

Scientific and technical journal «Technogenic and Ecological Safety»

RESEARCH ARTICLE
OPEN ACCESS

ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТЕРИТОРІЇ, ПРИЛЕГЛОЇ ДО МІСЦЬ РОЗТАШУВАННЯ РЕЗЕРВУАРІВ РІДКИХ ВУГЛЕВОДНІВ

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

УДК 504.05

DOI: 10.52363/2522-1892.2023.2.6

Отримано: 05 жовтня 2023

Прийнято: 29 листопада 2023

Cite as: Sierikova O. (2023). 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

Анотація

Скупчення легкозаймистих та горючих рідин на відносно невеликій площі резервуарного парку призводить до підвищеної екологічної та пожежної небезпеки таких виробництв. Можливе протікання небезпечної рідини та розгерметизація резервуарів негативно впливає на стан навколишнього природного середовища прилеглої території. Пожежа в резервуарі є однією з найнебезпечніших надзвичайних ситуацій, здатних призвести не лише до значних матеріальних та екологічних збитків, а й до людських жертв. Ситуація ускладнюється і економічно обумовленою тенденцією використання резервуарів більшого обсягу, що значно збільшує обсяг горючих рідин на одиницю площі. Це, у свою чергу, підвищує небезпеку поширення пожежі на сусідні резервуари за відсутності своєчасної локалізації та ліквідації вогнища. Актуальним і необхідним є вдосконалення методів дослідження властивостей матеріалів резервуарів рідких вуглеводнів та оцінка впливів зовнішніх факторів природного і техногенного походження на ці екологічно небезпечні об'єкти. В роботі розроблено методику визначення динамічних характеристик оболонкових конструкцій, що виготовлені із сталі, та частково заповнені рідиною (нафтопродуктами). Здійснено числовий аналіз динамічних характеристик для моделі резервуарів для збереження рідких вуглеводнів. Визначено оптимальні параметри оболонкових конструкцій для зменшення їх деформацій під час коливання рідини (на прикладі рідких вуглеводнів). Доведено, що врахування пружності стінок баків приводить до істотного зниження частот коливань в порівнянні з частотами незаповнених оболонок, при цьому найменші частоти заповнених і незаповнених оболонкових конструкцій можуть відповідати різним хвильовим числам. Подовження строку експлуатації резервуарів, збереження їх герметичності і стійкості при різних впливах природного і техногенного походження, попередження витоків, розливів та пожежної небезпеки є необхідним для підвищення рівня екологічної безпеки прилеглих територій.

Ключові слова: екологічна безпека, резервуари рідких вуглеводнів, нафтопродукти, екологічно небезпечний об'єкт, легкозаймиста рідина.

Постановка проблеми

Проблематика техногенного навантаження на навколишнє природне середовище від резервуарів для зберігання рідких вуглеводнів є ключовим питанням екологічної безпеки та сталого розвитку промислових територій як на території України, так і за її межами. Вплив сейсмічних навантажень на резервуари для зберігання рідких вуглеводнів призводить до порушення стійкості резервуарів, їх герметичності, що в свою чергу веде до забруднення атмосферного повітря, підземних і поверхневих вод та ґрунтів внаслідок аварійних виливів та пожеж на резервуарах для зберігання екологічно небезпечних речовин. Надзвичайні ситуації, що супроводжуються розливами рідких вуглеводнів, призводять до деградації екосистем, а отже є фактором екологічного ризику. Тому розроблення і впровадження екологічно безпечних та економічно ефективних способів зберігання рідких вуглеводнів є першочерговим завданням для зниження техногенного навантаження на навколишнє природне середовище при сейсмічних навантаженнях різної інтенсивності та походження [1].

Пожежа в резервуарі є однією з найнебезпечніших надзвичайних ситуацій, які, відповідно до Класифікатора надзвичайних ситуацій ДК 019:2010, можуть бути техногенного, природного, соціального та воєнного характеру і здатні призвести не лише до

значних матеріальних та екологічних збитків, а й до людських жертв. Ситуація ускладнюється і економічно обумовленою тенденцією використання резервуарів більшого обсягу, що значно збільшує обсяг горючих рідин на одиницю площі. Це, у свою чергу, підвищує небезпеку поширення пожежі на сусідні резервуари за відсутності своєчасної локалізації та ліквідації вогнища [2–4].

Небезпека резервуарів вуглеводнів пов'язана з низькою причин, найбільш характерними з яких є:

- висока пожежна небезпечність продуктів, що зберігаються;

- великі розміри конструкцій та пов'язана з цим довжина зварних швів, які важко проконтролювати по всій довжині;

- недосконалості геометричної форми, нерівномірні просідання основ;

- великі переміщення стінки, особливо у зонах геометричних спотворень проектною форми;

- висока швидкість корозійних пошкоджень;

- малоциклова втома окремих зон стінки конструкції;

- складний характер навантаження конструкції в зоні вторинного шва в поєднанні з практичною відсутністю контролю суцільності цих зварних з'єднань [5, 6].

Руйнування резервуарів та їх елементів відбувається як:

– пластичне руйнування, яке супроводжується значним розвитком пластичних деформацій при повторюваних навантаженнях за умови змінної плинності і прогресивного руйнування;

– крихке руйнування, яке супроводжується малою деформацією і виникає при концентрації зон напружень, низьких температурних або ударних впливах, а в більшості випадків при одночасній дії зазначених факторів;

– втомне руйнування, яке супроводжується утворенням і розвитком тріщин в результаті багаторазово повторюваних силових впливів від вібраційних та інших змінних навантажень, прикладених безпосередньо до резервуару [6, 7].

Тому актуальним і необхідним є вдосконалення методів дослідження властивостей матеріалів резервуарів та оцінка впливів зовнішніх факторів на ці екологічно небезпечні об'єкти [8].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проведені в роботі [9] дослідження показали, що для чотирьох видів заповнення резервуара максимальні напруження та деформації спостерігалися в елементах його стінки біля нижньої кромки. В стінці зовнішньої (захисної) ємності мала місце концентрація напружень біля патрубку для зливання пального.

В роботі [10] для геометричного контролю резервуару застосовано лазерне сканування.

В роботі Цибульника [11] визначено область появи небажаних напружень та пластичних деформацій, що відповідає швидкості повітряного потоку від 27,5 м/с до 54 м/с та максимальному тиску від 508 Па до розрахованого граничного значення $W_m = 1924$ Па.

