

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



ENGINEER

A bridge between science and innovation

E-ISSN: 3030-3893

ISSN: 3060-5172

SPECIAL ISSUE

16-iyun, 2025



engineer.tstu.uz

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

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

Equations of motion of a polymer pipeline interacting with the ground under seismic influences

U. Rakhmanov¹, Z. Mirzayeva¹, G. Ismailova¹, A. Abdusattorov¹

¹Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: In this article, studies of the stress-strain state of pipes made of polymer materials interacting with the soil under seismic influences were conducted. To solve such a problem, the equations of motion of underground pipelines with corresponding initial, boundary, and contact conditions were derived. The interacting "pipeline-soil" system is considered as a two-layer cylinder, the first layer of which is the soil, and the second is the pipeline. Assuming that a seismic wave propagates in the soil in the direction of the pipeline axis, the equations of motion of the interacting "pipeline-soil" system have been derived. Changes in the pressure of the soil on the pipeline, as well as the stress-strain state of the pipeline and the surrounding soil under conditions of rigid contact or contact, taking into account the movement of the pipeline relative to the soil, depending on the physical and mechanical properties of the soil, the coefficient of interaction of the structure with the soil, the depth of the pipeline and its geometric dimensions, as well as the direction of seismic forces, were investigated.

Keywords: polymer / pipeline-soil / double-layered cylinder / seismic wave / soil pressure / stress-strain state / rigid/grid conditions.

Уравнения движения полимерного трубопровода взаимодействующей с грунтом при сейсмических воздействиях

Рахманов У.¹, Мирзаева З.¹, Исмаилова Г.¹, Абдулсатторов А.¹

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация: В данной статье проведены исследования напряженно-деформированного состояния труб из полимерных материалов взаимодействующих с грунтом при сейсмических воздействиях. Для решения такой задачи выведены уравнения движения подземных трубопроводов с соответствующими начальными, граничными и контактными условиями. Рассмотрена взаимодействующая система "трубопровод-грунт" как двухслойный цилиндр, первый слой которого представляет собой грунт, а второй - трубопровод. Трубопровод подвержен внутреннему давлению со стороны воды с температурой T . Предполагая, что в грунте в направлении оси трубопровода распространяется сейсмическая волна, выведены уравнения движения взаимодействующей системы "трубопровод-грунт". Исследованы изменения давления грунта на трубопровод, а также напряженно - деформированное состояние трубопровода и окружающего его грунта в условиях жесткого контакта или контакта с учетом перемещения трубопровода относительно грунта, в зависимости от физико-механических свойств грунта, коэффициента взаимодействия сооружения с грунтом, глубины заложения и геометрических размеров трубопровода, а также от направления действия сейсмических сил.

Ключевые слова: полимер / трубопровод-грунт / двухслойный цилиндр / сейсмическая волна / давления грунта / напряженно - деформированное состояние / условиях жесткого / сеточной области.

1. Введение

В настоящее время трубы из полимерных материалов сменяют привычные стальные и чугунные трубопроводы. Происходит это не только в глобальных масштабах – замена общегородских коммуникаций, новое строительство, производство, но и в частном секторе. Отопление, канализация, вода – и газоснабжение – все эти процессы обслуживают полимерные трубы, которые могут быть изготовлены из пластика разного типа, что определяет их пригодность к эксплуатации в той или иной сфере. В работах /1,2/ приведены классификация и допустимые параметры для пластмассовых труб, выбор материала и типа труб, гидравлический расчет трубопроводов, расчет трубопроводов, расчетные характеристики материалов, нагрузки и воздействия, определение толщины стенки

трубопроводов, проверка прочности и устойчивости надземных трубопроводов, статический расчет труб, укладываемых в землю и методика прочностного расчета трубопроводов из полимерных материалов при подземной прокладке. В результате проведенного обзора литератур нормативных документов посвященных расчету труб из полимерных материалов установили, что во всех этих работах приводится только статический расчет труб, ни в какой из выше рассмотренных источников нет расчета полимерных труб на динамические или сейсмические воздействия.

2. Материалы и методы

В связи с этим решили провести исследования НДС труб из полимерных материалов взаимодействующих с грунтом при сейсмических воздействиях. Для решения



такой задачи нами выведены уравнения движения подземных трубопроводов с соответствующими начальными, граничными и контактными условиями (рис. 1).

