

Scientific and technical journal «Technogenic and Ecological Safety»

RESEARCH ARTICLE
OPEN ACCESS

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СЕЙСМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА РЕЗЕРВУАРИ ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ РІДКИХ ВУГЛЕВОДНІВ, ВИГОТОВЛЕНИХ З НАНОКОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ

О. М. Сєрікова¹¹Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

УДК 504

DOI: 10.52363/2522-1892.2024.1.6

Отримано: 15 березня 2024

Прийнято: 24 квітня 2024

Cite as: Sierikova O. (2024). Study of the seismic loads influence on liquid hydrocarbon storage tanks made of nanocomposite materials. Technogenic and ecological safety, 15(1/2024), 62–66. doi: 10.52363/2522-1892.2024.1.6

Анотація

Пошкодження резервуарів внаслідок землетрусу в сейсмонезбезпечних та особливо в несейсмічних регіонах може призвести до серйозних соціальних, економічних та екологічних проблем, оскільки вони використовуються для зберігання важливих рідин, таких як вода для пиття та пожежогасіння, нафтопродукти та добрива. Резервуари для зберігання рідких вуглеводнів представляють особливий інтерес для наукової спільноти та широкої громадськості. Рідкі вуглеводні здебільшого легкозаймисті та вибухонебезпечні, отруйні та шкідливі, внаслідок витоку легко спричиняють катастрофічні аварії, такі як пожежа, вибух, серйозну загрозу життю людей та безпеці майна. Актуальним є дослідження властивостей матеріалів, що дозволяють забезпечити стабільну роботу резервуарів для зберігання рідких вуглеводнів в умовах природних і техногенних сейсмічних впливів. Метою роботи є дослідження впливу сейсмічних навантажень на резервуари для зберігання рідких вуглеводнів, виготовлених з нанокompозитних матеріалів для покращення стану екологічної безпеки прилеглих територій. Використання композитних матеріалів із нановключеннями в резервуарах для зберігання екологічно небезпечних рідин, дозволяє підвищити надійність резервуарів в умовах сейсмічних навантажень та продовжити їх експлуатаційний строк при дії природних та техногенних впливів різного характеру. Результати розрахунків показали, що використання композитних матеріалів із нановключеннями у вигляді сталевих сфер є найкращим варіантом для екологічно безпечної експлуатації резервуарів при сейсмічних навантаженнях. Проведені розрахунки дозволили побудувати необхідні системи основних функцій для дослідження вимушених коливань, а також впливу поверхневого натягу та нелінійних ефектів на коливання оболонок з рідиною.

Ключові слова: землетрус, сейсмічні навантаження, нанокompозити, плескання, резервуари рідких вуглеводнів, екологічна безпека, навколишнє природне середовище.

Постановка проблеми

Пошкодження резервуарів внаслідок землетрусу в сейсмонезбезпечних та особливо в несейсмічних регіонах може призвести до серйозних соціальних, економічних та екологічних проблем, оскільки вони використовуються для зберігання важливих рідин, таких як вода для пиття та пожежогасіння, нафтопродукти та добрива. Резервуари для зберігання рідких вуглеводнів представляють особливий інтерес для наукової спільноти та широкої громадськості. Слід зазначити, що при зберіганні вуглеводнів виникають певні труднощі через властивості таких речовин. Рідкі вуглеводні здебільшого легкозаймисті та вибухонебезпечні, отруйні та шкідливі, внаслідок витоку легко спричиняють катастрофічні аварії, такі як пожежа, вибух, серйозну загрозу життю людей та безпеці майна. Внаслідок забруднення ґрунтів рідкими вуглеводнями відбувається порушення екологічної рівноваги в ґрунтовій системі; зміна морфологічних, фізичних, хімічних і біологічних характеристик ґрунту та структури ґрунтового профілю; порушення природного співвідношення між окремими групами і фракціями органічної речовини ґрунту; проникнення нафти і нафтопродуктів у підземні води; зниження родючості ґрунту. Вихід з ладу таких резервуарів призводить до руйнівних наслідків, зокрема до знищення рибної промисловості, забрудненню поверхневих водних об'єктів, отруєнню джерел питного водопостачання.

