

УДК 539.3

Оцінка сили сейсмічних навантажень на резервуари для збереження отруйних та легкозаймистих рідин

О.М. Серікова, О.О. Стрельнікова, Д.В. Крютченко

**Серікова
Олена Миколаївна** к.т.н.старший викладач кафедри прикладної механіки та технологій захисту навколишнього середовища
Національний університет цивільного захисту України,
вул. Чернишевська, 94, м. Харків, 61023, Україна
ORCID: 0000-0003-0354-9720

**Стрельнікова
Олена Олександрівна** д.т.н., доктор технічних наук, професор; провідний науковий співробітник зі спеціальності механіка деформівного твердого тіла; Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України вул. Пожарського, 2/10, м. Харків, 61046;
ORCID: 0000-0003-0707-7214.

**Крютченко
Денис Володимирович** аспірант, Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України вул. Пожарського, 2/10, м. Харків, 61046;
ORCID: 0000-0002-6804-6991.

Щороку в світі відбувається близько 1 млн. землетрусів різної інтенсивності. Подальше збільшення кількості техногенних об'єктів та необхідність створення екологічно безпечних умов їх експлуатації зумовлює вдосконалення наукового обґрунтування параметрів сейсмічної безпеки територій розташування техногенних об'єктів, що можуть негативно впливати на стан навколишнього середовища. Тому вивчення сейсмічних навантажень на важливі техногенні об'єкти досі залишається актуальною проблемою як в глобальному, так і регіональному масштабі. Метою роботи є попередження надзвичайних ситуацій та негативного впливу на довкілля при пошкодженні, руйнуванні та порушенні герметичності резервуарів для збереження отруйних та легкозаймистих рідин внаслідок дії сейсмічних навантажень різної сили. В роботі проведено моделювання пікових амплітуд сейсмічного прискорення при землетрусі від 1 до 9 балів при відстані до епіцентру від 10 до 1000 м, досліджено домінуючі частоти збудження при землетрусі від 1 до 9 балів при відстані до епіцентру від 10 до 1000 м, досліджено середню тривалість впливу під час землетрусу з магнітудою від 1 до 9 балів при відстані до епіцентру від 10 до 1000 м, вирішено задачу про коливання рідини в довільній оболонці обертання. Результати досліджень дозволять зробити підбір параметрів резервуарів від впливу резонансних частот, попередити їх руйнування та продовжити строк експлуатації, що дозволить мінімізувати екологічно небезпечний вплив на довкілля та попередити виникнення надзвичайних ситуацій. Для підвищення рівня екологічної безпеки територій, прилеглих до резервуарів, запропоновано управління впливами природних та техногенних факторів на резервуари виконувати враховуючи прогнозні моделі сейсмічних змін та коливань рідин в резервуарах за допомогою алгоритму дій у ході проведення моніторингу за сейсмічними навантаженнями на резервуари для збереження отруйних та легкозаймистих рідин.

Ключові слова: землетрус, сейсмічні навантаження, магнітуда землетрусів, надзвичайна ситуація, екологічна безпека, техногенний об'єкт, резервуари.

Seismic loads estimation on the storage tanks for toxic and flammable liquids

Sierikova Olena M. PhD, senior lecturer_National University of Civil Defence of Ukraine, Chernyshevska str., 94, Kharkiv, Ukraine 61023. ORCID: 0000-0003-0354-9720.

Strelnikova Olena O. Doctor of Technical Sciences, professor, leading researcher, A.M. Pidhorny Institute for Mechanical Engineering Problems NAS of Ukraine, vul. Pozharskoho, 2/10, Kharkiv, Ukraine 61046. ORCID: 0000-0003-0707-7214.

Kryutchenko Denys V. PhD student, A.M. Pidhorny Institute for Mechanical Engineering Problems NAS of Ukraine, vul. Pozharskoho, 2/10, Kharkiv, Ukraine 61046. ORCID: 0000-0002-6804-6991.

There are about 1 million earthquakes of varying intensity in the world every year. Furthermore, increase in the number of technogenic objects and the necessity to create environmentally safety conditions for their operation leads to improved scientific substantiation of seismic hazard parameters of technogenic objects that could adversely affect the environment. Therefore, the research of seismic loads on the important technogenic objects remains the urgent issue both globally and regionally. The aim of the paper is to assist in preventing emergencies and negative impact on the environment in case of damage, destruction and leakage of storage tanks for toxic and flammable liquids caused by seismic loads of different strength. The peak amplitudes of seismic acceleration simulation during an earthquake from 1 to 9 points at the distance to the epicenter from 10 to 1000 m, the dominant excitation frequencies at the earthquake from 1 to 9 points at the distance to the epicenter from 10 to 1000 m, the earthquake average duration with the magnitude of 1 to 9 points at the distance to the epicenter from 10 to 1000 m have been treated in the article. The problem of fluid oscillations in the arbitrary shell of rotation has been solved. The results of the research allow selecting the storage tanks parameters according to the influence of resonant frequencies in order to prevent their destruction, extend service life, minimize the ecologically hazardous impact on the environment and prevent emergencies. To increase the ecological safety level of the adjacent territories, it has been proposed to control the effects of natural and technogenic factors on the storage tanks taking into account the forecast models of seismic changes and fluctuations in storage tanks by using the algorithm for monitoring seismic loads on storage tanks.