В попередніх публікаціях автора [12–15] було проведено дослідження нановключень різної форми композитних матеріалів, що підвищують механічні властивості матеріалів резервуарів. Розглянуто нанокompозити з алюмінієвою матрицею яка містить сталіні сферичні, сталіні циліндричні та вуглецеві включення-волокна. Результати розрахунків демонструють зміцнення отриманих композитних матеріалів при одночасному зменшенні питомої щільності. Нанокompозитні матеріали дозволяють полегшити конструкцію резервуарів вуглеводнів, що важливо для нестационарних резервуарів.

Значна кількість робіт присвячена вдосконаленню системи функціональної діагностики резервуарів [16–19], а також впливам динамічних та кліматичних навантажень на резервуари рідких вуглеводнів [11]. Проте вібраційні впливи на резервуари рідких вуглеводнів вивчені недостатньо.

Постановка завдання та його вирішення

Для формулювання задачі використані рівняння руху в переміщеннях, які були отримані з рівнянь рівноваги у напруженнях з використанням закону Гука.

З урахуванням закону Гука рівняння руху в переміщеннях мають вигляд:

$$\mu \Delta u_j^e + (\lambda + \mu) \frac{\partial \vartheta^e}{\partial x_j} + X_j = \rho \frac{\partial^2 u_j^e}{\partial t^2};$$

$$\vartheta^e = \operatorname{div} \mathbf{u}^e = \frac{\partial u_1^e}{\partial x_1} + \frac{\partial u_2^e}{\partial x_2} + \frac{\partial u_3^e}{\partial x_3}, \quad (1)$$

$$j=1,2,3,$$

де λ, μ – коефіцієнти Ляме.

Для розв'язання рівнянь руху (1) застосовуємо метод зважених нев'язок. Невідомі подаємо у вигляді рядів за базисом з фінітних функцій $\{\psi_n\}_{n=1}^{N_1}$, а в якості пробних використовуємо функції з цього ж базису. Після інтегрування отриманого співвідношення за об'ємом та зведення частки об'ємних інтегралів до поверхневих отримуємо скінченно-елементне формулювання зазначеної задачі у вигляді

$$[\mathbf{M}_S] \ddot{\mathbf{u}}^e + [\mathbf{C}_S] \dot{\mathbf{u}}^e + [\mathbf{K}_S] \mathbf{u}^e = \{\mathbf{f}_S\} + \{\mathbf{f}_{pr}\}, \quad (2)$$

де $[\mathbf{M}_S], [\mathbf{C}_S], [\mathbf{K}_S]$ – матриці мас, демпфування та жорсткості, відповідно, $\{\mathbf{f}_S\}$ – вектор заданих зусиль, що діють на пружне тіло, $\{\mathbf{f}_{pr}\}$ – вектор зусиль, що характеризують тиск рідини на змочені поверхні пружного тіла. Для визначення вектору $\{\mathbf{f}_{pr}\}$ перейдемо до формулювання початково-крайової задачі з механіки рідини. Для опису рідини використовуються аналогічні рівняння руху. Використовуємо закони збереження маси та імпульсу з об'ємними силами $\mathbf{b}$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -\operatorname{div}(\rho \mathbf{V}_f) + Q, \quad \rho \frac{d\mathbf{V}_f}{dt} = \rho \mathbf{b} + \operatorname{div}(\boldsymbol{\sigma}_f), \quad (3)$$

де $\mathbf{V}_f$ – вектор швидкості, ρ – густина рідини, Q – джерело мас, t – час.

Тензор напружень визначаємо таким чином:

$$\boldsymbol{\sigma}_f = -\left(p + \frac{2}{3}\mu\right) \mathbf{I} + \dot{\mathbf{S}};$$

$$\frac{\partial p}{\partial \rho} = c^2, \quad (4)$$

де $\dot{\mathbf{S}}$ – девіатор швидкостей деформації, c – швидкість звуку в середовищі.

З (3) маємо наближені рівності

$$\operatorname{div} \mathbf{V}_f = -\frac{1}{\rho_0 c^2} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{Q}{\rho_0};$$

$$\frac{\partial \mathbf{V}_f}{\partial t} = -\frac{1}{\rho_0} \nabla p + \frac{\mu}{3\rho_0} \nabla \operatorname{div} \mathbf{V}_f + \frac{\mu}{\rho_0} \Delta \mathbf{V}_f.$$

Тут ρ_0 – середнє значення густини рідини, відносно якого відбувається лінеаризація. За припущенням відсутності джерел та масових сил отримуємо хвильове рівняння в акустичному наближенні

$$\frac{1}{\rho_0 c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = \frac{1}{\rho_0} \operatorname{div}(\nabla p) + \frac{4\mu}{3\rho_0 c^2} \operatorname{div} \left[\nabla \left(\frac{\partial p}{\partial t} \right) \right] = 0. \quad (5)$$

Дискретизацію рівняння (5) здійснюємо за допомогою метода скінченних елементів з використанням методу зважених нев'язок. Отримуємо

$$\iiint_{\Omega_f} \frac{1}{\rho_0 c^2} w \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} d\Omega_f + \iiint_{\Omega_f} \nabla w \cdot \left(\frac{4\mu}{3\rho_0^2 c^2} \nabla \frac{\partial p}{\partial t} \right) d\Omega_f + \iiint_{\Omega_f} \nabla w \cdot \left(\frac{1}{\rho_0} \nabla p \right) d\Omega_f = - \iint_{\Gamma_f} w \mathbf{n} \cdot \frac{\partial^2 \mathbf{u}_f}{\partial t^2} d\Gamma_f. \quad (6)$$

Будуємо скінченно-елементні апроксимації для тиску та переміщень у вигляді

$$p = \{N\} \{p_f\}, \quad \mathbf{u} = \{N^u\} \{\mathbf{u}_f\}, \quad (7)$$

де $p = \{N\}, \{N^u\}, \{p_f\}, \{\mathbf{u}_f\}$ – функції форми для тиску, переміщень та відповідні вузлові значення невідомих. Приходимо до скінченно-елементного формулювання задачі

$$[\mathbf{M}_f] \{\ddot{p}_f\} + [\mathbf{C}_f] \{\dot{p}_f\} + [\mathbf{K}_f] \{p_f\} + \rho_0 [\mathbf{R}]^T \{\ddot{\mathbf{u}}_f\} = 0,$$

