

УДК 504.05

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.6-51.21>

ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ РЕЗЕРВУАРІВ ЗБЕРІГАННЯ ОТРУЙНИХ ТА ЛЕГКОЗАЙМИСТИХ РІДИН ПРИ СЕЙСМІЧНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ

Сєрікова О.М.

Національний університет цивільного захисту України
вул. Чернишевська, 94, 61023, м. Харків
sierikova_olena@ukr.net

Резервуари для зберігання отруйних та легкозаймистих рідин (РЗОЛР) є надзвичайно важливою системою, яка широко використовується в різних галузях промисловості. Особливої гостроти в останні роки набуває проблема слабосейсмічних і несейсмічних територій, схильних до техногенних землетрусів, викликаних підземними вибухами, видобутком корисних копалин і антропогенними впливами. Основними факторами природно-техногенної сейсмічної обстановки територій міст та інших населених пунктів є складна структурно-тектонічна та геолого-літологічна будова територій, розвиток небезпечних геологічних процесів. Під час землетрусів природного або техногенного походження, резервуари для зберігання рідини не тільки спричиняють прямі екологічні катастрофи, але й спричиняють пожежі, вибухи, ядерні витіки, отруєння людей і тварин тощо. Дослідження природних і техногенних впливів на резервуари для зберігання рідини може зменшити екологічну небезпеку систем зберігання отруйних та легкозаймистих рідин. Метою роботи є підвищення рівня екологічної безпеки резервуарів зберігання отруйних та легкозаймистих рідин шляхом впровадження управлінських та інженерних рішень щодо безпечної експлуатації резервуарів при дії сейсмічних навантажень. Досліджено використання композиційних матеріалів з нановключеннями в резервуарах для зберігання отруйних та легкозаймистих рідин, що дозволяє підвищити надійність резервуарів при сейсмічних навантаженнях і продовжити термін їх служби під впливом природних і техногенних впливів різного характеру. Було запропоновано управляти впливами природних та техногенних факторів на РЗОЛР враховуючи моделі прогнозів сейсмічних навантажень та коливань рідин в РЗОЛР використовуючи алгоритм дій у ході проведення моніторингу за сейсмічними навантаженнями на резервуари для збереження отруйних та легкозаймистих рідин. Представлені інженерні рішення, підкріплені результатами математичного моделювання та управлінські рішення щодо керування впливами на техногенні екологічно небезпечні об'єкти дозволять підвищити рівень екологічної безпеки резервуарів зберігання отруйних та легкозаймистих рідин та запобігти виникненню надзвичайних ситуацій. *Ключові слова:* екологічна безпека, резервуари, легкозаймиста рідина, сейсмічні навантаження, техногенний вплив.

Increasing the environmental safety level of poisonous and flammable liquid storage tanks under seismic loads. Sierikova O.

Tanks for the storage of toxic and flammable liquids are an extremely important system that is widely used in various industries. In recent years, the problem of low-seismic and non-seismic areas prone to technogenic earthquakes caused by underground explosions, mining and anthropogenic influences has become particularly acute. The main factors of the natural and technogenic seismic situation of the cities territories and other settlements are the complex structural-tectonic and geological-lithological structure of the territories, and the development of dangerous geological processes. During natural or technogenic earthquakes, liquid storage tanks not only cause direct environmental disasters, but also cause fires, explosions, nuclear leaks, poisoning of people and animals, etc. Investigation of natural and technogenic impacts on liquid storage tanks could reduce the environmental hazards of toxic and flammable liquid storage systems. The purpose of the work is to increase the environmental safety level of storage tanks for poisonous and flammable liquids by implementing management and engineering solutions for the safe operation of tanks under the seismic loads action. The use of composite materials with nanoinclusions in tanks for the storage of poisonous and flammable liquids has been studied, which allows to increase the reliability of the tanks under seismic loads and extend their service life under the influence of natural and technogenic influences of various nature. It has been proposed to manage the effects of natural and technogenic factors on the reservoirs, taking into account models of seismic loads forecasts and fluctuations of liquids in the reservoirs, using the algorithm of actions during the monitoring of seismic loads on tanks for the storage of poisonous and flammable liquids. The presented engineering solutions, supported by the mathematical modeling results and management solutions to manage impacts on technogenic ecologically dangerous objects, will increase the environmental safety level of storage tanks for poisonous and flammable liquids and prevent emergencies. *Key words:* environmental safety, tanks, flammable liquid, seismic loads, technogenic influence.