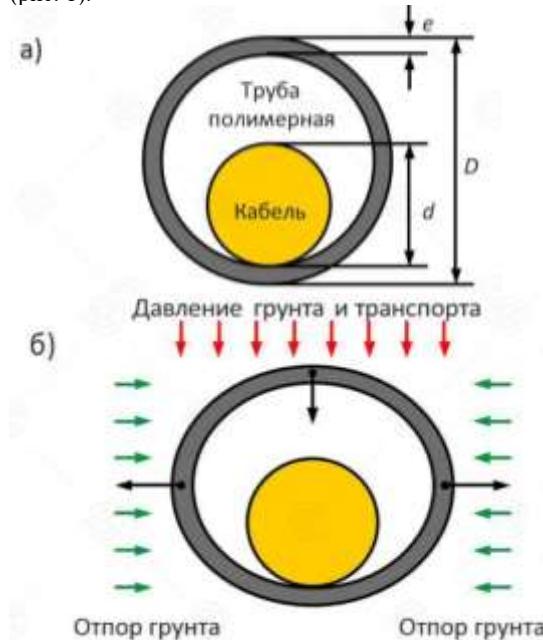


Рис. 1. Полимерная труба: без давления грунта (а), с давлением грунта (б)

Рассмотрим взаимодействующую систему “трубопровод-грунт” как двухслойный цилиндр, первый слой которого представляет собой грунт, а второй - трубопровод. Трубопровод подвержен внутреннему давлению со стороны воды с температурой T . Предположим, что в грунте в направлении оси трубопровода распространяется сейсмическая волна, закон движения которой задан в виде

$$U_0 = \Phi_1(r, x, t), W_0 = \Phi_2(r, x, t). \quad (1)$$

Необходимо исследовать изменения давления грунта на трубопровод, а также напряженно - деформированное состояние трубопровода и окружающего его грунта в условиях жесткого контакта или контакта с учетом перемещения трубопровода относительно грунта, в зависимости от физико-механических свойств грунта, коэффициента взаимодействия сооружения с грунтом, глубины заложения и геометрических размеров трубопровода, а также от направления действия сейсмических сил.

Исходя из того, что компонента $V\phi=0$ и остальные компоненты не зависят от ϕ , предположим, что система “трубопровод-грунт” находится в осесимметричном напряженно-деформированном состоянии, и поставленную задачу сформулируем следующим образом.

Вывод уравнений движений и подбор начальных, граничных и контактных условий

Дифференциальные уравнения движения в напряжениях осесимметричного напряженно-деформированного состояния взаимодействующей

системы “трубопровод-грунт” в цилиндрической системе координат имеют вид:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_{rr}^1}{\partial r} + \frac{\partial \tau_{rx}^1}{\partial r} + \frac{\partial \sigma_{rr}^1 - \partial \sigma_\theta^1}{r} + F_1(r, x, t) - G^1 \\ = \rho^1 \frac{\partial^2 W^1}{\partial t^2} + \rho^1 \alpha_r \frac{\partial W^1}{\partial t}, \\ \frac{\partial \sigma_{xx}^1}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{rx}^1}{\partial r} + \frac{\tau_{rx}^1}{r} + F_2(r, x, t) = \rho^1 \frac{\partial^2 U^1}{\partial t^2} + \rho^1 \alpha_x \frac{\partial U^1}{\partial t}, \\ \frac{\partial \sigma_{rr}^{11}}{\partial r} + \frac{\partial \tau_{rx}^{11}}{\partial x} + \frac{\sigma_{rr}^{11} - \sigma_\theta^{11}}{r} - G^{11} = \rho^{11} \frac{\partial^2 W^{11}}{\partial t^2}, \quad (2) \\ \frac{\partial \sigma_{xx}^{11}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{rx}^{11}}{\partial r} + \frac{\tau_{rx}^{11}}{r} = \rho^{11} \frac{\partial^2 U^{11}}{\partial t^2}, \\ \text{где } F_1 = \rho^1 \frac{\partial^2 U_0}{\partial t^2}, \quad F_2 = \rho^1 \frac{\partial^2 W_0}{\partial t^2}, \end{aligned}$$

Запишем уравнения (1) в перемещениях. После некоторых математических преобразований система уравнений (1) будут выглядеть следующим образом

$$\rho^1 \frac{\partial^2 W^1}{\partial t^2} + \rho^1 \alpha_r \frac{\partial W^1}{\partial t} = L_1[\bar{U}]^1 + \Phi_1(r, x, t) - G^1,$$

$$\rho^1 \frac{\partial^2 U^1}{\partial t^2} + \rho^1 \alpha_x \frac{\partial U^1}{\partial t} = L_2[\bar{U}]^1 + \Phi_2(r, x, t),$$

$$\rho^{11} \frac{\partial^2 W^{11}}{\partial t^2} = L_1[\bar{U}]^{11} - G^{11}, \quad (3)$$

$$\rho^{11} \frac{\partial^2 U^{11}}{\partial t^2} = L_2[\bar{U}]^{11}, \quad (4)$$

где $L_1[\bar{U}]^1, L_2[\bar{U}]^1$ – имеют вид

$$L_1[\bar{U}] = (\lambda + 2\mu)^i \left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial x} - \frac{1}{r^2} \right) W^i + \mu^i \frac{\partial^2 W^i}{\partial x^2} + (\lambda + \mu) \frac{\partial^2 U^i}{\partial r^2},$$

$$L_2[\bar{U}]^i = (\lambda + 2\mu)^i \frac{\partial^2 U^i}{\partial r^2} + \mu^i \left(\frac{\partial}{\partial r^2} + \frac{\partial}{r \partial r} \right) W^i + (\lambda + \mu)^i \left(\frac{\partial^2}{\partial r \partial x} + \frac{\partial}{r \partial x} \right) W^i,$$

где λ_i, μ_i – упругие постоянные Л1. ($i=1,11$)

Начальные условия имеют вид:

при $t=0$

$$U^1=0, W^1=0, W^{11}=U^{11}=\frac{\partial W^{11}}{\partial t}=\frac{\partial U^{11}}{\partial t}=0. \quad (5)$$

Границные условия принимаем в виде при $x=0$

$$U^1=\Phi_1(r,0,t), W^1=\Phi_2(r,0,t),$$

$$U^{11}=U^1, W^{11}=W^1; \quad (6)$$

при $x=L$

$$U^1=W^1=0, \text{ при } t < \frac{x}{C_{li}} \quad (7)$$

Условия на границе при $x=L$ имеют некоторые особенности. Так как область грунта бесконечна, необходимо обеспечить удовлетворение условий отсутствия отраженных волн от внутренней границы сеточной области. Если область грунта рассматриваем как полупространство тогда для применения метода конечных разностей необходимо ограничиться конечной областью грунта и трубопровода, а на границе конечной области задавать условие отсутствия отраженных волн от внутренней границы сеточной области которая имеет вид [4,5]

$$\begin{aligned} \frac{\partial U^i}{\partial t} &= -C_{li} \frac{\partial U^i}{\partial x}, \\ \frac{\partial W^i}{\partial t} &= -C_{2i} \frac{\partial U^j}{\partial x} \text{ при } \\ t \geq \frac{x}{C_{li}}, \quad (i=1,11) \end{aligned} \quad (8)$$

при $r=R_1$

$$\begin{aligned} \rho_B \frac{R_1}{2} \frac{\partial^2 W^{11}}{\partial t^2} &= P(t) + (3\lambda^{11} + 2\mu^{11}) \alpha_i \theta + \sigma_{rr}^{11}, \\ \rho_B \frac{R_1}{2} \frac{\partial^2 U_B}{\partial t^2} &= \sigma_{rx}^{11}, \end{aligned} \quad (9)$$

при $r=R$

$$\sigma_{rr}^1 = P_i(t), \sigma_{rx}^1 = 0. \quad (10)$$

Условия жесткого контакта трубопровода с грунтом будут при $r=R$

$$U^1 = U^{11}, W^1 = W^{11}, \frac{\partial U^1}{\partial x} = \frac{\partial U^{11}}{\partial x}, \tau_{rx}^1 = \tau_{rx}^{11}, \quad (11)$$

$$W^1 = W^{11}, \frac{\partial U^1}{\partial x} = \frac{\partial U^{11}}{\partial x}, \tau_{rx}^1 = K_{rx}(U^1 - U^{11}), \\ \tau_{rx}^{11} = -K_{rx}(U^1 - U^{11}), \quad (12)$$

где K_{rx} - коэффициент взаимодействия трубопровода с грунтом;

W^1, W^{11} - соответственно, смещения грунта и трубопровода в радиальном направлении;

U^1, U^{11} - соответственно, смещения грунта и трубопровода в осевом направлении;

G^1, G^{11} - соответственно, удельный вес грунта и сооружения;

p^1, p^{11} - соответственно, плотность грунта и сооружения;

ρ_g - плотность воды;

$P(t)$ - закон изменения внутреннего давления воды;

$P_1(t)$ - закон изменения подвижной нагрузки на поверхности грунта;

α_i - коэффициент линейного температурного расширения для

материала сооружения;

θ - изменение температуры воды;

α_r, α_x - коэффициенты затухания энергии колебания среды.

3. Заключение

Таким образом, мы сформулировали общую задачу о поведении взаимодействующей системы "трубопровод-грунт" при прохождении сейсмических волн, выраженнымми формулами (3)-(12). Решив задачу (3)-(12) можем определить давление грунта на трубопровод, а также исследовать напряженно-деформированное состояние взаимодействующей системы "грунт-трубопровод".