де $[\mathbf{M}_f], [\mathbf{C}_f], [\mathbf{K}_f]$ – матриці мас, демпфування та

$$\begin{bmatrix} [\mathbf{M}_S] & 0 \\ \rho_0 [\mathbf{R}] & [\mathbf{M}_f] + [\mathbf{S}_f] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{\mathbf{u}}^e \\ \ddot{p}_f \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} [\mathbf{C}_S] & 0 \\ 0 & [\mathbf{C}_f] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{\mathbf{u}}^e \\ \dot{p}_f \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} [\mathbf{K}_S] & -[\mathbf{R}] \\ 0 & [\mathbf{K}_f] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \mathbf{u}^e \\ p_f \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f_S \\ 0 \end{Bmatrix}, \quad (9)$$

що дозволяє враховувати рух вільної поверхні при розв'язанні зв'язаної задачі гідропружності в лінійному формулюванні. Метод зв'язаних нев'язок було також застосовано до граничних умов задачі безвихрового руху нев'язкої нестисливої рідини, з використанням пробних функцій, що задовольняють рівнянню Лапласа. Це дало змогу отримати гранично-скінченно-елементне формулювання задачі. Зауважимо, що отримані при цьому диференціальні рівняння також мають форму (9), елементи матриць

$[\mathbf{M}_S], [\mathbf{C}_S], [\mathbf{K}_S]$ визначаються методом скінченних елементів (МСЕ), а елементи матриць $[\mathbf{M}_f], [\mathbf{K}_f]$ в задачі руху рідини обчислюються як сингулярні поверхневі інтеграли з використанням методу граничних елементів (МГЕ) [20, 21].

Далі розглянуто циліндричні оболонки. Вважалося, що висота типової оболонки дорівнювала $L = 1,0$ м, її радіус складав $R = 1$ м, а товщина $h = 0,01$ м; оболонки заповнювались рідиною (нафта) на рівень $H = 1,0$ м. Розглядалися оболонки із жорстко закріпленим днищем по всій площині та лише по його контуру, при дослідженні коливань враховувались гравітаційні сили з прискоренням $g = 9,812$ м/с².

Для проведення розрахунків вібраційних характеристик проводимо такі розрахунки [21, 22]. Спочатку обчислюємо частоти та форми коливань пружної незаповненої оболонки. Розглянуто сталеву оболонку із закріпленням по всьому днищу.

На рис 1 зображені форми коливань такої незаповненої пружної оболонки. В таблиці 1 наведені відповідні частоти коливань. Зауважимо, що всі частоти коливань є кратними, їм відповідають різні форми коливань. Ці форми, як показано в [22], складають першу систему базисних функцій для проведення динамічного аналізу.

жорсткості, відповідно, $\{\mathbf{R}\}$ – акустична гранична матриця, яка обчислюється за формулою:

$$\{\mathbf{R}\}^T = \iint_{\Gamma_f} \{N\} \{\mathbf{n}\}^T \{N^u\}^T d\Gamma_f.$$

Переходимо до зв'язаної задачі гідро-пружної взаємодії. На змоченій поверхні будемо мати

$$\sigma_s \mathbf{n} + p \mathbf{n} = 0, \quad \mathbf{u}_s = \mathbf{u}_f. \quad (8)$$

На вільній поверхні рідини Γ_0 використовуємо динамічну та кінематичну умови, з яких отримуємо матрицю $[\mathbf{S}_f]$. Отримуємо дискретну модель

Далі розглянуті коливання нафти в зазначеному вище резервуарі. Густина нафти дорівнює 960 кг/м³, швидкість звуку 1250 м/с, рівень заповнення оболонки нафтою 1 м.

В таблиці 2 наведені частоти коливань нафти в оболонці. При цьому оболонка вважалась жорсткою.

На рис. 2 наведені форми коливань вільної поверхні.

Бачимо, що найнижчі частоти відповідають неосесиметричним формам, а саме першій гармоніці. Осесиметрична форма відповідає п'ятій частоті.

Далі виконано аналіз частот коливань з врахуванням пружності стінок. В таблиці 3 наведено частоти коливань пружної оболонки з врахуванням приєднаних мас рідини.

Відповідні форми коливань стінок показані на рис. 3.

Врахування пружності стінок баків приводить до істотного зниження частот коливань в порівнянні з частотами незаповнених оболонок, при цьому найменші частоти заповнених і незаповнених оболонкових конструкцій можуть відповідати різним хвильовим числам.

Таким чином, розроблено методику визначення динамічних характеристик оболонкових конструкцій, що виготовлені із сталі, та частково заповнені рідиною (нафтопродуктами). Здійснено числовий аналіз динамічних характеристик для моделі резервуарів для збереження рідких вуглеводнів. Визначено оптимальні параметри оболонкових конструкцій для зменшення їх деформацій під час коливання рідини (на прикладі рідких вуглеводнів).

Подовження строку експлуатації резервуарів, збереження їх герметичності і стійкості при різних впливах природного і техногенного походження, попередження витоків, розливів та пожежної небезпеки є необхідним для підвищення рівня екологічної безпеки прилеглих територій [22–25].

Таблиця 1 – Частоти коливань незаповненої оболонки

N форми	1	2	3	4	5	6	7	8
Частота коливань, Гц	109,07	109,07	110,63	110,63	129,95	129,95	132,15	132,15