Keywords: *earthquake, seismic loads, magnitude of earthquakes, emergency situation, ecological safety, technogenic object, storage tanks.*

Оценка силы сейсмических нагрузок на резервуары для хранения ядовитых и легковоспламеняющихся жидкостей

- Серикова Николаевна** Елена кандидат технических наук, старший преподаватель, Национальный университет гражданской защиты Украины, ул. Чернышевская, 94, Харьков, Украина 61023. ORCID: 0000-0003-0354-9720.
- Стрельникова Александровна** Елена доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного НАН Украины, ул. Пожарского, 2/10, Харьков, Украина, 61046. ORCID: 0000-0003-0707-7214.
- Крютченко Владимирович** Денис аспирант, Институт проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного НАН Украины, ул. Пожарского, 2/10, Харьков, Украина, 61046. ORCID: 0000-0002-6804-6991.

Ежегодно в мире происходит около 1 млн. землетрясений различной интенсивности. Дальнейшее увеличение количества техногенных объектов и необходимость создания экологически безопасных условий их эксплуатации обуславливает совершенствование научного обоснования параметров сейсмической опасности территорий расположения техногенных объектов, которые могут негативно влиять на состояние окружающей среды. Поэтому изучение сейсмических нагрузок на важные техногенные объекты до сих пор остается актуальной проблемой как в глобальном, так и региональном масштабе. Целью работы является предупреждение чрезвычайных ситуаций и негативного воздействия на окружающую среду при повреждении, разрушении и нарушении герметичности резервуаров для хранения ядовитых и легковоспламеняющихся жидкостей вследствие действия сейсмических нагрузок различной силы. В работе проведено моделирование пиковых амплитуд сейсмического ускорения при землетрясении от 1 до 9 баллов при расстоянии до эпицентра от 10 до 1000 м, исследованы доминантные частоты возбуждения при землетрясении от 1 до 9 баллов при расстоянии до эпицентра от 10 до 1000 м, исследована средняя продолжительность воздействия во время землетрясения с магнитудой от 1 до 9 баллов при расстоянии до эпицентра от 10 до 1000 м, решена задача о колебаниях жидкости в произвольной оболочке вращения. Результаты исследований позволят сделать подбор параметров резервуаров от воздействия резонансных частот, предупредить их разрушение и продлить срок эксплуатации, что позволит минимизировать экологически опасное влияние на окружающую среду и предупредить возникновение чрезвычайных ситуаций. Для повышения уровня экологической безопасности территорий, прилегающих к резервуарам, предложено управление воздействиями природных и техногенных факторов на резервуары выполняя учитывая прогнозные модели сейсмических изменений и колебаний жидкостей в резервуарах с помощью алгоритма действий в ходе проведения мониторинга по сейсмическим нагрузкам на резервуары для хранения ядовитых и легковоспламеняющихся жидкостей.

Ключевые слова: *землетрясение, сейсмические нагрузки, магнитуда землетрясений, чрезвычайная ситуация, экологическая безопасность, техногенный объект, резервуары.*

1 Вступ

У сучасному світі природні катаклізми мають наслідками соціальні катастрофи перш за все через неготовність суспільства до нових проявів стихії. Важливим та першочерговим кроком на шляху мінімізації шкоди від землетрусів має бути вивчення "сейсмічного клімату" території, тобто її районування за ступенем сейсмічної небезпеки, і відповідне йому сейсмостійке

будівництво та попереджувальні заходи для об'єктів, що можуть небезпечно впливати на довкілля.

Щороку в світі відбувається близько 1 млн. землетрусів різної інтенсивності. Тому вивчення сейсмічних навантажень на важливі техногенні об'єкти досі залишається актуальною проблемою як в глобальному, так і регіональному масштабі [1].

Зазначимо, що вся територія України зазнає сильних підкорових землетрусів зони Вранча (Румунія). Зафіксовано сильні землетруси у 1940, 1977, 1986 і 1990 роках. Загалом до 40% території України може бути під дією небезпечних сейсмічних навантажень і до 70% території – під впливом землетрусів підсиленими підтопленнями, зсувами, просадками та іншими інженерно-геологічними процесами, що знижують стійкість будівель та споруд [2]. Спрогнозовано для сейсмонебезпечних районів України, що близько 20% території (≈ 120 тис.км²) можуть зазнавати сейсмічні навантаження у 6-9 балів. На такій території проживає понад 10 млн людей. 12% території, що включають близько 80 населених пунктів є районами з інтенсивністю 7-9 балів, де проживає понад 7 млн людей [3,4].