При збільшенні вмісту рідких вуглеводнів в ґрунті починає проявлятися значний гнітючий ефект або повна загибель рослин [1–5].

Важливим чинником у виборі основних критеріїв створення оптимальних умов зберігання вуглеводнів є проектування резервуарів відповідно до сучасних стандартів і вимог. Велике значення для розгляду конструктивних особливостей резервуарів має тип розміщення і конструктивні особливості резервуарів. Важливим фактором є фізико-хімічні характеристики матеріалу бака [5, 6].

Для покращення стану екологічної безпеки процесу зберігання рідких вуглеводнів та територій прилеглих до резервуарів, необхідним є врахування безпечної конструкції резервуару, матеріалу резервуару, умов експлуатації, а також прогнозування впливів природних та техногенних факторів на ці об'єкти. Комплекс природних факторів, що має бути врахованим - це сейсмічні навантаження, блискавки, вітер, рівень ґрунтових вод в районі розташування резервуарів та ін. Серед техногенних факторів слід враховувати впливи будівельної діяльності, промислові аварії, вібраційні та сейсмічні впливи тощо.

Актуальним є дослідження властивостей матеріалів, що дозволяють забезпечити стабільну роботу резервуарів для зберігання рідких вуглеводнів в умовах природних і техногенних сейсмічних впливів [7–10].

Аналіз літератури

В більшості дослідницьких робіт, зокрема, Zheng J.-h. et al [11], Khalmuradov B. et al [12], Ibrahim H. A. [13], Звірко О. [14], Липовий В. О. та Удянський М. М. [15], розглядають впливи резервуарів для збереження екологічно небезпечних рідин на довкілля та проводиться моніторинг стану резервуарів, розраховується швидкість руйнування їх конструкції під дією техногенних та природних факторів, але ж сейсмічні навантаження на стійкість резервуарів досліджено недостатньо.

Дослідження проблем плескання рідини в резервуарах, проведено в роботах Ібрагіма Р.А. та ін. [16, 17]. Слід відмітити роботи, присвячені плесканню рідини в циліндричних резервуарах під дією сейсмічних навантажень [18–20]. В попередніх роботах авторів [4, 5] досліджено сейсмічні навантаження на резервуари нафтохранищ, запропоновано використання нанокompозитних матеріалів для забезпечення антистатичного ефекту та проведено моделювання міцнісних характеристик нанокompозитних матеріалів [21, 22], але використання нанокompозитів у якості матеріалу резервуарів для підвищення їх міцнісних характеристик не було досліджено.

Мета дослідження

Метою роботи є дослідження впливу сейсмічних навантажень на резервуари для зберігання рідких вуглеводнів, виготовлених з нанокompозитних матеріалів для покращення стану екологічної безпеки прилеглих територій.

Методи дослідження

Проведено розрахунки, що дають змогу побудувати необхідні системи базисних функцій для дослідження вимушених коливань, а також вивченню впливу поверхневого натягу та нелінійних ефектів при коливаннях оболонок з рідиною. Спочатку розглянуто порожню оболонку. На рис. 1 подані форми коливань такої оболонки за задані умови закріплення. Власні частоти коливань незаповненої оболонки подані для різних матеріалів подані в таблиці 1.

Зауважимо, що форми коливань співпадають для оболонок, що виготовлені з різних матеріалів, в той час як частоти відрізняються приблизно на 5..7%. Це дає змогу проводити відстроювання від небажаних резонансних частот, в тому числі за рахунок вибору відповідного матеріалу. Ці розрахунки відносяться до побудови першої системи базисних функцій згідно з [23].

Далі перейдемо до побудови другої системи базисних функцій, для чого розглянемо плескання рідини в жорсткому резервуарі. Використовуємо акустичне наближення. На рис. 2 подано сітку скінченних елементів для акустичного розрахунку.

Було обрано 31928 скінченних елементів, подальше збільшення їх кількості не привело до суттєвої зміни результатів. Для порівняння розрахунків був також використаний метод граничних елементів [23].

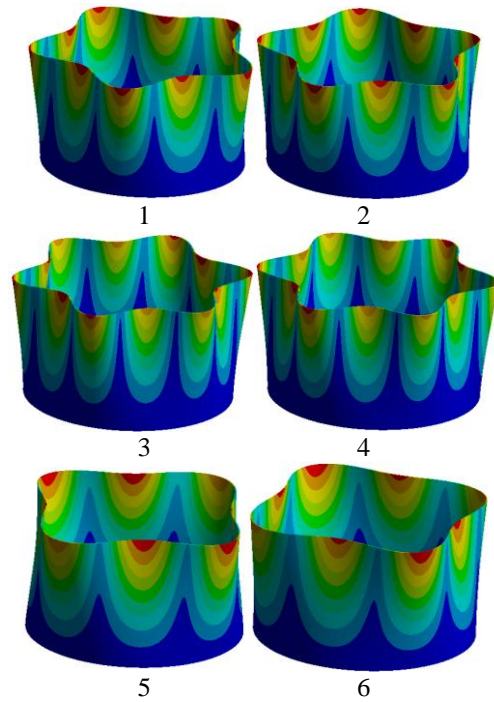


Рисунок 1 – Форми коливань незаповненої оболонки

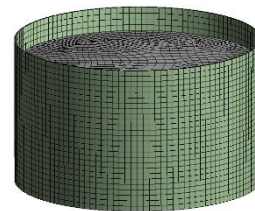


Рисунок 2 – Скінченно-елементна сітка для акустичного розрахунку

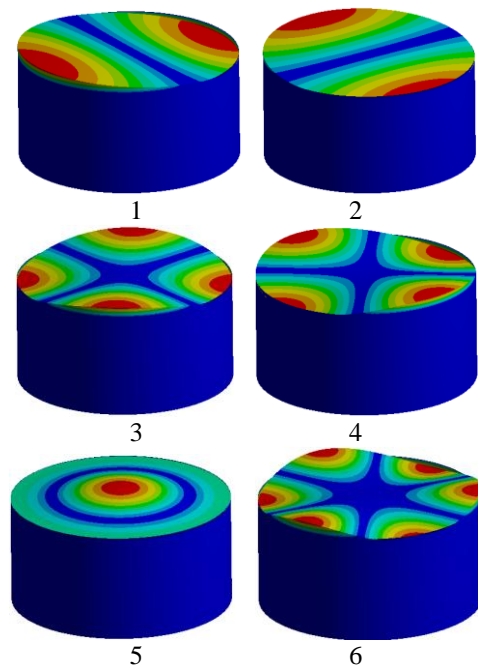


Рисунок 3 – Форми плескань вільної поверхні

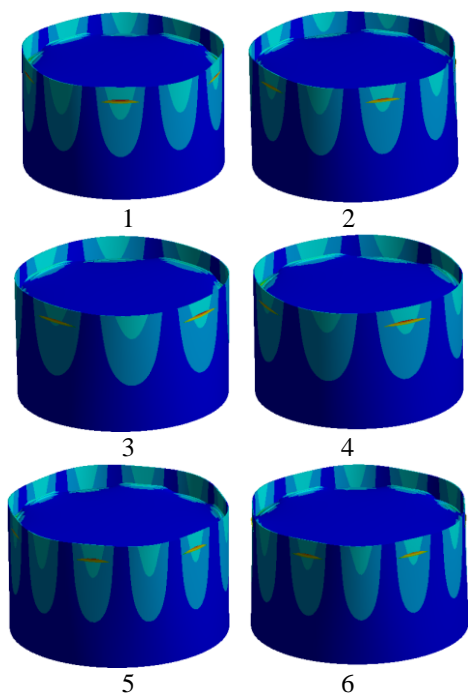


Рисунок 4 – Форми коливань оболонки з урахуванням пружності стінок

Таблиця 1 – Власні частоти коливань незаповненої оболонки, Гц

Матеріал	Алюміній	Композити			
		сталеві кулі	сталеві волокна	вуглецеві волокна	сталеві сфери
1	90,573	85,429	85,789	85,071	84,674
2	90,575	85,43	85,791	85,073	84,676
3	100,36	94,567	94,974	93,599	93,644
4	100,37	94,578	94,985	93,61	93,654
5	103,52	97,751	98,153	97,874	96,986
6	103,52	97,753	98,154	97,876	96,988