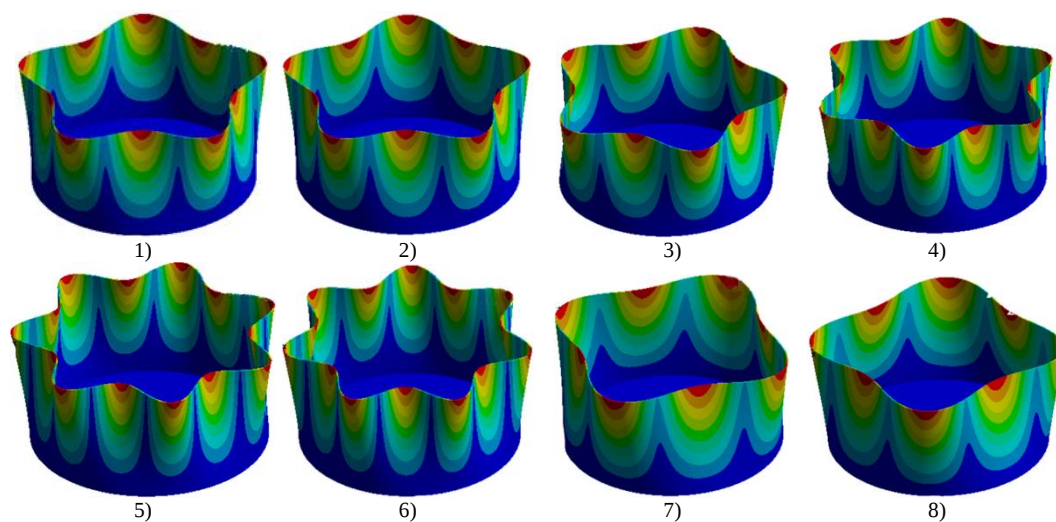


Рисунок 1 – Форми коливань незаповненої пружної оболонки

Таблиця 2 – Частоти коливань нафти в оболонці

N форми	1	2	3	4	5	6	7	8
Частота коливань, Гц	0,6596	0,6596	0,8693	0,8693	0,9754	1,0210	1,0210	1,1490

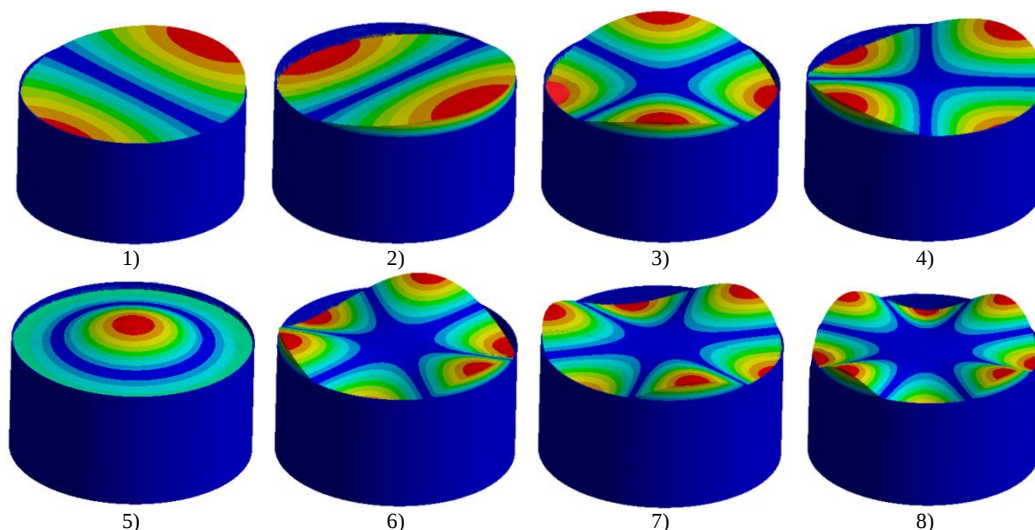


Рисунок 2 – Форми коливань вільної поверхні

Таблиця 3 – Частоти коливань пружної заповненої оболонки

N форми	1	2	3	4	5	6	7	8
Частота коливань, Гц	73,741	77,242	95,203	105,080	113,450	115,820	120,590	122,350

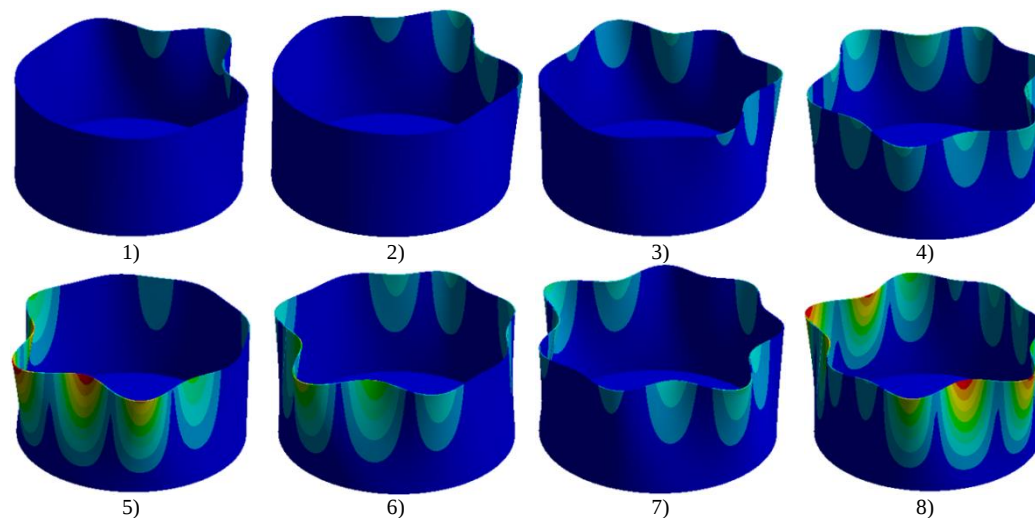


Рисунок 3 – Форми коливань стінок заповненої пружної оболонки

Далі в роботі розглянуто коливання пружної сталеві оболонки з тими ж геометричними та фізичними характеристиками, але із закріпленням по ребру-контуру днища.

Вважалось, що висота типової оболонки дорівнювала $L = 1.0$ м, її радіус складав $R = 1.0$ м, а товщина $h = 0.01$ м; оболонки заповнювались рідиною (нафта) на рівень $H = 1.0$ м. Розглядалися оболонки із жорстко закріпленим днищем по всій площині та лише по його контуру, при дослідженні коливань враховувались гравітаційні сили з прискоренням $g = 9,812$ м/с². Густина нафти дорівнює 960 кг/м³, швидкість звуку 1250 м/с.

В таблиці 4 наведені частоти незаповненої пружної оболонки. Бачимо, що частоти коливань днища

стають доміантними, суттєво меншими за частоти коливань оболонки з повністю закріпленим днищем.

На рис. 4 показані відповідні форми коливань пружного днища незаповненої оболонки

Відносно частот коливань зауважимо, що дані повністю співпадають з отриманими вище для оболонки з повністю закріпленим днищем.

Врахування пружності стінок приводить до таких результатів. Частоти коливань наведені в таблиці 5. На рис. 5 наведені відповідні форми коливань.