Контейнери та резервуари для зберігання нафти, отруйних і легкозаймистих рідин широко використовуються в різних областях інженерної практики, таких як авіабудування, хімічна і нафтогазова промисловість, енергетичне машинобудування, транспорт. Ці резервуари функціонують в умовах підвищених технологічних навантажень і заповнені нафтою, легкозаймистими або отруйними речовинами. В результаті раптової дії сейсмічних навантажень, рідина, що зберігається в резервуарах починає відчувати інтенсивні плескання.

Плескання – це феномен, який спостерігається в ряді промислових об'єктів: в контейнерах для зберігання зрідженого газу, нафти, паливних баках, в резервуарах вантажних танків. Відомо, що саме частково заповнені резервуари піддаються дії особливо інтенсивних плескань. Це може привести до високого тиску на стінки резервуара, руйнування конструкції або до втрати стійкості і може викликати відплив небезпечного вмісту, що в свою чергу, може привести до серйозних екологічних наслідків. При аваріях резервуарів розливаються нафтопродукти та забруднюють прилеглі території і водні басейни. Потрапляння небезпечних рідин з резервуарів для їх зберігання у довкілля та їх подальше поширення на територію населених пунктів може спричинити масові отруєння людей, тварин, приводити до забруднення компонентів навколишнього середовища. Розлив рідини здатний привести до вибухів і пожежі, які можуть перекинутися на сусідні резервуари і прилеглу місцевість. Так як резервуари зберігають величезний запас горючих речовин, пожежа може привести до серйозних наслідків. Економічні збитки від аварій з витоком та пожежею нафтопродуктів включають не тільки прямі втрати, а й витрати на заходи щодо відновлення навколишнього середовища, а також витрати на поповнення запасу нафтопродуктів [5-7].

2 Аналіз літератури

Більшість дослідницьких робіт Мансурова С. М. [8], Роянов О. М., Гарбуз С. В. [9], Звірко О. [10], Буданов М.П. [5], Дубицький А. Ю. [6], Липовий В.О. [7] присвячені оцінці значимості впливів резервуарів для збереження небезпечних рідин на довкілля та моніторингу змін герметичності резервуарів, швидкості їх руйнування під дією техногенних та кліматичних факторів, але такий значний вплив на стійкість резервуарів, як землетруси, досліджено недостатньо.

Аналіз досліджень, присвячених проблемам плескання рідини в резервуарах, надано в роботах Р.А. Ібрагіма [11,12]. Відзначимо також роботи, присвячені плесканню рідини в циліндричних резервуарах під дією сейсмічних навантажень [13-15].

3 Метою роботи є попередження надзвичайних ситуацій (НС) та негативного впливу на навколишнє середовище при пошкодженні, руйнуванні та порушенні герметичності резервуарів для збереження екологічно небезпечних рідин внаслідок дії сейсмічних навантажень різної сили.

4 Методи дослідження

Проведемо математичне моделювання параметрів землетрусів від 1 до 9 балів за шкалою Ріхтера та із відстанню до епіцентру від 10 до 1000 м для визначення розповсюдження впливу дії сейсмічних впливів на резервуари для збереження отруйних та легкозаймистих рідин (РЗОЛР) [16,17]. Основний вражаючий фактор землетрусу – поверхневі та об'ємні сейсмічні хвилі.

Проведемо моделювання пікових амплітуд сейсмічного прискорення. Розглянуто дію землетрусу від 1 до 9 балів та відстань до епіцентру від 10 до 1000 м (Рис. 4.1).

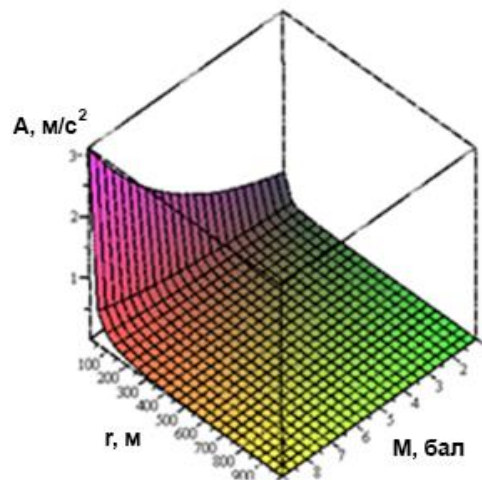


Рис. 4.1. – Пікові амплітуди сейсмічного прискорення при землетрусі від 1 до 9 балів при відстані до епіцентру від 10 до 1000 м, де A – пікова амплітуда сейсмічного прискорення, m/s^2 ; r – епіцентральна відстань, м; M – магнітуда, бал.