Постановка проблеми. Резервуари для зберігання отруйних та легкозаймистих рідин (РЗОЛР) є надзвичайно важливою системою, яка широко використовується в різних галузях промисловості. Особливої гостроти в останні роки набуває проблема слабосейсмічних і несейсмічних територій, схильних до техногенних землетрусів, викликаних підземними вибухами, видобутком корисних копалин і антропогенними впливами. Основними фак-

торами природно-техногенної сейсмічної обстановки територій міст та інших населених пунктів є складна структурно-тектонічна та геолого-літологічна будова територій, розвиток небезпечних геологічних процесів. Під час землетрусів природного або техногенного походження, резервуари для зберігання рідини не тільки негативно впливають на довкілля, але й можуть спричинити пожежі, вибухи, ядерні витіки, отруєння людей і тварин тощо.

Дослідження природних і техногенних впливів на резервуари для зберігання рідини може зменшити екологічну небезпеку систем зберігання отруйних та легкозаймистих рідин.

У більшості випадків за звичайних умов отруйні та легкозаймисті речовини перебувають у газоподібному або рідкому стані. Проте при виробництві, використанні, зберіганні і перевезенні газоподібні, як правило, стискають, приводячи в рідкий стан. Це різко скорочує займаний ними об'єм. Результатом зовнішнього природного чи техногенного впливу може бути порушення герметичності резервуару, його пошкодження чи руйнування. При аварії чи пошкодженні резервуару в атмосферне повітря викидаються отруйні речовини. Потрапляння отруйних та легкозаймистих рідин з резервуарів для їх зберігання в навколишнє природне середовище (НПС) та їх подальше розповсюдження на територію населених пунктів може бути причиною масових отруєнь людей, тварин, привести до забруднення об'єктів довкілля. Існує також можливість реалізації пожежної небезпеки об'єкта і ризику загибелі людей в результаті впливу небезпечних факторів пожежі у резервуарі для збереження отруйних та легкозаймистих рідин. Залежно від масштабів зараження аварії підрозділяються на приватні, об'єктові, місцеві, регіональні і глобальні [1–2]. Тому актуальним завданням є забезпечення екологічної безпеки резервуарів зберігання отруйних та легкозаймистих рідин.

Прогнозування впливу та аналіз техногенної небезпеки резервуару для збереження отруйних та легкозаймистих рідин передбачає [2]:

- аналіз пожежної небезпеки технологічної схеми і параметрів технологічних процесів на об'єкті;
- визначення частоти реалізації пожежонебезпечних аварійних ситуацій та параметрів для кожного технологічного процесу;
- побудова полів небезпечних факторів пожежі для різноманітних сценаріїв її розвитку;
- оцінка наслідків впливу небезпечних факторів пожежі на людей за різними сценаріями розвитку пожежі;
- наявність систем забезпечення пожежної безпеки [2];
- оцінку технічного стану резервуару;
- оцінку стану НПС поблизу резервуару та можливість впливу на стан резервуару;
- оцінку реального та потенційного впливу резервуару на НПС;
- планування та впровадження управлінських та інженерних заходів із попередження техногенного впливу на резервуар;
- контроль за додержанням вимог попередження техногенного впливу на резервуар;
- планування та впровадження управлінських та інженерних заходів із попередження негативного впливу резервуару на НПС та виникнення НС;

– контроль за додержанням вимог попередження негативного впливу резервуару на НПС та виникнення НС.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У наукових роботах X. Zhang [3], S. Wilson [4], Islamovic F. [5], L.A. Godoy [6], Jaca R.C. [7] досліджено оцінку значущості впливу резервуарів для зберігання рідких вуглеводнів на навколишнє середовище та моніторингу зміни герметичності колекторів, швидкості руйнування їх структури під дією техногенних і природних факторів. Питання, пов'язані з плесканням рідини в резервуарах, розглядалися в роботах Ібрагіма Р.А. [8]. Сейсмічні та ударні навантаження на тонкі оболонки розглядалися в [9–11].