Як і очікувалось врахування пружності стінок зменшує частоту власних коливань в оболонці з закріпленням по контуру днищем проте майже не змінює власні форми.

Таблиця 4 – Частоти коливань незаповненої оболонки, закріпленої за контуром днища

N форми	1	2	3	4	5	6	7	8
Частота коливань, Гц	23,403	48,562	48,566	79,925	79,932	91,250	106,210	106,240

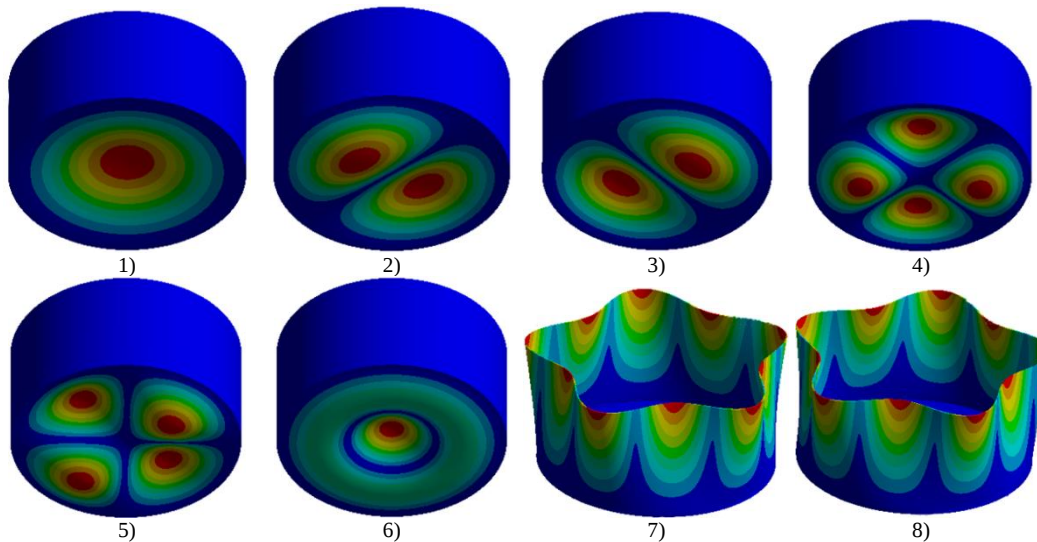


Рисунок 4 – Форми коливань незаповненої оболонки, закріпленої за контуром днища

Таблиця 5 – Частоти коливань заповненої оболонки, закріпленої за контуром днища

N форми	1	2	3	4	5	6	7	8
Частота коливань, Гц	15,138	34,375	42,806	62,981	63,828	71,722	75,360	78,391

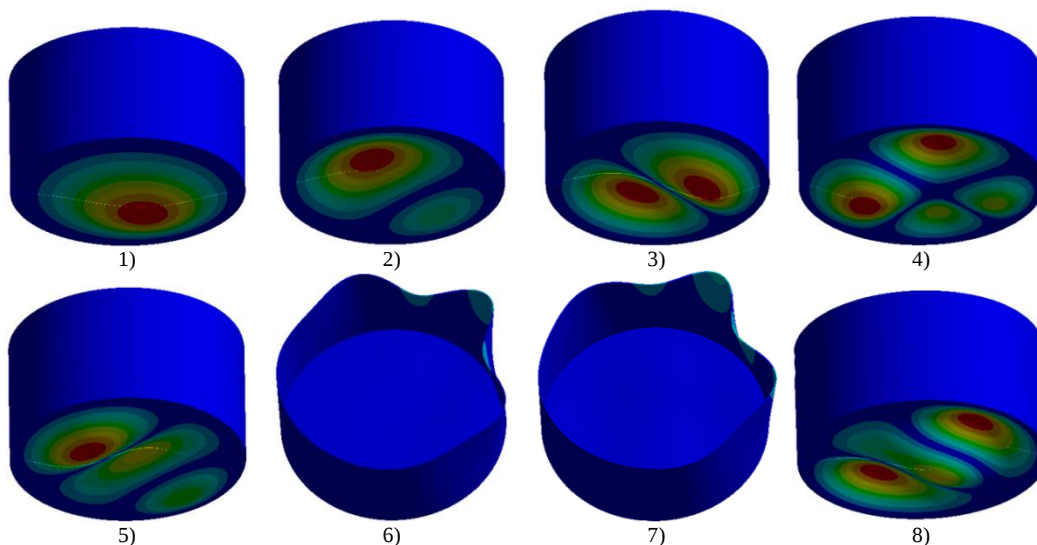


Рисунок 5 – Форми коливань пружного днища заповненої оболонки

Далі вивчено вплив товщини оболонки на частоти коливань пружних поверхонь.

Розглянуто сталеву пружну оболонку з тими ж механічними та геометричними характеристиками, але зі значно меншою товщиною днища та стінок $h = 0,0015\text{м}$.

В таблиці 6 наведені частоти коливань незаповненої оболонки з повністю закріпленим днищем. Бачимо, що зменшення товщини оболонки веде й до зменшення її власних частот, також при зменшенні товщини оболонки першими формами становляться форми ще більш високої гармоніки. На рис. 6 зображені відповідні форми коливань пружних стінок.

Частоти коливань і в цьому випадку мають такі ж значення, що наведені в таблиці 2.

Далі розглянуто випадок, коли обрана тонкостінна оболонка з товщиною 0,0015 закріплена по контуру днища. Частоти коливань незаповненої оболонки наведено в таблиці 7.

На рис. 7 зображені відповідні форми коливань пружного днища.

Зауважимо, що частоти коливань з врахуванням приєднаних мас рідини сягатимуть значень від 2,422 Гц. Подальше зменшення товщини призведе до того, що спектри частот коливань та коливань пружного днища будуть перемежатись, що призведе до втрати стійкості конструкції.