Амплітуди сейсмічного прискорення збільшуються при наближенні до епіцентру землетрусу починаючи з відстані 250 м від епіцентру та є максимальними в епіцентрі.

Домінантні частоти збудження при землетрусі від 1 до 9 балів при відстані до епіцентру від 10 до 1000 м зображено на Рис. 4.2.

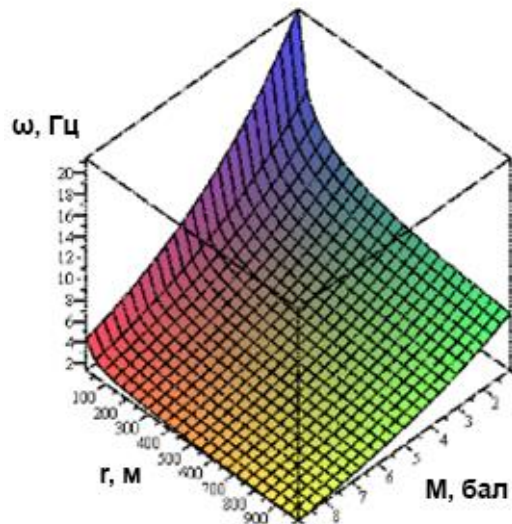


Рис. 4.2. – Домінантні частоти збудження при землетрусі від 1 до 9 балів при відстані до епіцентру від 10 до 1000 м, де ω – домінуюча частота збудження, Гц; r – епіцентральна відстань, м; M – магнітуда, бал.

Домінантні частоти збудження при землетрусі в 1 бал в епіцентрі є максимальними.

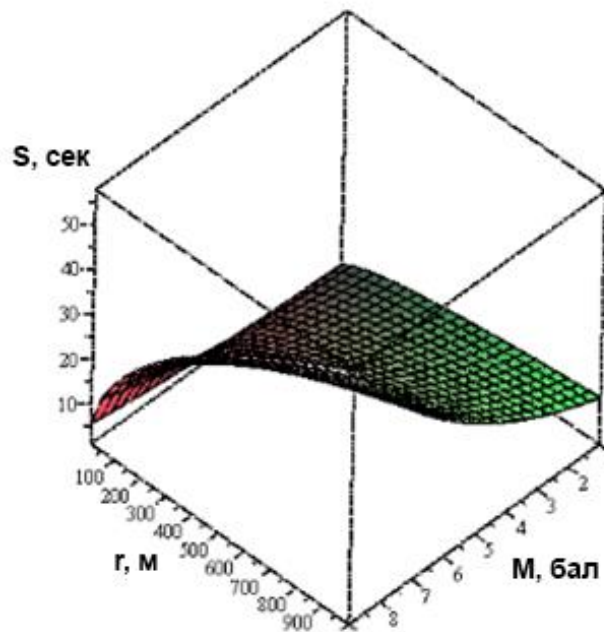


Рис. 4.3. – Середня тривалість впливу під час землетрусу від 1 до 9 балів при відстані до епіцентру від 10 до 1000 м, де S – середня тривалість впливу, сек; r – епіцентрально відстань, м; M – магнітуда, бал.

Тривалість впливу дії землетрусу збільшується при підвищенні бальності землетрусу та збільшенні відстані від епіцентру.

Таким чином, вплив дії землетрусу починається в епіцентрі, але набирає прискорення на відстані 250 м від епіцентру, далі набирає сили із тривалістю впливу та має найбільш руйнівний характер на відстані 1000 м від епіцентру.

У даній роботі розглядається задача про коливання рідини в довільній оболонці обертання. Позначимо змочену поверхню оболонки через S_1 , а вільну поверхню - S_0 (Рис. 4.4.) Як модель нафтоховища розглянемо циліндричну оболонку з плоским дном, частково заповнену рідиною.

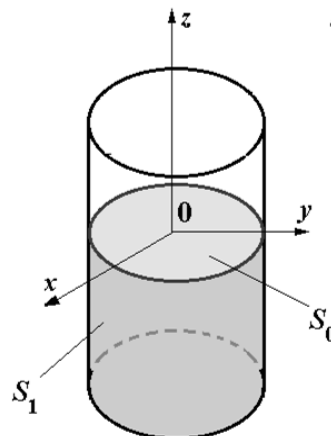


Рис. 4.4. – Циліндричний резервуар

Вважаємо, що декартова система координат $Oxyz$ пов'язана з оболонкою, вільна поверхня рідини S_0 збігається з площиною xOy в стані спокою. Приймаємо, що рідина є ідеальною, нестисливою, рух рідини розпочинається зі стану спокою та є безвихровим. В таких умовах існує потенціал швидкостей рідини, що задовольняє рівнянню Лапласа:

$$V_x = \frac{\partial \Phi}{\partial x}; V_y = \frac{\partial \Phi}{\partial y}; V_z = \frac{\partial \Phi}{\partial z},$$