Необхідність контролю та оцінки впливу наноматеріалів на навколишнє середовище для безпеки та ефективного використання нанотехнологій обґрунтовано в [12]. У роботах авторів [13, 14] розглянуто сейсмічні навантаження на резервуари нафтоховищ і запропоновано використання нанокompозитних матеріалів для забезпечення антистатичного ефекту нанокompозитних матеріалів. У роботах [15–17] досліджено механічні характеристики матеріалів з різними вклученнями. Але використання нанокompозитів як резервуарного матеріалу для підвищення їх міцнісних характеристик не досліджено.

В попередніх роботах автора [18] розглянуто використання нанокompозитів як матеріалів резервуарів для підвищення їх міцнісних характеристик.

Актуальною проблемою досі залишається управління впливами на резервуари зберігання отруйних та легкозаймистих рідин, зокрема сейсмічними навантаженнями різної інтенсивності та походження, а також підвищення їх міцнісних характеристик для запобігання негативного впливу на навколишнє природне середовище.

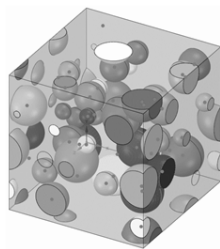
Метою роботи є підвищення рівня екологічної безпеки резервуарів зберігання отруйних та легкозаймистих рідин шляхом впровадження управлінських та інженерних рішень щодо безпечної експлуатації резервуарів при дії сейсмічних навантажень.

Новизна. Набули подальшого розвитку методи оцінки міцності сталевих конструкцій резервуарів під дією сейсмічних навантажень.

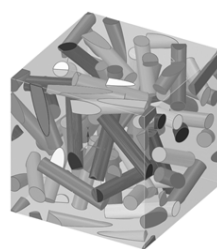
Методи досліджень. На прикладі розглянуто моделі резервуарів для вуглеводнів, виготовлених з композиційних матеріалів. Наведено дані про властивості матеріалів матриці та вклучень. Опрацьовано нанокompозити з алюмінієвою матрицею зі сталевими сферичними вклученнями та зі сталевими та вуглецевими вклученнями-волокнами.

Репрезентативні об'ємні елементи (репрезентативні комірки) для дослідження таких матеріалів представлені на рис. 1(а), 1(б), 1(в), 1(г).

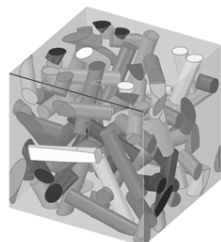
На рис. 1(а) показана типова комірка для алюмінієвої матриці зі сталевими вклученнями у формі наносфер (кульок) діаметром $d = 5\text{--}15$ нм, з об'ємною часткою нановклучень $V = 0,2$ від об'єму



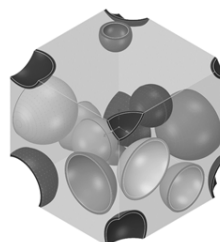
(а) представницька комірка для алюмінієвої матриці зі сталевими включеннями у вигляді наносфер (кульок)



(б) представницька комірка для алюмінієвої матриці з включеннями у формі сталевих включень-волокон



(в) представницька комірка для алюмінієвої матриці з включеннями у формі вуглецевих включень-волокон



(г) типова комірка для алюмінієвої матриці з включеннями у формі сталевих порожнистих сфер

Рис. 1. Репрезентативні комірки

матриці. На рис. 1(б) показана типова комірка для алюмінієвої матриці з включеннями у формі сталевих включень-волокон діаметром 5 нм, відносною довжиною $L/d = 5$, об'ємною часткою нановключень $V = 0,2$ від об'єму матриці. На рис. 1(в) показана типова комірка для алюмінієвої матриці з включеннями у формі вуглецевих включень-волокон діаметром 5 нм, відносною довжиною $L/d = 5$, об'ємною часткою нановключень $V = 0,2$ від об'єму матриці. На рис. 1(г) представлена типова комірка для алюмінієвої матриці з включеннями у формі сталевих порожнистих сфер діаметром $d = 5-15$ нм і товщиною $h = 0,5$ нм, з об'ємною часткою нановключень $V = 0,2$ об'єму матриці.

Далі за методикою, описаною в [18], розраховано ефективний модуль цих композитів. Результати розрахунків представлені в таблицях 1–4.

Результати розрахунків показали зміцнення отриманих композиційних матеріалів при зниженні щільності.

Результати дослідження та обговорення.