Таблиця 6 – Частоти коливань заповненої оболонки з повністю закріпленим днищем

N форми	1	2	3	4	5	6	7	8
Частота коливань, Гц	43,850	43,864	45,328	45,351	46,272	46,287	49,709	49,735

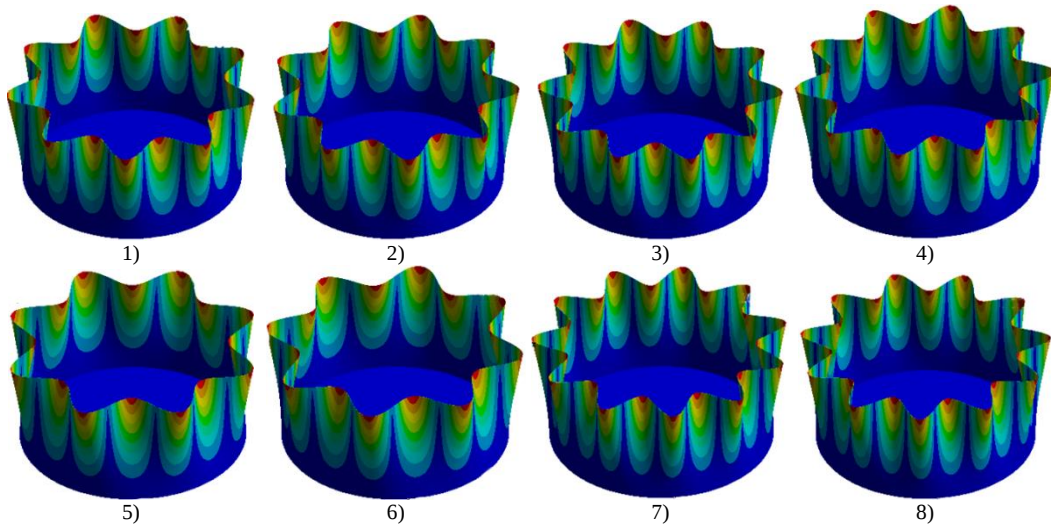


Рисунок 6 – Форми коливань пружної незаповненої оболонки з повністю закріпленим днищем.

Таблиця 7 – Частоти коливань заповненої оболонки з закріпленням за контуром днища

N форми	1	2	3	4	5	6	7	8
Частота коливань, Гц	3,7417	7,7857	7,7880	12,7760	12,7810	14,5670	18,6870	18,6890

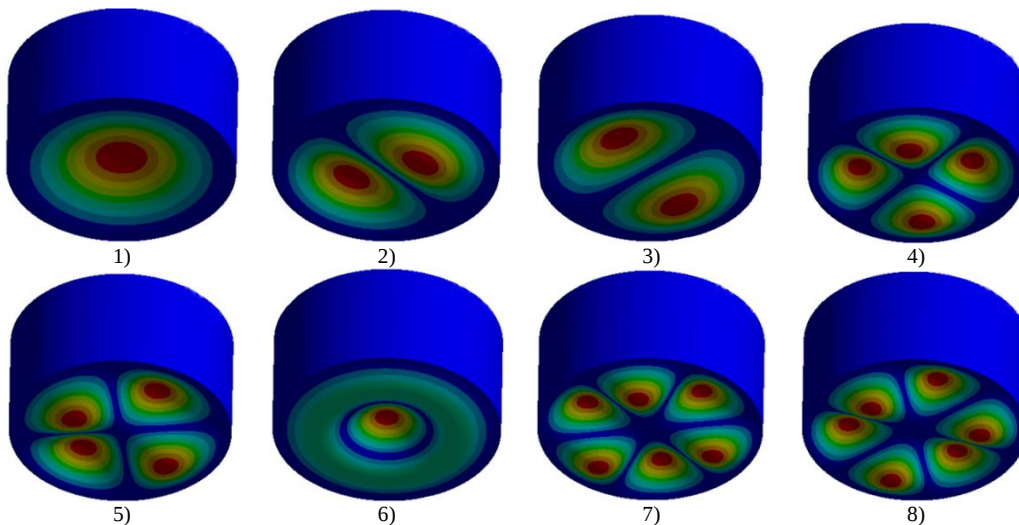


Рисунок 7 – Форми коливань пружної незаповненої оболонки закріпленої за контуром днища

Висновки

В роботі розроблено методику визначення динамічних характеристик оболонкових конструкцій, що виготовлені зі сталі, та частково заповнені рідиною (нафтопродуктами). Здійснено числовий аналіз динамічних характеристик для моделі резервуарів для збереження рідких вуглеводнів. Визначено оптимальні параметри оболонкових конструкцій для зменшення їх деформацій під час коливання рідини (на прикладі рідких вуглеводнів). Доведено, що врахування пружності стінок баків приводить до істотного зниження частот коливань в порівнянні з частотами незаповнених оболонок, при цьому найменші частоти заповнених і незаповнених оболонкових конструкцій можуть відповідати різним хвиловим числам.

Для всіх розглянутих оболонок частоти коливань є найнижчими. Найнижчим власним частотам оболонки відповідають власні форми гармонік вищих порядків, причому вирішальним фактором є товщина оболонки. Наявність рідини веде до суттєвого зменшення частот коливань пружних стінок. Частоти коливань оболонки з повністю закріпленим днищем суттєво вище за відповідні частоти коливань оболонки з днищем,

закріпленим за контуром, тому при проектуванні конструкцій варто уникати такого виду закріплення. Тож резервуари з повністю закріпленим днищем представляють більшу екологічну загрозу для довкілля в разі раптових сейсмічних навантажень ніж оболонки з днищем, закріпленим за контуром. Отримані дані дають змогу провести відстроювання від небажаних резонансних частот.

Подовження строку експлуатації резервуарів, збереження їх герметичності і стійкості при різних впливах природного і техногенного походження, попередження витоків, розливів та пожежної небезпеки є необхідним для підвищення рівня екологічної безпеки прилеглих територій.

Майбутні дослідження стосуються вільних і вимушених коливань рідини в пружних резервуарах з пружними перегородками. Геометрію резервуара також можна легко змінити, тому результати будуть отримані для конічних, сферичних і складних корпусів з перегородками та без них. Це дозволить дати рекомендації щодо встановлення захисних елементів (кришок, перегородок).