Величину тиску p на стінки оболонки визначаємо з лінеаризованого інтеграла Коші-Лагранжа за формулою:

$$p = -\rho_l \left(\frac{\partial \Phi}{\partial t} + gz \right) + p_0 + a_s(t)x,$$

в якій Φ – потенціал швидкостей, g – прискорення вільного падіння, z – координата точки рідини, яка відлічується в вертикальному напрямку, ρ_l – щільність рідини, p_0 – атмосферний тиск, $a_s(t)x$ – функція, що характеризує зовнішній вплив (горизонтальний сейсм або імпульс).

На вільній поверхні рідини повинні бути виконані наступні кінематична і динамічна умови:

$$\left. \frac{\partial \Phi}{\partial n} \right|_{S_0} = \frac{\partial \zeta}{\partial t}; \quad p - p_0|_{S_0} = 0,$$

де функція ζ описує форму і положення вільної поверхні.

Таким чином, для потенціалу швидкостей маємо наступну крайову задачу

$$\nabla^2 \Phi = 0; \quad \left. \frac{\partial \Phi}{\partial \mathbf{n}} \right|_{S_1} = 0; \quad \left. \frac{\partial \Phi}{\partial n} \right|_{S_0} = \frac{\partial \zeta}{\partial t}; \quad p - p_0|_{S_0} = 0; \quad \left. \frac{\partial \Phi}{\partial t} + g\zeta + a_s(t)x \right|_{S_0} = 0.$$

Визначивши потенціал швидкостей Φ і функцію ζ , встановимо висоту підйому вільної поверхні і визначимо тиск рідини на стінки оболонки.

Представимо потенціал Φ у вигляді

$$\Phi = \sum_{k=1}^M \dot{d}_k \varphi_k. \quad (4.1)$$

Для функцій φ_k розглянемо наступні крайові задачі:

$$\nabla^2 \varphi_k = 0, \quad \left. \frac{\partial \varphi_k}{\partial \mathbf{n}} \right|_{S_1} = 0, \quad (4.2)$$

$$\left. \frac{\partial \varphi_k}{\partial \mathbf{n}} \right|_{S_0} = \frac{\partial \zeta}{\partial t}; \quad \frac{\partial \varphi_k}{\partial t} + g\zeta = 0. \quad (4.3)$$

Продифференціюємо друге співвідношення в (4.3) по t і підставимо в отриману рівність $\frac{\partial \zeta}{\partial t}$ з першого співвідношення. Далі представимо функції φ_k у вигляді $\varphi_k(t, x, y, z) = e^{ix, kt} \varphi_k(x, y, z)$. Приходимо до проблеми власних значень, при цьому на вільній поверхні буде виконано рівність

$$\frac{\partial \varphi_k}{\partial n} = \frac{\chi_k^2}{g} \varphi_k. \quad (4.4)$$

Для рівняння вільної поверхні отримаємо вираз:

$$\zeta = \sum_{k=1}^M d_k \frac{\partial \varphi_k}{\partial n}. \quad (4.5)$$

В циліндричній системі координат маємо вирази для шуканих функцій

$$\varphi_k(r, z, \theta) = \varphi_k(r, z) \cos \alpha \theta \quad (4.6)$$

Тут α – номер гармоніки. Таким чином, окремо розглядаються частоти і форми вільних коливань для різних α .

Представимо φ у вигляді суми потенціалів простого і подвійного шару [18]

$$2\pi\varphi(P_0) = \iint_S \frac{\partial \varphi}{\partial n} \frac{1}{|P - P_0|} dS - \iint_S \varphi \frac{\partial}{\partial n} \frac{1}{|P - P_0|} dS. \quad (4.7)$$

Тут $S = S_1 \cup S_0$; точки P та P_0 належать поверхні S .

Величина $|P - P_0|$ – декартова відстань між точками P та P_0 .

Задовольнивши граничним умовам (4.2), (4.3), приходимо до системи інтегральних рівнянь у вигляді [17]:

$$\begin{cases} 2\pi\varphi_1 + \iint_{S_1} \varphi_1 \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{1}{r} \right) dS_1 - \frac{\kappa^2}{g} \iint_{S_0} \varphi_0 \frac{1}{r} dS_0 + \iint_{S_0} \varphi_0 \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{1}{r} \right) dS_0 = 0, \\ - \iint_{S_1} \varphi_1 \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{1}{r} \right) dS_1 - 2\pi\varphi_0 + \frac{\kappa^2}{g} \iint_{S_0} \varphi_0 \frac{1}{r} dS_0 = 0. \end{cases} \quad (4.8)$$

Тут для зручності позначаємо значення потенціалу на вільній поверхні як φ_0 та φ_1 на стінках оболонки.