Такой подход к решению задачи избавляет от применения сложного математического аппарата для получения аналитических решений. Задачу в такой постановке можно решить приближенно с применением какого-либо численного метода.

Использованная литература / References

[1] СН 550-82 Инструкция по проектированию технологических трубопроводов из пластмассовых труб

[2] Пособие по проектированию технологических трубопроводов из пластмассовых труб/НПО «Пластику» - М.; Стройиздат, 1984. – 144с.

[3] Рашидов Т.Р. Динамическая теория сложных систем подземных сооружений. Ташкент. Фан, 1973. 179 с.

[4] Сеймов В.М., Островерх Б.М., Ермоленко А.И. Динамика и сейсмостойкость гидротехнических сооружений. Киев. Наукова думка. 1983.

[5] Рахманов У. Алгоритм численного расчета осесимметричного напряженно-деформированного состояния подземных трубопроводов присейсмических воздействиях.

//Проблемы механики. 1999. № 2-3. С.29-32.

[6] Nazarov, B. R., Mirzaeva, Z. M., & Yuldashev, A. O. (2022). Determining the radius of round structures by a photographic method in determining its geometric parameters. Asian Journal of Multidimensional Research, 11(5), 236-239.

[7] Назаров, Б. Р., & Мирзаева, З. М. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО КОМПЛЕКСА. O'ZBEKİSTON RESPUBLİKASI, 202.

[8] A.A. Abdusattarov. Tonnell va ko‘priklarning buzilish xavfimi kamaytirish va deformatsiya holatida mustahkamligini oshirishni tadqiq qilish. // Inson kapitali va mehnatni muhofaza qilish. 2024. C.193-200.

Mualliflar to‘g‘risida ma‘lumot / Information about authors

Рахманов Усаркул Транспорт Университети, «Кўприклар ва тоннеллар» кафедраси т.ф.н., в.б. проф., <https://orcid.org/0000-0001-9702-0611>, tel:+99890358079 E-mail: usarkull1953@gmail.com

Мирзаева Замира Маҳамадази зовна Тошкент Давлат Транспорт Университети, «Кўприклар ва тоннеллар» кафедраси катта ўқитувчи, <https://orcid.org/0000-001-6961-595X>, tel:+998903578301 E-mail: zmirzaeva83@mail.ru

Исмаилова Гулчехра Бакиджанова Тошкент Давлат Транспорт Университети, «Кўприклар ва тоннеллар» кафедраси катта ўқитувчи, <https://orcid.org/0000-002-4454-5147>, tel:+998998299539 E-mail: 8299539@inbox.ru

Абдузатторо в Аскархўжа Абдумавлон ўғли Тошкент Давлат Транспорт Университети, «Кўприклар ва тоннеллар» кафедраси докторант, <https://orcid.org/0000-0002-4073-8769>, tel:+998909056190 E-mail: asqarxoja6190@gmail.com

U. Rakhmanova, Z. Mirzayeva, G. Ismailova, A. Abdusattorov	
<i>Equations of motion of a polymer pipeline interacting with the ground under seismic influences.....</i>	186
Z. Sattorov , N. Madraymov	
<i>Prospects for the use of ash and rock waste as a secondary resource in the energy industry.....</i>	189
Z. Sattorov , I. Ganiev	
<i>Improving the properties of high-strength fibrobetones with local mineral filler and complex chemical additive.....</i>	193
U. Abdullaev	
<i>Optimization of concrete mixture compositions with a superplastifier additive as well as a binary microwave.....</i>	198
S. Yunusov, Sh. Mahmudova, M. Husainov, D. Muminov	
<i>Stress state analysis in belt drive systems and determination of their optimal operating modes.....</i>	202
Sh. Turdieu, U. Ziyamukhamedova	
<i>A literature review on the recycling of waste from medium-alloy high-speed steel using green technologies for the environmentally sustainable manufacturing of milling cutters.....</i>	207
M. Turakulov, N. Tursunov	
<i>Development and implementation of synthetic cast iron casting technology for the manufacture of a friction wedge.....</i>	212
M. Turakulov, N. Tursunov	
<i>Investigation of the conditions forming the operational characteristics of the friction wedge of the vibration damper.....</i>	215
H. Samandarov, J. Sobirov, A. Ibadullaev, E. Teshabaeva, N. Sipatdinov	
<i>Development of rubber compounds for machine-building purposes</i>	219
D. Khodzhikoriev, M. Khamrakov, Z. Sayfullaeva, G. Khamrakov	
<i>Classification characteristics of furniture products</i>	224
D. Khodzhikoriev, M. Khamrakov, Z. Sayfullaeva, G. Khamrakov	
<i>Commodity research of furniture products.....</i>	227