Досліджено використання композиційних матеріалів з нановключеннями в резервуарах для зберігання отруйних та легкозаймистих рідин, що дозволяє підвищити надійність резервуарів при сейсмічних навантаженнях і продовжити термін їх служби під впливом природних і техногенних впливів різного характеру (рис. 2). Результати розрахунків показали, що використання композиційних матеріалів з нановключеннями у вигляді сталевих сфер є оптимальним варіантом екологічно безпечної експлуатації резервуарів в умовах сейсмічних навантажень [18].

В роботі було запропоновано враховувати в управлінні впливами природних та техногенних факторів на РЗОЛР моделі прогнозів сейсмічних навантажень та коливань рідин в РЗОЛР використовуючи алгоритм дій у ході проведення моніторингу за сейсмічними навантаженнями на резервуари для збереження отруйних та легкозаймистих рідин (рис. 2).

Таблиця 1

Властивості композиту, армованого вуглецевими волокнами

Матеріал	Алюмінієвий сплав	Сталеві кульки	Композитний матеріал зі сталевими кульками
Щільність, кг / м ³	2770	7850	3787
Модуль Юнга X, ГПа	71	200	86,344
Модуль Юнга Y, ГПа	71	200	86,665
Модуль Юнга Z, ГПа	71	200	86,505
Коефіцієнт Пуассона XY	0,33	0,3	0,3205
Коефіцієнт Пуассона YZ	0,33	0,3	0,3225
Коефіцієнт Пуассона XZ	0,33	0,3	0,3216

Таблиця 2

Властивості композиту, армованого сталевими волокнами

Матеріал	Алюмінієвий сплав	Сталеві кульки	Композитний матеріал зі сталевими кульками
Щільність, кг / м ³	2770	7850	3759
Модуль Юнга X, ГПа	71	200	86,580
Модуль Юнга Y, ГПа	71	200	86,854
Модуль Юнга Z, ГПа	71	200	86,494
Коефіцієнт Пуассона XY	0,33	0,3	0,3193
Коефіцієнт Пуассона YZ	0,33	0,3	0,3219
Коефіцієнт Пуассона XZ	0,33	0,3	0,3230

Таблиця 3

Властивості композиту з вуглецевим волокном

Матеріал	Алюмінієвий сплав	Сталеві кульки	Композитний матеріал зі сталевими кульками
Щільність, кг / м ³	2770	1800	2574
Модуль Юнга X, ГПа	71	395	56,4
Модуль Юнга Y, ГПа	71	6	62,1
Модуль Юнга Z, ГПа	71	6	59,8
Коефіцієнт Пуассона XY	0,33	0,2	0,2727
Коефіцієнт Пуассона YZ	0,33	0,4	0,2819
Коефіцієнт Пуассона XZ	0,33	0,2	0,2868

Таблиця 4

Властивості композиту зі сталевими порожнистими сферами

Матеріал	Алюмінієвий сплав	Сталеві кульки	Композитний матеріал зі сталевими кульками
Щільність, кг / м ³	2770	7850	2574
Модуль Юнга X, ГПа	71	200	57,906
Модуль Юнга Y, ГПа	71	200	58,088
Модуль Юнга Z, ГПа	71	200	57,921
Коефіцієнт Пуассона XY	0,33	0,3	0,3111
Коефіцієнт Пуассона YZ	0,33	0,3	0,3148
Коефіцієнт Пуассона XZ	0,33	0,3	0,3140

Для задовільної роботи такого алгоритму запропоновано враховувати територію розміщення резервуару як потенційно забруднену в разі, коли прогнози щодо параметрів резервуарів не відповідають розрахункам протягом всього експлуатаційного терміну. Важливим та обов'язковим вважаємо врахування даних та прогнозів про сейсмічні зміни на території розташування РЗОЛР, про умови розташування резервуарів, про техногенні та природні впливи на резервуари та умов збереження отруйних та легкозаймистих рідин в комплексі необхідних заходів щодо забезпечення цілісності резервуару та мінімізації його впливу на навколишнє природне середовище.

Головні висновки. Досліджено використання композиційних матеріалів з нановключеннями в резервуарах для зберігання отруйних та легкозаймистих рідин, що дозволяє підвищити надійність резервуарів при сейсмічних навантаженнях і про-

довжити термін їх служби під впливом природних і техногенних факторів різного походження.

Було запропоновано управляти впливами природних та техногенних факторів на РЗОЛР враховуючи моделі прогнозів сейсмічних навантажень та коливань рідин в РЗОЛР використовуючи алгоритм дій у ході проведення моніторингу за сейсмічними навантаженнями на резервуари для збереження отруйних та легкозаймистих рідин.

Представлені інженерні рішення, підкріплені результатами математичного моделювання та управлінські рішення щодо керування впливами на техногенні екологічно небезпечні об'єкти дозволять підвищити рівень екологічної безпеки резервуарів зберігання отруйних та легкозаймистих рідин та запобігти виникненню надзвичайних ситуацій.

Перспективи використання результатів дослідження. Розроблені моделі, методи, алгоритми

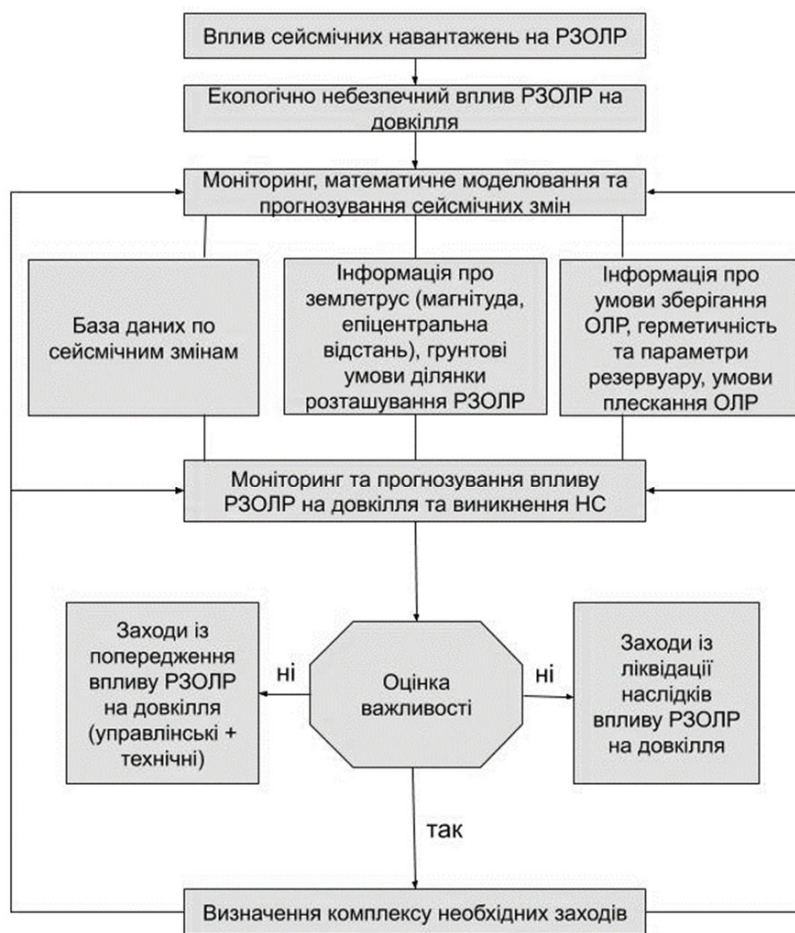


Рис. 2. Алгоритм дій у ході проведення моніторингу за сейсмічними навантаженнями на резервуари для збереження отруйних та легкозаймистих рідин

є основою для синтезу системи попередження екологічних небезпек резервуарів зберігання отруйних та легкозаймистих рідин, викликаних сейсмічними навантаженнями. Одержані результати можуть бути

використані під час проектування та при експлуатації резервуарів зберігання отруйних та легкозаймистих рідин, для оцінки екологічної небезпеки вже існуючих об'єктів.

Література

1. Борик В.В. Автоматизація розрахунків площ можливого і ширини прогнозованого хімічного забруднення з використанням об'єктно-орієнтованого програмного середовища. Фізика і хімія твердого тіла. 2015. Т. 16, № 3. С. 606–609. DOI: 10.15330/rscs.16.3.606-609.
2. Липовий В.О., Удяньський М.М. Техногенні ризики забруднення довкілля під час експлуатування та ремонтних робіт резервуарів з нафтопродуктами. Харків: НУГЗУ. 2017. 107 с.
3. Zhang X., Tang W., Zhang Q., Wang T. et al. Hydrodeoxygenation of lignin-derived phenolic compounds to hydrocarbon fuel over supported Ni-based catalysts. Applied Energy. 2018. V. 227. P. 73–79. doi: 10.1016/j.apenergy.2017.08.078
4. Wilson S., Zhang H., Burwell K., Samantapudi A., Dalemarre L., Jiang C., Rice L., Williams E., Naney C. Leaking Underground Storage Tanks and Environmental Injustice: Is There a Hidden and Unequal Threat to Public Health in South Carolina Environ. Justice 6, 2013, P. 175–182.
5. Islamovic F., Gaco Dž., Hodzic D., Bajramovic E. Determination of stress-strain state on elements of cylindrical tank structure. 9th International scientific conference on defensive technologies. OTEH 2020, October 8–9. Belgrade, Serbia. 2020, P. 1–6.
6. Godoy L.A., Jaca R.C., Ameijeiras M.P. On buckling of oil storage tanks under nearby explosions and fire in Fingas, M. (Ed.): Storage Tank Spills: Preventative Design, Causes, Case Histories, Chapter 2.6, Elsevier, Oxford, UK. 2021.
7. Jaca R.C., Godoy L.A., Calabro H.D., Espinosa S.N. Thermal post-buckling behavior of oil storage tanks under a nearby fire. Int. J. Pressure Vessels and Piping. 2021. vol. 189, N 1. P. 104289.
8. Ibrahim R. A. Liquid Sloshing Dynamics. Cambridge University Press, New York, 2005. 948 p.
9. Gnitko V., Marchenko U., Naumenko V., Strelnikova E. Forced vibrations of tanks partially filled with the liquid under seismic load. WIT Transaction on Modelling and Simulation. 2011. vol. 52, P. 285–296. DOI: 10.2495/BE110251.
10. Ugrimov S., Smetankina N., Kravchenko O., Yareshchenko V. Analysis of Laminated Composites Subjected to Impact. Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering-2020. 2021. vol. 188. Springer: Cham. P. 234-246. DOI: 10.1007/978-3-030-66717-7_19

11. Smetankina N., Kravchenko I., Merculov V., Ivchenko D., Malykhina A., Modelling of bird strike on an aircraft glazing. In: Nechyporuk, M., Pavlikov, V., Kritskiy, D. (eds) *Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering. Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020. vol. 1113. P. 289–297. DOI: 10.1007/978-3-030-37618-5_25
12. Vambol S., Vambol V., Suchikova Y., Deyneko N. Analysis of the ways to provide ecological safety for the products of nanotechnologies throughout their life cycle. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. vol. 1/10 (85). P. 27–36. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.85847>.
13. Strelnikova E., Kriutchenko D., Gnitko V., Degtyarev K. Boundary element method in nonlinear sloshing analysis for shells of revolution under longitudinal excitations. *Engineering Analysis with Boundary Elements*. 2020. vol. 111. P. 78–87. DOI: 10.1016/j.enganabound.2019.10.008
14. Серікова О.М., Стрельнікова О.О., Гнітько В.І., Тонконоженко А.М., Пісня Л.А. Нейтралізація статичної електрики в системах зберігання нафти шляхом застосування нанокompозитів із системами вуглецевих волокнистих включень. *Прикладні питання математичного моделювання* Т. 4, № 2.2. Херсон. 2021. С. 159–168. <https://doi.org/10.32782/KNTU2618-0340/2021.4.2.2.16>
15. Kovalov A., Otrosh Y., Rybka E., Kovalevska T., Togobytska V., Rolin I., Treatment of Determination Method for Strength Characteristics of Reinforcing Steel by Using Thread Cutting Method after Temperature Influence. In *Materials Science Forum*. Trans Tech Publications Ltd. vol. 1006. 2020. P. 179–184.
16. Surianinov M., Andronov V., Otrosh Y., Makovkina T., Vasiukov S.. Concrete and fiber concrete impact strength. *Materials Science Forum*. 1006 MSF. 2020. P. 101–106.
17. Danchenko Y., Andronov V., Barabash E., Obigenko T., Rybka E., Meleshchenko R., Romin A. Research of the intramolecular interactions and structure in epoxyamine composites with dispersed oxides. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. vol. 6, 12–90. P. 4–12.
18. Sierikova O., Strelnikova E., Degtyarev K. Srength Characteristics of Liquid Storage Tanks with Nanocomposites as Reservoir Materials. 2022 IEEE 3rd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek), 2022. P. 151–157. DOI: 10.1109/KhPIWeek57572.2022.9916369