Рішення системи (4.8) шукаємо у вигляді (4.6).

Для вирішення цієї системи сингулярних інтегральних рівнянь застосуємо метод граничних елементів [6,7].

Визначивши базисні функції φ_k , підставимо їх у вирази для потенціалу швидкостей (4.1) і форми вільної поверхні (4.5). Отримані ряди підставляємо в крайову умову на вільній поверхні:

$$\left. \frac{\partial \Phi}{\partial t} + g\zeta + a_s(t)x \right|_{s_0} = 0.$$

Оскільки в циліндричній системі координат $x = r \cos \theta$, то нас буде цікавити тільки перша гармоніка, тобто у формулі (4.6) вважаємо $\alpha=1$. Приходимо до наступного співвідношення, виконаному на поверхні S_0

$$\sum_{k=1}^M \ddot{d}_k \varphi_k + g \sum_{k=1}^M d_k \frac{\partial \varphi_k}{\partial n} + a_s(t)r = 0.$$

Але на поверхні S_0 виконано співвідношення (4), тоді наведене вище рівність набуде вигляду:

$$\sum_{k=1}^M \ddot{d}_k \varphi_k + \sum_{k=1}^M \chi_k^2 d_k \varphi_k + a_s(t)r = 0. \quad (4.9)$$

Помноживши рівність (4.9) скалярно на φ_l ($l = \overline{1, M}$) і скориставшись ортогональністю власних форм, отримуємо систему звичайних диференціальних рівнянь другого порядку

$$\ddot{d}_k + \chi_k^2 d_k + a_s(t)F_k = 0; \quad F_k = \frac{(r, \varphi_k)}{(\varphi_k, \varphi_k)}; \quad k = \overline{1, M}. \quad (4.10)$$

Вважаємо, що до початку дії горизонтальної навантаження резервуар знаходився в стані спокою. Тоді (4.10) вирішуємо при нульових початкових умовах. Для вирішення системи (4.10) в роботі застосовано операційний метод [19].

5 Результати та обговорення

Як приклад розглянуто циліндричну оболонку з радіусом $R=1$ м та рівнем заповнення $h=2$ м під дією горизонтального сейсмічного навантаження з різними параметрами. Результати розрахунків наведено на Рис.5.1 а, б.

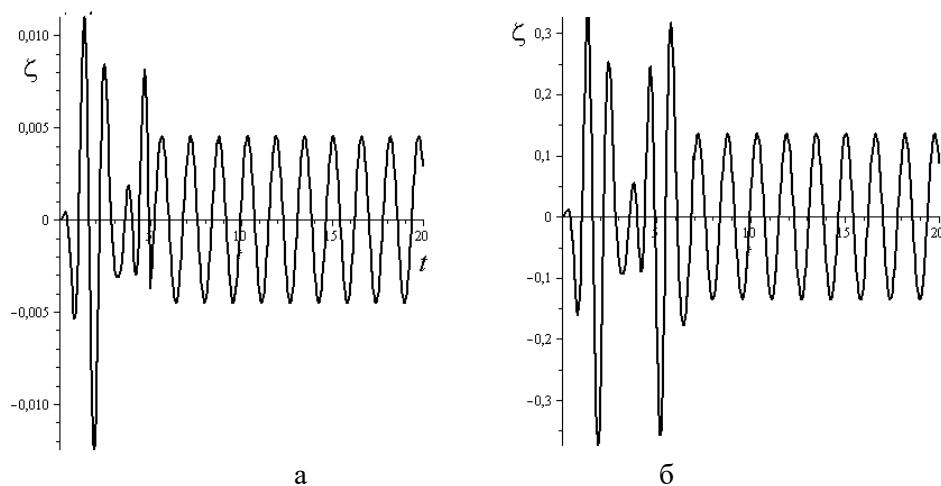


Рис. 5.1. – Зміна рівня підйому вільної поверхні під дією сейсмічних навантажень.

На рис 5.1 а показано зміну рівня вільної поверхні під дією сейсмічного навантаження з такими параметрами: $M=4$ бали, $r=200$ м, $S=20$ с, $\omega=4$ Гц. Рис. 5.1 б демонструє зміну рівня вільної поверхні під дією сейсмічного навантаження з параметрами: $M=8$ балів, $r=800$ м, $S=20$ с, $\omega=4$ Гц.

Ці дані можуть бути корисними при оцінюванні стійкості резервуарів під дією сейсмічних навантажень.

Результати досліджень дозволяють зробити підбір параметрів резервуарів для відстроювання від небажаних частот, попередити їх руйнування та продовжити строк експлуатації, що дозволить підвищити рівень екологічної безпеки прилеглих до резервуарів територій.