ЛІТЕРАТУРА

1. Серікова О. М., Стрельнікова О. О., Крюченко 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.
2. Dadashov I., Loboichenko V., Kireev A. Analysis of the ecological characteristics of environment friendly fire fighting chemicals used in extinguishing oil products. *Pollution Research*. 2018. Vol. 37, No. 1. Pp. 63–77.
3. Model of thermal effect of fire within a dike on the oil tank / Abramov Y., Basmanov O., Salamov J., Mikhayluk A. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2018. Vol. 2. Pp. 95–100.
4. Mathematical modeling of thermal fire effect on tanks with oil products / Semerak M. et al. *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 247. Art. 00040. DOI: 10.1051/mateconf/201824700040.
5. About the environmental characteristics of fire extinguishing substances used in extinguishing oil and petroleum products / Dadashov I. F. et al. *SOCAR Proceedings*. 2020. Vol. 5. Pp. 79-84. DOI: 10.5510/OGP20200100426.
6. Review of up-to-date approaches for extinguishing oil and petroleum products / Shevchenko R. I. et al. *SOCAR Proceedings*. 2021. Special Issue No. 1. Pp. 169-174. DOI: 10.5510/OGP2021SI100519.
7. Developing a model of tank cooling by water jets from hydraulic monitors under conditions of fire / Abramov Y. et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 1, Issue 10–97. Pp. 14–20.
8. Improving the Mechanical Properties of Liquid Hydrocarbon Storage Tank Materials / Sierikova O., Koloskov V., Degtyarev K., Strelnikova E. *Materials Science Forum*. 2022. Vol. 1068. P. 223-229. DOI: 10.4028/p-888232.
9. Investigation of Static and Dynamic Characteristics of Complex Thin-Walled Shell Structure with Cracks / Lukianchenko O. O., Bouraou N. I., Kostina O. V., Kuzko O. V. *Strength of Materials*. 2016. Vol. 48, Issue 3. Pp. 401–410.
10. Rabinovich S. G. Measurement errors and uncertainties theory and practice. Third edition. Springer Science and Media, Inc. USA, 2005. 308 p.
11. Vibration condition monitoring of the vertical steel tanks / Bouraou N. I., Lukianchenko O., Tsybulnik S., Shevchuk D. *Vibration in Physical Systems*. 2016. Vol. 27. Pp. 55-60.
12. Reducing Environmental Hazards of Prismatic Storage Tanks under Vibrations / Sierikova O., Strelnikova E., Kriutchenko D., Gnitko V. *WSEAS Transactions on Circuits and Systems*. 2022. Vol. 21. Pp. 249-257. DOI: 10.37394/23201.2022.21.27.
13. Нейтралізація статичної електрики в системах зберігання нафти шляхом застосування нанокompозитів із системами вуглецевих волокнистих включень / Серікова О.М. та ін. *Прикладні питання математичного моделювання*. 2021. Т. 4, № 2.2. С. 159–168. DOI: 10.32782/KNTU2618-0340/2021.4.2.2.16.
14. Sierikova O., Strelnikova E., Degtyarev K. Strength 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.
15. 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.
16. Monitoring of the Crack Propagation in Welded Joint of the Tank Using Multi-Class Recognition / Bouraou N., Rupich S., Lukianchenko O., Kostina O. *Vibrations in Physical Systems*. 2018. Vol. 29. Art. 013.
17. Design of a structural health monitoring system for a damage tolerance fuselage component / Ewald V., Ochôa P., Groves R., Boller C. *Proceedings of the 7th International Symposium on NDT in Aerospace*. Bremen, 2015. Pp. 17-19.
18. Siddiq M. A. Deformation and failure in nanomaterials via a data driven modelling approach. *Theoretical and Applied Mechanics Letters*. 2020. Vol. 10, Issue 4. Pp. 249-252.
19. Analysis of the ways to provide ecological safety for the products of nanotechnologies throughout their life cycle / Vambol S., Vambol V., Suchikova Y., Deyneko N. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 1, No. 10–85. Pp. 27–36.
20. Boundary Calculation Models for Elastic Properties Clarification of Three-dimensional Nanocomposites Based on the Combination of Finite and Boundary Element Methods / Sierikova O., Strelnikova E., Gnitko V., Degtyarev K. *IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*. 2021. Pp. 351–356. DOI: 10.1109/KhPIWeek53812.2021.9570086.
21. Boundary element method in nonlinear sloshing analysis for shells of revolution under longitudinal excitations / Strelnikova E., Kriutchenko D., Gnitko V., Degtyarev K. *Engineering Analysis with Boundary Elements*. 2020. Vol. 111. Pp. 78–87. DOI: 10.1016/j.enganabound.2019.10.008.
22. Dynamic Response of Laminate Composite Shells with Complex Shape Under Low-Velocity Impact / Smetankina N., Merkulova A., Merkulov D., Postnyi O. *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2021. Vol. 188. Pp. 267–276. DOI: 10.1007/978-3-030-66717-7_22.

23. Avramov K. V. Nonlinear modes of parametric vibrations and their applications to beams dynamics. *Journal of Sound and Vibration*. 2009. Vol. 322. Pp. 476–489. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2008.07.013>.
24. Treatment of Determination Method for Strength Characteristics of Reinforcing Steel by Using Thread Cutting Method after Temperature Influence / Kovalov A. et al. *Materials Science Forum*. 2020. Vol. 1006 MSF. Pp. 179–184.
25. Concrete and fiber concrete impact strength / Surianinov M. et al. *Materials Science Forum*. 2020. Vol. 1006 MSF. Pp. 101–106.

Sierikova O.

INCREASING THE ENVIRONMENTAL SAFETY LEVEL OF THE TERRITORY ADJACENT TO LOCATIONS OF LIQUID HYDROCARBON RESERVOIRS

Accumulation of flammable and combustible liquids on a relatively small area of the tank park leads to an increased environmental and fire hazard of such productions. The possible leakage of dangerous liquid and depressurization of tanks negatively affects the state of the environment in the surrounding area. A fire in a tank is one of the most dangerous emergency situations that could lead not only to significant material and environmental damage, but also to human casualties. The situation is also complicated by the economically determined tendency to use larger tanks, which significantly increases the volume of flammable liquids per unit area. This, in turn, increases the risk of fire spreading to neighboring tanks in the absence of timely localization and elimination of the fire. It is urgent and necessary to improve the methods of researching the properties of the materials of liquid hydrocarbon tanks and to assess the effects of external factors of natural and technogenic origin on these environmentally dangerous objects. The method of determining the dynamic characteristics of shell structures made of steel and partially filled with liquid (petroleum products) has been developed in the paper. A numerical analysis of the dynamic characteristics for the model of tanks for the storage of liquid hydrocarbons has been carried out. The optimal parameters of shell structures to reduce their deformations during fluid oscillations (using the example of liquid hydrocarbons) have been determined. It has been proved that taking into account the elasticity of the tank walls leads to a significant decrease in the oscillation frequencies compared to the frequencies of unfilled shells, while the lowest frequencies of filled and unfilled shell structures can correspond to different wave numbers. Extending the service life of tanks, preserving their tightness and stability under various natural and technogenic influences, preventing leaks, spills and fire hazards is necessary to increase the level of environmental safety of the surrounding territories.

Key words: environmental safety, liquid hydrocarbon tanks, petroleum products, environmentally hazardous object, flammable liquid.

REFERENCES

1. Sierikova, O. M., Strelnikova, O. O., & Kryutchenko, D. V. (2021). Assessment of the power of seismic loads on tanks for the storage of poisonous and flammable liquids. *Bulletin of Kharkiv National University named after V. N. Karazin. Series "Mathematical modeling. Information Technology. Automated control systems"*, 51, 70–80.
2. Dadashov, I., Loboichenko, V., & Kireev, A. (2018). Analysis of the ecological characteristics of environment friendly fire fighting chemicals used in extinguishing oil products. *Pollution Research*, 37(1), 63–77.
3. Abramov, Y., Basmanov, O., Salamon, J., & Mikhayluk, A. (2018). Model of thermal effect of fire within a dike on the oil tank. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2, 95–100.
4. Semerak, M., Pozdeev, S., Yakovchuk, R., Nekora, O., & Sviatkevych, O. (2018). Mathematical modeling of thermal fire effect on tanks with oil products. *MATEC Web of Conferences*, 247, 00040. DOI: 10.1051/mateconf/201824700040.
5. Dadashov, I. F., Loboichenko, V. M., Strelets, V. M., Gurbanova, M. A., Hajizadeh, F. M., & Morozov, A. I. (2020). About the environmental characteristics of fire extinguishing substances used in extinguishing oil and petroleum products. *SOCAR Proceedings*, 5, 79–84. DOI: 10.5510/OGP20200100426.
6. Shevchenko, R. I., Strelets, V. M., Loboichenko, V. M., Pruskyi, A. V., Myroshnyk, O. N., & Kamyshentsev, G. V. (2021). Review of up-to-date approaches for extinguishing oil and petroleum products. *SOCAR Proceedings*, 169–174. DOI: 10.5510/OGP2021SI100519.
7. Abramov, Y., Basmanov, O., Salamon, J., Mikhayluk, A., & Yashchenko, O. (2019). Developing a model of tank cooling by water jets from hydraulic monitors under conditions of fire. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(10–97), 14–20.
8. 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: doi:10.4028/p-888232.
9. Lukianchenko, O. O., Bouraou, N. I., Kostina, O. V., & Kuzko, O. V. (2016). Investigation of Static and Dynamic Characteristics of Complex Thin-Walled Shell Structure with Cracks. *Strength of Materials*, 48(3), 401–410.
10. Rabinovich, S. G. (2005). *Measurement errors and uncertainties theory and practice*. Third edition. Springer Science and Media, Inc. USA.
11. Bouraou, N. I., Lukianchenko, O., Tsybulnik, S., & Shevchuk, D. (2016). Vibration condition monitoring of the vertical steel tanks. *Vibration in Physical Systems*, 27, 55–60.
12. Sierikova, O., Strelnikova, E., Kriutchenko, D., & Gnitsko, 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.
13. Sierikova, O. M., Strelnikova, O. O., Gnitsko, V. I., Tonkonozhenko, A. M., & Pishnia, L. A. (2021). Neutralization of static electricity in oil storage systems by using nanocomposites with systems of carbon fiber inclusions. *Applied problems of mathematical modeling*, 4(2.2), 159–168. DOI: 10.32782/KNTU2618-0340/2021.4.2.2.16.
14. Sierikova, O., Strelnikova, E., & Degtyarev, K. (2022). Strength Characteristics of Liquid Storage Tanks with Nanocomposites as Reservoir Materials. *2022 IEEE 3rd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*, 151–157. DOI: 10.1109/KhPIWeek57572.2022.9916369.
15. 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.
16. Bouraou, N., Rupich, S., Lukianchenko, O., & Kostina, O. (2018). Monitoring of the Crack Propagation in Welded Joint of the Tank Using Multi-Class Recognition. *Vibrations in Physical Systems*, 29, 013.
17. Ewald, V., Ochôa, P., Groves, R., & Boller, C. (2015). Design of a structural health monitoring system for a damage tolerance fuselage component. *Proceedings of the 7th International Symposium on NDT in Aerospace*, 17–19.
18. Siddiq, M. A. (2020). Deformation and failure in nanomaterials via a data driven modelling approach. *Theoretical and Applied Mechanics Letters*, 10(4), 249–252.
19. Vambol, S., Vambol, V., Suchikova, Y., & Deyneko, N. (2017). Analysis of the ways to provide ecological safety for the products of nanotechnologies throughout their life cycle. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(10–85), 27–36.
20. Sierikova, O., Strelnikova, E., Gnitsko, 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. *IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*, 351–356. DOI: 10.1109/KhPIWeek53812.2021.9570086.
21. Strelnikova, E., Kriutchenko, D., Gnitsko, V., & Degtyarev, K. (2020). Boundary element method in nonlinear sloshing analysis for shells of revolution under longitudinal excitations. *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 111, 78–87. DOI: 10.1016/j.enganabound.2019.10.008.
22. Smetankina, N., Merkulova, A., Merkulov, D., & Postnyi, O. (2020). Dynamic Response of Laminate Composite Shells with Complex Shape Under Low-Velocity Impact. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 188, 267–278. DOI: 10.1007/978-3-030-66717-7_22.
23. Avramov, K. V. (2009). Nonlinear modes of parametric vibrations and their applications to beams dynamics. *Journal of Sound and Vibration*, 322, 476–489. DOI: 10.1016/j.jsv.2008.07.013.
24. Kovalov, A., Otrosh, Y., Rybka, E., Kovalevska, T., Togobytska, V., & Rolin, I. (2020). Treatment of Determination Method for Strength Characteristics of Reinforcing Steel by Using Thread Cutting Method after Temperature Influence. *Materials Science Forum*, 1006 MSF, 179–184.
25. Surianinov, M., Andronov, V., Otrosh, Y., Makovkina, T., & Vasiukov, S. (2020). Concrete and fiber concrete impact strength. *Materials Science Forum*, 1006 MSF, 101–106.