Таблиця 2 – Частоти плескань вільної поверхні рідини, Гц

Номер частоти	1	1	2	2	0	3
МСЕ	0,659	0,659	0,869	0,869	0,975	1,021
МГЕ	0,659	0,659	0,869	0,869	0,975	1,024

Таблиця 3 – Власні частоти гідропружних коливань оболонки, Гц

Матеріал	Алюміній	Композити			
		сталеві кулі	сталеві волокна	вуглецеві волокна	сталеві сфери
1	48,02	50,56	50,62	43,82	43,69
2	48,05	50,59	50,65	43,85	43,71
3	51,60	54,67	54,72	47,34	47,01
4	51,61	54,68	54,73	47,34	47,02
5	54,90	57,64	57,72	49,79	49,85
6	54,94	57,69	57,72	49,82	49,89

При цьому обиралось 100 граничних елементів вздовж циліндричної стінки, 100 елементів вздовж радіусу днища та 120 елементів вздовж радіусу вільної поверхні. Рис. 3 демонструє форми плескань поверхні рідини. В таблиці 2 наведені значення частот коливань вільної поверхні.

З приведених даних робимо висновок про вірогідність отриманих результатів. Зауважимо, що частоти плескань є найбільш низькими, вони не залежать від вибору матеріалу, принаймні при обраних співвідношеннях між геометричними характеристиками оболонки. Таким чином, другу систему базисних функцій побудовано.

Переходимо до визначення третьої системи базисних функцій. Для цього здійснюємо розрахунок в гідропружному формулюванні. Зауважимо, що нами запропоновано розшукувати потенціал швидкостей у вигляді суми двох потенціалів $\Phi = \Phi_1 + \Phi_2$. При цьому потенціал Φ_2 відповідає саме визначенню плескань вільної поверхні, тобто знаходиться як лінійна комбінація базисних функцій другої системи. Потенціал Φ_1 відповідає коливанням пружної оболонки з рідиною, але без врахування рухів вільної поверхні і зображується як лінійна комбінація базисних функцій третьої системи. Для визначення цих базисних функцій також можуть бути використані МСЕ та МГЕ.

Тут здійснено розрахунок за допомогою МСЕ. На рис. 4 зображені відповідні форми коливань. Таблиця 3 демонструє власні частоти коливань оболонки з урахуванням пружності стінок.

З наведених результатів можна зробити висновок про те, що форми коливань оболонок з різних матеріалів є однаковими, а різниця в частотах коливань сягає 5...7 %, що може виявитись суттєвим при проведенні відстроювання від резонансу [24–26].

Висновки

Використання композитних матеріалів із нановключеннями в резервуарах для зберігання екологічно небезпечних рідин, дозволяє підвищити надійність резервуарів в умовах сейсмічних навантажень та продовжити їх експлуатаційний строк при дії природних та техногенних впливів різного характеру. Результати розрахунків показали, що використання композитних матеріалів із нановключеннями у вигляді сталевих сфер є найкращим варіантом для екологічно безпечної експлуатації резервуарів при сейсмічних навантаженнях.

Проведені розрахунки дозволили побудувати необхідні системи основних функцій для дослідження вимушених коливань, а також впливу поверхневого натягу та нелінійних ефектів на коливання оболонок з рідиною.

Подальші дослідження стосуватимуться розгляду комбінації нановключень композиційних матеріалів резервуарів. Буде змодельовано комбіновані параметри композитних матеріалів із включеннями вуглецевих волокон та сталевих кульок.

ЛІТЕРАТУРА

1. Серікова О. М. Попередження екологічних небезпек резервуарів зберігання отруйних та легкозаймистих рідин при сейсмічних навантаженнях. *Вісник Кременецького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2023. № 5 (142). С. 42-48. DOI: 10.32782/1995-0519.2023.5.5
2. Кендзера О. В. Сейсмічна безпека і захист від землетрусів. Практичне впровадження розробок Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України. *Вісник НАН України*. 2015. № 2. С. 44-57.
3. Серікова О. М. Підвищення рівня екологічної безпеки резервуарів зберігання отруйних та легкозаймистих рідин при сейсмічних навантаженнях. *Екологічні науки*. 2023. № 6 (51). С. 130-135. DOI: 10.32846/2306-9716/2023.есо.6-51.21.
4. Серікова О. М., Стрельникова О. О., Крютченко Д. В. Оцінка сили сейсмічних навантажень на резервуари для збереження отруйних та легкозаймистих рідин. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління»*. 2021. Вип. 51. С. 70-80.
5. Нейтралізація статичної електрики в системах зберігання нафти шляхом застосування нанокompозитів із системами вуглецевих волокнистих включень / О. М. Серікова та ін. *Прикладні питання математичного моделювання* 2021. Т. 4, № 2.2. С. 159-168. DOI: 10.32782/KNTU2618-0340/2021.4.2.2.16.
6. Nanocomposites Implementation for Oil Storage Systems Electrostatic Protection / O. Sierikova et al. *Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering - 2021. ICTM 2021. Lecture Notes in Networks and Systems*. 2022. Vol. 367. Pp. 575-583. DOI: 10.1007/978-3-030-94259-5_49.
7. Забезпечення надійної експлуатації нафтових резервуарів у складних геотехнічних умовах при сейсмічних впливах / М. Л. Зоценко, Ю. Л. Винников, М. О. Харченко, І. І. Ларцева. *Проблеми та перспективи нафтогазової промисловості*. 2018. Вип. 2. С. 65-90.
8. Серікова О. М. Підвищення рівня екологічної безпеки території, прилеглої до місць розташування резервуарів рідких вуглеводнів. *Техногенно-екологічна безпека*. 2023. № 14(2/2023). С. 50-57. DOI: 10.52363/2522-1892.2023.2.6.
9. Free and forced vibrations of liquid storage tanks with baffles / E. Strelnikova, V. Gnitko, D. Krutchenko, Y. Naumenko. *Journal of Modern Technology and Engineering*. 2018. Vol. 3. No. 1. Pp. 15-52.
10. Серікова, О. М. Особливості техногенного впливу резервуарів з рідкими вуглеводнями на довкілля під час сейсмічних навантажень. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2024. Т. 34. № 2. С. 54-60. DOI: 10.36930/40340207.
11. A review on liquid sloshing hydrodynamics / J.-h. Zheng, M.-A. Xue, P. Dou, Y.-m. H. *Journal of Hydrodynamics*. 2021. Vol. 33. Issue 6. Pp. 1089-1104. DOI: 10.1007/s42241-022-0111-7.
12. Khalmuradov V., Harbuz S., Ablicieva I. Analysis of the technogenic load on the environment during Forced ventilation of tanks. *Technology audit and production reserves*. 2018. №1/3 (39). P. 45-52. DOI: 10.15587/2312-8372.2018.124341.
13. Ibrahim H. A., Syed H. S. Hazard Analysis of Crude Oil Storage Tank Farm. *International Journal of ChemTech Research*. 2018. Vol. 11. No. 11. Pp. 300-308.
14. Звірко О. Корозійна тривкість сталей тривало експлуатованих нафтосховищ. *Вісник ТНТУ*. 2011. Том 17. № 2. С. 58-64.
15. Липовий В. О., Удяньський М. М. Техногенні ризики забруднення довкілля під час експлуатування та ремонтних робіт резервуарів з нафтопродуктами. *Науково-практичний журнал НУТЗУ*. Харків, 2017. С. 185-191.
16. Ibrahim R. A., Pilipchuck V. N., Ikeda T. Recent Advances In Liquid Sloshing Dynamics. *Applied Mechanics Reviews*. 2001. Vol. 54, No. 2. Pp. 133-199.
17. Ibrahim R. A. *Liquid Sloshing Dynamics*. Cambridge University Press, New York, 2005. 948 p.
18. Free vibrations of shells of revolution filled with a fluid / E. Ventsel, V. Naumenko, E. Strelnikova, E. Yeseleva. *Engineering analysis with boundary elements*. 2010. Vol. 34. Pp. 856-862.
19. Numerical Simulation of Free Liquid-Induced Vibrations in Elastic Shells / K. Degtyarev, P. Glushich, V. Gnitko, E. Strelnikova. *International Journal of Modern Physics and Applications*. 2015. Vol. 1, No. 4. Pp. 159-168. DOI: 10.13140/RG.2.1.1857.5209.
20. Dynamic Response of Laminate Composite Shells with Complex Shape Under Low-Velocity Impact / N. Smetankina, A. Merkulova, D. Merkulov, O. Postnyi. *Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering - 2020. ICTM 2020. Lecture Notes in Networks and Systems*. 2021. Vol. 188. DOI: 10.1007/978-3-030-66717-7_22.
21. The Deformable and Strength Characteristics of Nanocomposites Improving / O. Sierikova, V. Koloskov, K. Degtyarev, O. Strelnikova. *Materials Science Forum*. 2021. Vol. 1038. Pp. 144-153.
22. The Effective Elastic Parameters Determining of Threedimensional Matrix Composites with Nanoinclusions. / E. Sierikova, E. Strelnikova, V. Koloskov, K. Degtyarev. *Problems of Emergency Situations: Proc. of International Scientific-practical Conference*. Kharkiv: NUCDU, 2021. Pp. 327-328.
23. Boundary Calculation Models for Elastic Properties Clarification of Three-dimensional Nanocomposites Based on the Combination of Finite and Boundary Element Methods / O. Sierikova, E. Strelnikova, V. Gnitko, K. Degtyarev. *2021 IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*. 2021. Pp. 351-356. DOI: 10.1109/KhPIWeek53812.2021.9570086.
24. Sierikova O., Strelnikova E., Degtyarev K. Seismic Loads Influence Treatment on the Liquid Hydrocarbon Storage Tanks Made of Nanocomposite Materials. *WSEAS Transactions on Applied and Theoretical Mechanics*. 2022. Vol. 17. Pp. 62-70. DOI: 10.37394/232011.2022.17.9.
25. Improving the Mechanical Properties of Liquid Hydrocarbon Storage Tank Materials / O. Sierikova, V. Koloskov, K. Degtyarev, E. Strelnikova. *Materials Science Forum*. 2022. Vol. 1068. Pp. 223-229. DOI: 10.4028/p-888232.
26. Reducing Environmental Hazards of Prismatic Storage Tanks under Vibrations / O. Sierikova, E. Strelnikova, D. Kriutchenko, V. Gnitko. *WSEAS Transactions on Circuits and Systems*. 2022. Vol. 21. Pp. 249-257. DOI: 10.37394/23201.2022.21.27.

Sierikova O.**STUDY OF THE SEISMIC LOADS INFLUENCE ON LIQUID HYDROCARBON STORAGE TANKS MADE OF NANOCOMPOSITE MATERIALS**

Earthquake damage to reservoirs in earthquake-prone and especially non-seismic regions could lead to serious social, economic and environmental problems, as they are used to store important liquids such as drinking and fire-fighting water, petroleum products and fertilizers. Liquid hydrocarbon storage tanks are of particular interest to the scientific community and the public. Liquid hydrocarbons are mostly flammable and explosive, poisonous and harmful, and due to leakage, they easily cause catastrophic accidents such as fire, explosion, serious threat to human life and property safety. It is relevant to study the properties of materials that allow for stable tank operation for the liquid hydrocarbons storage under natural and technogenic seismic influences conditions. The purpose of the work is to study the seismic loads impact on liquid hydrocarbon storage tanks made of nanocomposite materials to improve the environmental safety of the surrounding areas. The use of composite materials with nanoinclusions in tanks for storing environmentally hazardous liquids allows to increase the reliability of tanks under seismic loads and to extend their service life under the action of natural and technogenic influences of various origin. The results of the calculations have been shown that the use of composite materials with nanoinclusions in the steel spheres form is the best option for environmentally safe operation of tanks under seismic loads. The performed calculations allow to build the necessary systems of basic functions for the forced oscillations study, as well as the influence of surface tension and nonlinear effects on the oscillations of shells with liquid.

Key words: earthquake, seismic loads, nanocomposites, sloshing, liquid hydrocarbon reservoirs, environmental safety, environment.

REFERENCES

1. Sierikova, O. M. (2023). Poperedzhennja ekologichnyh nebezpek rezervuariv zberigannja otrujnyh ta legkozajmystyh ridyn pry sejsmichnyh navantazhennjah [Prevention of environmental hazards of poisonous and flammable liquid storage tanks under seismic loads]. *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, 5(142), 42-48. DOI: 10.32782/1995-0519.2023.5.5. [in Ukrainian]
2. Kenzdera, O. V. (2015). Sejsmichna nebezpeka i zahyst vid zemletrusiv. Praktyчне vprovadzhennja rozrobok Instytutu geofizyky im. S.I. Subbotina NAN Ukraïny [Seismic hazard and earthquake protection. Practical implementation of developments of the Institute of Geophysics. SI. Subbotin of the National Academy of Sciences of Ukraine]. *Bulletin of the NAS of Ukraine*, 2, 44-57. [in Ukrainian]
3. Sierikova, O. (2023). Pidvyshhennja rivnja ekologichnoi' bezpeky rezervuariv zberigannja otrujnyh ta legkozajmystyh ridyn pry sejsmichnyh navantazhennjah [Increasing the environmental safety level of poisonous and flammable liquid storage tanks under seismic loads]. *Ecological Sciences*, 6(51), 130-135. DOI: 10.32846/2306-9716/2023.eco.6-51.21. [in Ukrainian]
4. Sierikova, E., Strelnikova, E., & Kryutchenko, D. (2021). Ocinka syly sejsmichnyh navantazhen' na rezervuary dlja zberzhennja otrujnyh ta legkozajmystyh ridyn [Seismic loads estimation on the storage tanks for toxic and flammable liquids]. *Bulletin of V.N. Karazin Kharkiv National University, series "Mathematical modeling. Information technology. Automated control systems"*, 51, 70-80. DOI: 10.26565/2304-6201-2021-51. [in Ukrainian]
5. Sierikova, O. M., Strelnikova, O. O., Gnitko, V. I., Tonkonozhenko, A. M., & Pisia, L. A. (2021). Nejtralizacija statychnoi' elektryky v systemah zberigannja nafty shljahom zastosuvannja nanokompozytiv iz systemamy vuglecevyh voloknystyh vkljuchen' [Neutralization of static electricity in oil storage systems through application of nanocomposites with carbon fiber inclusions]. *Applied problems of mathematical modeling*, 4(2.2), 159-168. DOI: 10.32782/KNTU2618-0340/2021.4.2.2.16. [in Ukrainian]
6. Sierikova, O., Strelnikova, E., Gnitko, V., Tonkonozhenko, A., & Pisia, L. (2022). Nanocomposites Implementation for Oil Storage Systems Electrostatic Protection. *Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering - 2021. ICTM 2021. Lecture Notes in Networks and Systems*, 367, 575-583. DOI: 10.1007/978-3-030-94259-5_49.
7. Zotsenko, M. L., Vinnikov, Yu. L., Kharchenko, M. O., & Lartseva, I. I. (2018). Zabezpechennja nadijnoi' eksploatacii' naftovyh rezervuariv u skladnyh geotekhnichnyh umovah pry sejsmichnyh vplyvah [Ensuring reliable operation of oil tanks in difficult geotechnical conditions under seismic influences]. *Problems and prospects of the oil and gas industry*, 2, 65-90. [in Ukrainian]
8. Sierikova, O. (2023). Pidvyshhennja rivnja ekologichnoi' bezpeky terytorii', prylegloi' do misc' roztashuvannja rezervuariv ridkyh vuglevodniv [Increasing the environmental safety level of the territory adjacent to locations of liquid hydrocarbon reservoirs]. *Technogenic and ecological safety*. 14(2/2023), 50-57. DOI: 10.52363/2522-1892.2023.2.6. [in Ukrainian]
9. Strelnikova E., Gnitko V., Krutchenko D., & Naumenko Y. (2018). Free and forced vibrations of liquid storage tanks with baffles. *Journal of Modern Technology and Engineering*, 3(1), 15-52.
10. Sierikova, O. M. (2024). Osoblyvosti tehnogenного vplyvu rezervuariv z ridkymy vuglevodnjamy na dokillja pid chas sejsmichnyh navantazhen' [Some peculiarities of technogenic impact of liquid hydrocarbon tanks on the environment during seismic loads]. *Scientific Bulletin of UNFU*, 34(2), 54-60. DOI: 10.36930/40340207. [in Ukrainian]
11. Zheng, J.-h., Xue, M.-A., Dou, P., & He, Y.-m. (2021). A review on liquid sloshing hydrodynamics. *Journal of Hydrodynamics*, 33(6), 1089-1104. DOI: 10.1007/s42241-022-0111-7.
12. Khalmuradov B., Harbuz S., Ablicieva I. Analysis of the technogenic load on the environment during Forced ventilation of tanks. *Technology audit and production reserves*. #1/3 (39). 2018. P. 45-52. DOI: 10.15587/2312-8372.2018.124341
13. Ibrahim H. A., Syed H. S. Hazard Analysis of Crude Oil Storage Tank Farm. *International Journal of ChemTech Research*. Vol.11 No.11, 2018. P. 300-308.
14. Zvirko, O. (2011). Korozijna tryvkist' stalej tryvalo eksploatovanyh naftoshovyshh [Corrosion resistance of steels of long-operated oil storage facilities]. *Bulletin of TNTU*, 17(2), 58-64. [in Ukrainian]
15. Lypovy, V. O., Udyansky, M. M. (2017). Tehnogenni ryzyky zabrudnennja dokillja pid chas eksploatuvannja ta remontnyh robiv rezervuariv z naftoproduktamy [Technogenic risks of environmental pollution during operation and repair of tanks with petroleum products]. Kharkiv: NUGZU. [in Ukrainian]
16. Ibrahim, R. A., Pilipchuck, V. N., & Ikeda, T. (2001). Recent Advances In Liquid Sloshing Dynamics. *Applied Mechanics Reviews*, 54(2), 133-199.
17. Ibrahim, R. A. (2005). *Liquid Sloshing Dynamics*. Cambridge University Press, New York.
18. Ventsel, E., Naumenko, V., Strelnikova, E., & Yeseleva, E. (2010). Free vibrations of shells of revolution filled with a fluid. *Engineering analysis with boundary elements*, 34, 856-862.
19. Degtyarev, K., Glushich, P., Gnitko, V., & Strelnikova, E. (2015). Numerical Simulation of Free Liquid-Induced Vibrations in Elastic Shells. *International Journal of Modern Physics and Applications*, 1(4), 159-168. DOI: 10.13140/RG.2.1.1857.5209.
20. Smetankina, N., Merkulova, A., Merkulov, D., & Postnyi, O. (2021). Dynamic Response of Laminate Composite Shells with Complex Shape Under Low-Velocity Impact. *Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering - 2020. ICTM 2020. Lecture Notes in Networks and Systems*, 188, DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-66717-7_22.
21. Sierikova, O., Koloskov, V., Degtyarev, K., & Strelnikova, O. (2021). The Deformable and Strength Characteristics of Nanocomposites Improving. *Materials Science Forum*, 1038, 144-153.
22. Sierikova, E., Strelnikova, E., Koloskov, V., & Degtyarev, K. (2021). The Effective Elastic Parameters Determining of Threedimensional Matrix Composites with Nanoinclusions. *Problems of Emergency Situations: Proc. of International Scientific-practical Conference*, 327-328.
23. Sierikova, O., Strelnikova, E., Gnitko, V., & Degtyarev, K. (2021). Boundary Calculation Models for Elastic Properties Clarification of Three-dimensional Nanocomposites Based on the Combination of Finite and Boundary Element Methods. *2021 IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*, 351-356. DOI: 10.1109/KhPIWeek53812.2021.9570086.
24. Sierikova, O., Strelnikova, E., & Degtyarev, K. (2022). Seismic Loads Influence Treatment on the Liquid Hydrocarbon Storage Tanks Made of Nanocomposite Materials. *WSEAS Transactions on Applied and Theoretical Mechanics*, 17, 62-70. DOI: 10.37394/232011.2022.17.9.
25. Sierikova, O., Koloskov, V., Degtyarev, K., & Strelnikova, E. (2022). Improving the Mechanical Properties of Liquid Hydrocarbon Storage Tank Materials. *Materials Science Forum*, 1068, 223-229. DOI: 10.4028/p-888232.
26. Sierikova, O., Strelnikova, E., Kriutchenko, D., & Gnitko, V. (2022). Reducing Environmental Hazards of Prismatic Storage Tanks under Vibrations. *WSEAS Transactions on Circuits and Systems*, 21, 249-257. DOI: 10.37394/23201.2022.21.27.