Для підвищення рівня екологічної безпеки територій, прилеглих до резервуарів для збереження небезпечних рідин, 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 (Рис. 5.2).

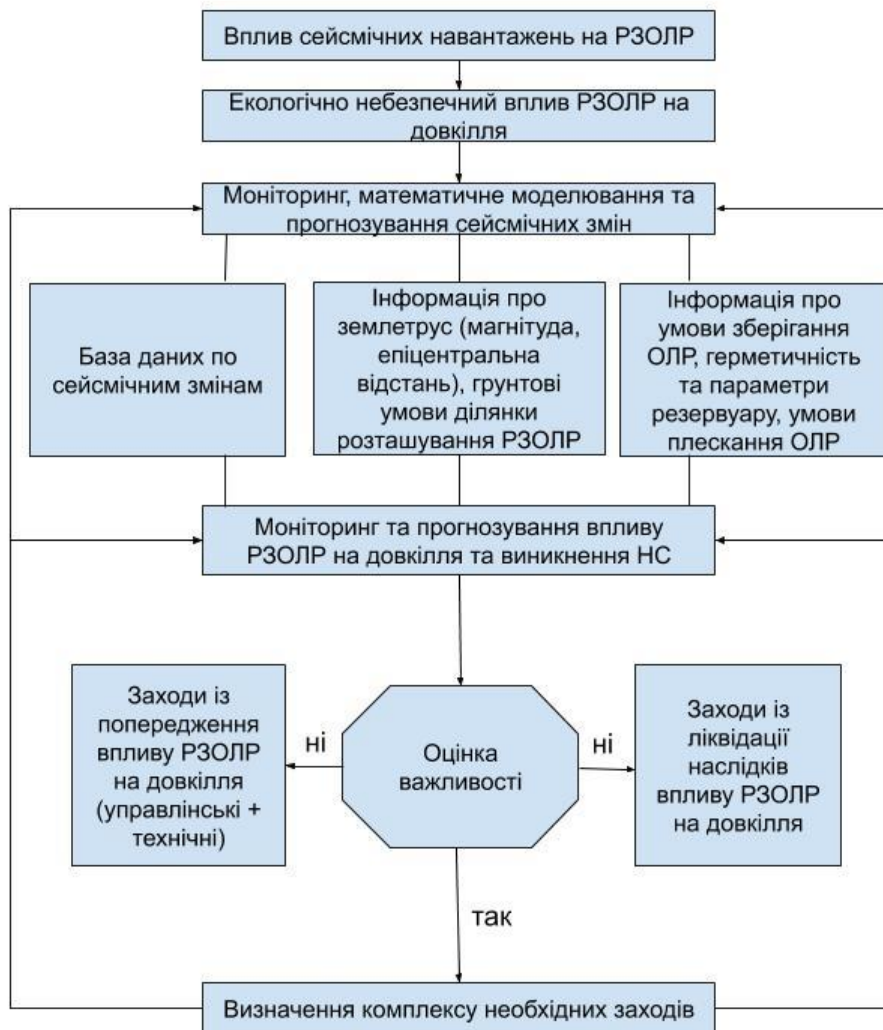


Рис. 5.2 – Алгоритм дій у ході проведення моніторингу за сейсмічними навантаженнями на резервуари для збереження отруйних та легкозаймистих рідин (Серікова О.М. та інш., 2020; Серікова О.М. та інш., 2020; Серікова О.М. та інш., 2020).

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 ОЛР в комплексі необхідних заходів щодо забезпечення цілісності резервуару та мінімізації його впливу на довкілля.

6 Висновки

Результати досліджень дозволять зробити підбір параметрів резервуарів від впливу резонансних частот, попередити їх руйнування та продовжити строк експлуатації, що дозволить мінімізувати екологічно небезпечний вплив на довкілля та попередити виникнення надзвичайних ситуацій.

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 ОЛР в комплексі необхідних заходів щодо забезпечення цілісності резервуару та мінімізації його впливу на довкілля.

ЛІТЕРАТУРА

1. Грицай О. Д. Визначення механізмів вогнищ місцевих землетрусів на основі кінематичних і динамічних підходів : автореф. дис. ... канд. фіз.-мат. наук : 04.00.22 / О. Д. Грицай; НАН України, Ін-т геофізики ім. С.І. Суботіна. Київ, 2016. 20 с.
2. Серікова, О. М. Стрельникова О. О., Яковлев В. В. Додаткове живлення підземних вод у великих містах України на прикладі міста Харкова. *Комунальне господарство міст*. 2016. № 130. С. 13–18.
3. Nemchynov Yu. I., Havkin O. K., Marienkov M. G., Jarko L. O., Dunin V. A., Babik K. M., Egupov K. V., Kendzera O. V., Egupov V. K., Bulat A. F., Dyrda V.I., Lysytsia M. I. Practical questions of dynamics of buildings. *Scientific Production Journal: The Building in Ukraine*, 6, 2013. P. 6–21.
4. Кендзера О. В. Сейсмічна небезпека і захист від землетрусів. *Практичне впровадження розробок Інституту геофізики ім. С.І. Суботіна НАН України. Вісник НАН України*. 2015. № 2. С. 44 – 57.
5. Буданов М. П., Демідов Б.О., Шендрік В. І. Аналіз можливостей виявлення сильдіючих отруйних речовин квантово-оптичними засобами за спектрами випромінювання. *Системи озброєння і військова техніка*. 2007. Вип. 2. С. 33–38.
6. Дубицький А. Ю., Чепкий Л. П., Семенов І. О. Характеристика аварій на хімічно-небезпечних об'єктах. *Современные проблемы токсикологии*. 1999. №2. С. 14 – 17.
7. Липовий В. О., Удянський М. М. Техногенні ризики забруднення довкілля під час експлуатування та ремонтних робіт резервуарів з нафтопродуктами. *Харків: НУГЗУ*. 2017. 107 с.
8. Кузеев И. Р., Гляшева Р. Р., Мансурова С. М., Ивакин А. В., Шайзаков Г. А., Байрамгулов А. С. Методика определения напряженно-деформированного состояния стального цилиндрического резервуара. *Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн*. 2013. № 4. С. 339–347.
9. Роянов О. М., Гарбуз С. В. Проблемы пожарной безопасности. *Проблемы пожарной безопасности*. Х.: НУГЗУ, 2018. Вып. 42. С. 110–114.
10. Звірко О. Корозійна тривкість сталей тривало експлуатованих нафтосховищ. *Вісник ТНТУ*. 2011. Том 17. № 2. С.58–64.
11. Ibrahim R. A., Pilipchuck V. N., Ikeda T. Recent Advances In Liquid Sloshing Dynamics. *Applied Mechanics Reviews*, 2001. Vol. 54, No. 2. P. 133–199.
12. Ibrahim R. A. Liquid Sloshing Dynamics. *Cambridge University Press*, New York, 2005. 948 p.
13. Ventsel E., Naumenko V, Strelnikova E., Yeseleva E. Free vibrations of shells of revolution filled with a fluid. *Engineering analysis with boundary elements*, 34, 2010. P. 856–862.
14. 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*. Vol. 1, No. 4, P. 159-168, DOI: [10.13140/RG.2.1.1857.5209](https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1857.5209)
15. Еселева Е. В., Гнитько В. И., Стрельникова Е. А. Собственные колебания сосудов высокого давления при взаимодействии с жидкостью. *Пробл. машиностроения*. 2006. Т.9. №1. С.105–118.
16. Захаров В. С., Симонов Д. А., Коптев А. И. Компьютерное моделирование сейсмогенных оползневых смещений. Геологический факультет МГУ, *Электронное научное издание Георазрез*. 2009. Т. 3., вып. 1. С. 1–24.

17. Эртелева О. О. Параметры сейсмических колебаний в эпицентральных областях землетрясений. Диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, 2019. Институт физики земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук. 2019. 290 с.
18. Gnitko V., Degtyariv K., Karaiev A., Strelnikova E., Multi-domain boundary element method for axisymmetric problems in potential theory and linear isotropic elasticity, *WIT Transactions on Engineering Sciences*. WIT Press. 2019. P.13–25. DOI: 10.2495/BE410021
19. Medvedovskaya T., Strelnikova E., Medvedyeva K. Free hydroelastic vibrations of hydroturbine head covers. *Int. J. Eng. and Advanced Research Technology*. 2015. Vol. 1. No 1. P.45–50.
20. Strelnikova E., Gnitko V., Krutchenko D., Naumemko Y. Free and forced vibrations of liquid storage tanks with baffles. *J. Modern Technology & Engineering*. 2018. Vol. 3. No.1. P.15–52.
21. Серікова О. М., Стрельнікова О. О. Вплив резервуарів для збереження отруйних та легкозаймистих рідин на навколишнє середовище. *Сучасні технології у промисловому виробництві: матеріали та програма VII Всеукраїнської науково-технічної конференції* (м. Суми, 21–24 квітня 2020 р.) 2020. С. 238–239.
22. Серікова О. М., Стрельнікова О. О., Пісня Л. А., Крютченко Д. В. Дослідження впливу пікових амплітуд сейсмічного прискорення при землетрусі на техногенні об'єкти. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення: зб. наук. статей XVI Міжнародної науково-практичної конференції* (м. Харків, 14–18 вересня 2020 р.) УКРНДІЕП. ПП «Стиль-Іздат», 2020. С. 221–223.
23. Серікова О. М., Стрельнікова О. О., Пісня Л. А., Крютченко Д. В. