning X o'qi bo'ylab siljishi	0,10 4	0, 10 6	0, 14 1	0, 18 2	0, 19 2
	Quvurning Z o'qi bo'ylab siljishi	1,88 1	2, 13 6	2, 41 4	2, 84 3	2, 98 9
Ikkala yo'lidagi poyezd yukini hisobga olgan holda	X o'qi bo'ylab ko'tarmaning ko'chishi	0,35 7	0, 40 7	0, 46 5	0, 51 4	0, 56 8
	Ko'tarmaning Z o'qi bo'ylab ko'chishi	4,42 8	4, 87 8	5, 34 9	5, 98 6	6, 34 8
	Quvurning X o'qi bo'ylab siljishi	0,14 5	0, 16 5	0, 18 9	0, 23 4	0, 25 3
	Quvurning Z o'qi bo'ylab siljishi	2,55 7	2, 79 4	3, 04 6	3, 3 6	3, 56 6



4-jadval

## Grunt namligi 28% bo'lganda hisoblash ko'rsatkichlari, sm

Yuklama turi	Ko'rsatkichlar	Ko'tarma balandligi, m				
		2	3	4	5	6
Konstruksiyaning o'z og'irligidan	Ko'tarmaning X o'qi bo'yab ko'chishi	0, 15 9	0, 20 9	0, 26 4	0, 32 2	0, 37 7
	Ko'tarmaning Z o'qi bo'yab ko'chishi	1, 23 9	1, 62 1	2, 12 1	2, 49 8	2, 92 8
	Quvurning X o'qi bo'yab siljishi	0, 06 5	0, 07 8	0, 08 12	0, 12 14	0, 14 2
	Quvurning Z o'qi bo'yab siljishi	1, 10 9	1, 42 2	1, 74 9	2, 19 2	2, 40 4
Yo'llardan biridagi poyezd yuklanasini hisobga olgan holda	Ko'tarmaning X o'qi bo'yab ko'chishi	0, 25 3	0, 30 5	0, 35 4	0, 35 4	0, 46 3
	Ko'tarmaning Z o'qi bo'yab ko'chishi	3, 94 2	4, 37 1	4, 81 6	4, 81 6	5, 77 1
	Quvurning X o'qi bo'yab siljishi	0, 10 6	0, 12 2	0, 14 3	0, 14 3	0, 19 6
	Quvurning Z o'qi bo'yab siljishi	1, 87 9	2, 13 4	2, 41 1	2, 91 9	2, 98 6
Ikkala yo'lidagi poyezd yukini hisobga olgan holda	X o'qi bo'yab ko'tarmaning ko'chishi	0, 35 8	0, 40 9	0, 46 3	0, 46 3	0, 57 2
	Ko'tarmaning Z o'qi bo'yab ko'chishi	4, 46 1	4, 91 9	5, 39 8	5, 39 8	6, 41 2
	Quvurning X o'qi bo'yab siljishi	0, 14 7	0, 16 8	0, 19 2	0, 19 2	0, 25 9
	Quvurning Z o'qi bo'yab siljishi	2, 55 1	2, 79 6	2, 94 6	3, 45 8	3, 56 9

## 4. Xulosa

Modellashtirish natijalarining tahlili shuni ko'rsatdiki, ko'tarma tanasidagi gruntning siljishi yuklar va gruntning namlanish miqdoriga qarab o'zgaradi. Grunt namlanganda ko'tarmaning vertikal bo'yicha siljishi 2,928 sm ni tashkil etishi mumkin. Agar poyezd yo'llarning biridan o'tganda siljish 95% ga ohsa, qarama-qarshi yo'nalishdagi poyezdlar o'tganda u 1,17 marta ortadi.

## Foydalanilgan adabiyotlar / References

- [1] "O'zbekiston temir yo'llari" AJ ning 2015-yil 19-fevraldagi 76-N-sonli buyrug'iga ilova Sun'iy inshootlarni saqlash bo'yicha yo'riqnoma Toshkent - 2015 y.
- [2] SHNQ 3.06.07-23 "Ko'priklar va quvurlar. Tekshirish va sinash qoidalari" Gosarxitektstroya Respubliki Uzbekistan, g. Tashkent, 2008 g. 37 bet.
- [3] Джаббаров С.Т., Абдуалиев Э.Б. "Ўзбекистон темир йўллари" АЖ темир йўл тармоғида жойлашган сув ўтказувчи қувурларнинг техник ҳолатини баҳолаш

Innovative technologies in construction Scientific Journal– 2024 № 8 (1), 100-106

[4] Джаббаров С.Т., Абдуалиев Э.Б. "Ўзбекистон темир йўллари" АЖ темир йўл тармоғида жойлашган сув ўтказувчи қувурларнинг техник ҳолатини таҳлили O'zbekiston Respublikasi Favqulodda vaziyatlar vazirligi Akademiyasi "Yong'in-portlash xavfsizligi" ilmiy-amaliy elektron jurnal – 2023 № 1 № 4 (13) 189-194

[5] Djabbarov S.T., Abdualiyev E.B. " Uzbekistan railways" JSC Tashkent-Syrdarya analysis of the technical condition of water-conducting pipes located on the railway network Results of National Scientific Research International Journal– 2023 № 2 (5), 412-419

[6] Altunin V.I., Hydraulik Resistance of a Helically Corrugated Metal Pipe Culvert / V.I. Altunin, O.N. Chernikh // Power Technology and engineering, Volume 50, Issue 2, July, 2016. - P. 125-129

[7] Церех, С.Г. Прогнозирование поведения водопропускных труб с учетом деформаций и повреждений эксплуатационного характера/ С.Г. Церех, И.Г. Овчинников. — DOI <https://doi.org/10.15593/24111678/2022.03.09> // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. — 2022. — № 3. — С. 79–89

[8] Mekonnen A., Teklebrhan A. Modelling the influence of sub-grade material parameters on the response of railway line under moving train loads // Journal of Vibroengineering. – 2017. – Qabul qilingan: 5 iyun 2017; qayta ko'rib chiqilgan: 18 noyabr 2017; qabul qilingan: 28 noyabr 2017. – DOI: 10.21595/jve.2017.18725.

[9] Hermanns L., Fernández J., Alarcón E., Fraile A. Effects of traffic loads on reinforced concrete railroad culverts // Proceedings of the Technical University of Madrid. – Madrid: UPM, School of Industrial Engineering, 2017.

[10] Bian X., Cheng C., Jiang J., Chen R., Chen Y. Numerical analysis of soil vibrations due to trains moving at critical speed // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. – 2014. – Qabul qilingan: 30 mart 2014.

[11] Galvin P., Dominguez J. Experimental and numerical analyses of vibrations induced by high-speed trains on the Cordoba–Malaga line // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. – 2009. – Vol. 29, No. 4. – P. –

[12] Galvin P., Romero A., Dominguez J. Fully three-dimensional analysis of high-speed train–track–soil–structure dynamic interaction // Journal of Sound and Vibration. – 2010. – Vol. 329, No. 24. – P. 5147–5163.

## Mualliflar to'g'risida ma'lumot / Information about authors

**Djabbarov Saidburxon To'laganovich**

Toshkent davlat transport universiteti professori

Tel.: +998901852934

E-mail: [saidhon\\_inbox.ru](mailto:saidhon_inbox.ru)

<https://orcid.org/0000-0002-3798-407X>

**Abdualiyev Elyorbek Begali o'g'li**

Toshkent davlat transport universiteti Tel.: +998998379118

E-mail: [elyorekaeb@mail.ru](mailto:elyorekaeb@mail.ru)

<https://orcid.org/0000-0001-6367-6305>



## Research on the thermal conductivity of products made from industrial waste

Sh. Erboev<sup>1</sup><sup>a</sup>, I. Kyrgyzov<sup>1</sup>, R. Axmedov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Jizzakh Polytechnic Institute, Jizzakh, Uzbekistan

Abstract: The article provides information on the condition and types of building materials produced in our country on the basis of industrial waste.

Keywords: building materials produced on the basis of industrial waste, thermal insulation, energy saving, foam concrete, aerated concrete, asbestos

### Sanoat chiqindilari asosida tayyorlangan buyumlarning issiqlik o'tkazuvchanligini tadqiq qilish

Sh. Erboyev<sup>1</sup><sup>a</sup>, I. Qirgizov<sup>1</sup>, R. Axmedov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Jizzax politexnika instituti, Jizzax, O'zbekiston

Annotatsiya: Maqolada yurtimizda sanoat chiqindilari asosida ishlab chiqarilayotgan qurilish materiallarini xolati va materiallarining turlari to'g'risida ma'lumotlar keltirilgan.

Kalit so'zlar: Sanoat chiqindilari asosida ishlab chiqarilayotgan qurilish materiallari, issiqlik izolyatsiya, energiya tejash, ko'pikli beton, gazabeton, asbestsement

#### 1. Kirish

Jahon bo'yicha avtomobil yo'llari malakatning iqtisodiyotining rivojlanishida muhim rol o'ynaydigan infratuzilma inshootlaridan biridir. Shu bilan birgalikda yo'llarni loyihalash, qurish va ekspluatatsiya jarayonlari

Hozirda qurilish ashyolarini tayyorlashda sanoat va qishloq xo'jaligi ikkilamchi resurslarni ishlatish jarayoni katta miqdorda energiya va xom ashyo zaxiralarini tejashga olib keladi. Ikkilamchi resurslarni foydalanishga yo'naltirish uchun ekologik, iqtisodiy va texnik talablarga javob berish kerak. Shu sababli, ularning tarkibi, hosil bo'lish ko'lamini, ekologik tozaligi bo'yicha tasniflanish masalalari dolzarb hisoblanmoqda.

Sanoat chiqindilaridan foydalanib qurilish materiallari ishlab chiqarish atrof-muhitning ifloslanishi muammosini hal yetishga ko'maklashadi va chiqindilar bilan band bo'lgan foydali yer maydonlarini kengaytirilishga imkoniyat yaratiladi [1, 2, 3].

#### 2. Tadqiqot metodikasi

Hozirgi kunda keng ommalashib kelayotgan qurilish materiallarini ishlab chiqarishni takomillashtirish maqsadida ko'plab yangi loyihalar hayotga tatbiq etilib, ishlab chiqarishni modernizatsiyalash va rekonstruksiya qilish tadbirlari amalga oshirilmoqda. Shu bilan bir qatorda, chet el texnologiyalarini va investorlarni jalb qilish orqali joylarda korxonalar faoliyati yo'lga qo'yildi. Buning natijada tizimda gazabeton va ko'pikbeton, sendvich panellar, polistiroil asosida bezaklovchi panel va uning qismlari, tom yopma materiallari, plastik profil, namga chidamli gipsokarton, quruq qurilish qorishmalari, klinker, portlandsement va uning turlari, sopol plitkalar, zamonaviy yo'lak plitalari kabi import o'rnini bosuvchi mahsulotlar tayyorlash o'zlashtirildi. Ishlab chiqarilayotgan mahsulotlar

qurilish ob'ektlarida keng qo'llanilib, import sifatida respublikamizga kirib kelayotgan qurilish materiallari import hajmini bir necha barobar kamaytirish imkonini berdi. Hozirgi kunda ham mazkur sohadagi islohotlar davom ettirilishi natijasida, O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019 yil 20 fevraldagi «Qurilish materiallari sanoatini tubdan takomillashtirish va kompleks rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida»gi PQ-4198-sonli qarori qabul qilinganida ham ko'rish mumkin. Mazkur Qaror asosida «O'zqurilishmateriallari» aksiyadorlik jamiyati faoliyati tugatilib, «O'zsanoatqurilishmateriallari» uyushmasi tashkil etildi va alohida vazifa-funksiyalar belgilab berildi. [1].

O'zbekiston respublikasi Prezidentining 2019 – 2030 yillar davrida O'zbekiston respublikasining “yashil” iqtisodiyotga o'tish strategiyasini tasdiqlash to'g'risida PQ-4477 qarorida qurilish materiallari ishlab chiqarish sohasida quyidagi masalalarga to'xtalib o'tilgan:

-qurilish materiallari ishlab chiqarishda ikkilamchi resurslar va sanoat tarmoqlari (energetika, metallurgiya, kimyo sanoati)ning yirik tonnajli texnogen chiqindilaridan foydalanish hajmlarini oshirish;

-quyidagi qurilish materiallari: sement, g'isht, ohak, avtoklav usulidan foydalangan holda gazabetondan tayyorlangan buyumlar ishlab chiqarish, issiq saqlovchi materiallar, tom yopish materiallari, yog'och-qirindili plitalarni ishlab chiqarish bo'yicha innovatsion energiya samarador texnologiyalarni joriy etish.

Sanoat sohalaridan chiqayotgan chiqindilaridan foydalanib materiallar olishda ishlab chiqarishga sarflanadigan energiya resurslarini kamaytirishning ekologik masalalari va iqtisodiy muammolarini hal qilish imkonini beradi, bu esa o'z navbatida zararli sanoat chiqindilari miqdorini kamaytiradi.

Turli maqsadlar uchun qurilish ob'ektlarini loyihalash bosqichida, energiya resurslarini tejashga qaratilgan

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0003-4738-7014>

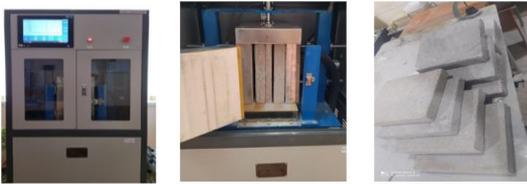


me'moriy, qurilish va muhandislik yechimlaridan foydalangan holda, binolarni isitish uchun energiya sarfini kamaytirish, shu bilan birga binolarda insonlarni yaxshi yashashi uchun qulay sharoitlarni yaratishdir.

Hozirgi vaqtda qurilish va muhandislikda ekologik toza, olovbardosh va issiqlik izolyasiya materiallariga ehtiyoj ortib bormoqda. Ushbu talablarga ko'pikli shisha, ko'pikli beton, gazbeton, ko'pikli silikat va g'ovakli shisha keramika kabi rivojlangan makrostrukturali silikat materiallari javob beradi. [2,3,4].

### 3. Muhokama va natijalar

Ma'lumki, bino qurilishida ishlatiladigan devor materiallarining issiqlik o'tkazuvchanlik xossalari material turining tuzilishiga bog'liq. Ta'kidlash joizki, materiallarning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti past ko'rsatkichga ega ekanligini hisobga olib, uning siqilish kuchi ham kamayadi. Qurilish materiallarining fizik-mexanik xossalarni o'rganish bilan bir qatorda issiqlik o'tkazuvchanlik xossalari bo'yicha tajriba ishlarini olib borish zarur. Materiallarning termofizik xususiyatlarini aniqlash usullari issiqlik manbai ta'sirida tana haroratining fazoviy o'zgarishi o'rtasidagi bog'liqlikni o'rnatadigan issiqlik o'tkazuvchanligi muammolarini hal qilishga asoslangan. Temperatura maydoni uning termofizik xarakteristikalariga bog'liq bo'lganligi uchun o'rganilayotgan jismning bir yoki bir necha nuqtalarida ma'lum harorat o'zgarishidan uning issiqlik va issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentlarini hamda shu bilan birgalikda issiqlikga qarshiligini hisoblash mumkin.



**1-rasm. Namunalarning issiqlik o'tkazuvchanligi va issiqlik qarshiligi koeffitsiyentini aniqlash laboratoriya uskunasi va sinov uchun tayyorlangan namunalar**

Ko'priknig ko'rib chiqilayotgan oraliq tayanchi temirbeton konstruksiyadan iborat (2-rasm). Hisoblash nuqtayi nazaridan, tizim murakkab ramali tizimdir. Tayyorlash usuliga ko'ra tayanch konstruksiyasini monolit konstruksiyaga kiritish mumkin.

### 4. Xulosa

Laboratoriyada sharoitida sanoat chiqindilari asosida turli tarkibli gazobeton va qurilish g'ishtini issiqlik o'tkazuvchanlik xossalarni o'rganish bo'yicha tajriba ishlari olib borildi. Tajriba davomida o'lchami 300x300x50 mm bo'lgan tarkibi mikrokremnezem, asbest sement chiqindilari qo'shilgan gazobeton va ko'pikli beton, shuningdek xo'l asbestosement chiqindilaridan to'liq foydalanilgan namunalardan tayyorlandi.

Biz o'tkazgan tajriba natijalari asosida quyidagi xulosaga kelish mumkin. Asbestosement chiqindilarining 15-20 foizi qo'shilgan gazobeton namunalarning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti va issiqqa chidamlilik xususiyatlari boshqa sinalgan namunalarga nisbatan ijobiy ko'rsatkichlarga ega ekanligi aniqlandi. Jumladan, tajriba namunalarning issiqlik o'tkazuvchanlik va termik qarshiligi koeffitsiyenti QMQ 2.01.04-97 me'yorlariga mos keladi

[5,6,7,8].

## Foydalanilgan adabiyotlar / References

- [1] Влажных отход производства асбестоцементных изделий. Строительные материалы, оборудование, технологии XXI в., №7, 2000.
- [2] Болдырев А.С. Использование отходов в промышленности строительных материалов.-М.: "Стройиздат", 1985.
- [3] Erboev, S. O., Axmedov, R. A., & Jo'rayeva, D. K. (2023). ОРАЛИҚ ҚУРИЛМАЛАРНИ ДИАГНОСТИКА ҚИЛИШ ТИЗИМЛАРИНИ ТАКОМИЛЛАШТИРИШ. Центральноеазиатский журнал образования и инноваций, 2(11), 201-204.
- [4] Erboev, S. O., & Axmedov, R. A. (2023). ЭКСПЛУАТАЦИЯ ҚИЛИНАЁТГАН КЎПРИКЛАРНИНГ ТЕХНИК ХОЛАТИ МОНИТОРИНГ ҚИЛИШ ТИЗИМИ. Центральноеазиатский журнал образования и инноваций, 2(11), 197-200.
- [5] Эрбоев, Ш. О. (2022). Кўприк таянчлари юк кўтариш қобилятини аниқлашнинг усуллари. Science and Education, 3(4), 241-246.
- [6] Эрбоев, Ш. О. (2015). Темир йўл кўприкларидagi носозликларни аниқлаш. Тошкент темир йўллари муhandислик институти АХБОРОТИ чорак журнали Toshtymi АХВОРОТ, 2, 28-31.
- [7] Ochiltoshevich, E. S. (2016). Organizational and structural measures to improve the process of operation concrete span. European science review, (9-10), 184-186.
- [8] Эрбоев, Ш. О. (2010). Оценка эксплуатационной пригодности элементов пролетных строений. Механика муаммолари, 1, 47-49.
- [9] Erboev Sh.O., Tilavov E.N., "Lak bo'yoq materiallar texnologiyasi" O'quv qo'llanma Jizzax 2022 y
- [10] Ганиев, И. Г., & Эрбоев, Ш. О. (2008, April). Результаты обследования и испытания эксплуатируемых пролетных строений железнодорожных мостов в условиях сухого жаркого климата. In Проблемы прочности материалов и сооружений на транспорте: Тезисы VII Международной конференции (Vol. 23, p. 24).
- [11] Ганиев, И. Г., & Эрбоев, Ш. О. (2007). Результаты обследования пролетных строений железобетонных железнодорожных мостов. Проблемы архитектуры и строительства//Научно-технический журнал.-2007, 2, 16-18.
- [12] Ишанходжаев, А. А., & Эрбоев, Ш. О. (2018). Классификация пролетных строений по прочности при сейсмических воздействиях. Меъморчилик ва қурилиш муаммолари» Сам ДАКИ, 4, 16-18.
- [13] Ганиев, И. Г., Эрбоев, Ш. О., & Соатова, Н. З. (2007). Эксплуатационное состояние железобетонных мостов в условиях сухого жаркого климата в Республике Узбекистан. Мости та тунелг теория, дослщження, практика: Тези доповщей Міжнар. науково-практично, 14-15.
- [14] Ганиев, И. Г., & Эрбоев, Ш. О. (2007). Характеристика существующего парка железнодорожных железобетонных мостов. Проблемы архитектуры и строительства. Научно-технический журнал, 3, 13.



**Mualliflar to'g'risida ma'lumot /  
Information about authors**

**Erboyev  
Shavkat  
Ochiltoshevich  
/ Erboev  
Shavkat** Jizzax Politehnika instituti, Qurilish  
materiallari va konstruksiyalari  
texnologiyasi kafedrası dotsenti, PhD.  
E-mail:  
[shavkaterboyev709@gmail.com](mailto:shavkaterboyev709@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0003-4738-7014>

**Qirgizov Ismat  
Musurmanqulo  
vich /** Jizzax Politehnika instituti, katta  
o'qituvchisi.  
E-mail:

**Kyrgyzov  
Ismat  
Musurmanqulo  
vich**

**Axmedov Rauf  
Abdurasul  
o'g'li /  
Akhmedov  
Rauf  
Abdurasul oglu** Jizzax Politehnika instituti, Qurilish  
materiallari va konstruksiyalari  
texnologiyasi kafedrası talabasi.  
E-mail: [raufaxmedov04@gmail.com](mailto:raufaxmedov04@gmail.com)



**K. Sultanov**

*Parameters of underground metro structure interaction with soil under seismic loads and methods for their determination.....8*

**B. Mardonov, N. Nishonov, M. Berdibaev, A. Khurramov, R. Azamov**

*Vibrations of a rigid beam elastically connected to deformable supports under seismic loads.....13*

**A. Belyi, Sh. Kadirova, M. Mamadaliev**

*Experience in Implementation and Prospects for the Development of Structural Health Monitoring Systems at Transport and Civil Infrastructure Facilities.....20*

**U. Shermukhamedov, Sh. Mirkhodjaev, A. Karimova, A. Abdullaev**

*On the issue of assessing a monolithic reinforced concrete overpass under seismic impacts.....24*

**I. Mirzaev, S.M. Gaynazarov**

*Mutual influence of parallel tunnels in an elastic medium in the epicentral zone of an earthquake.....31*

**Sh. Erboev, D. Juraeva**

*Modern building materials based on household waste and natural raw materials.....37*

**Kh. Akramov, R. Ametov**

*Physicochemical analysis of expanded clay concrete modified with mineral and chemical additives.....39*

**Z. Rakhimjonov, A. Khurramov**

*Application of new seismically insulated supporting parts for seismic protection of bridge intermediate buildings.....44*

**E. Shipacheva, Z. Muradov**

*Concrete for Additive Construction Production in Dry Hot Climate Conditions for Transport Infrastructure.....49*

**I. Mirzaev, U. Shermukhamedov, A. Karimova, A. Abdullaev**

*Seismic Performance of Continuous Monolithic Bridges.....54*

**A. Khasanov, Z. Khasanov, B. Kurbanov, B. Toshmukumov**

*Use of basalt reinforcement, mesh, and fabrics as structural materials in geotechnical and earthworks.....59*

<b>U. Shermukhamedov, Y. Khakimova</b> <i>The problem of load combination in earthquake resistance theory ..65</i>	65
<b>Sh. Normurodov</b> <i>Monitoring the technical condition of operating transport tunnels.....70</i>	70
<b>K. Lesov, M. Kenjaliyev, O. Mirzakhidova</b> <i>Methodology for assessing the dynamic impact of rolling stock on the subgrade and justification for its reinforcement in the area of rail joints.....75</i>	75
<b>V. Soy, N. Mukhammadiev, G. Malikov, D. Tursinaliyev</b> <i>Justification of the purposes of using basalt fiber in cement concrete.....80</i>	80
<b>I. Mirzaev, D. Askarova</b> <i>Oscillation of a prestressed span structure of a reinforced concrete railway bridge with mass in horizontal motion.....84</i>	84
<b>U. Rakhmanov, G. Ismailova</b> <i>Methods for determining soil pressure on underground structures under seismic influence.....89</i>	89
<b>A. Karimova, M. Abdurasulova</b> <i>Methodology for Assessing Embodied Carbon in Bridge Structures.....94</i>	94
<b>Kh. Urazov</b> <i>Economic efficiency of implementing modern prefabricated reinforced retaining walls.....98</i>	98
<b>I. Makhamataliyev, V. Soy, N. Mukhammadiev, G. Malikov</b> <i>Assessment of the block strength of dispersely-armonized basalt fiber, complex-modified small-grain fiber concrete.....105</i>	105
<b>A. Abdullaev</b> <i>Identification and Assessment of Critical Spatial Deformations and Internal Force States of Continuous Monolithic Reinforced Concrete Bridges under Strong Seismic Actions Using MiDAS Civil .....109</i>	109
<b>Sh. Nishonboev, Z. Mirzayeva, Kh. Urazov, A. Abdusattorov</b> <i>Optimization of the design of bridge intermediate supports.....112</i>	112

**S. Djabbarov, E. Abdaliyev**

*Subsidence of the railway track embankment at the boundaries of water pipelines.....115*

**Sh. Erboev, I. Kyrgyzov, R. Akhmedov**

*Research on the thermal conductivity of products made from industrial waste.....119*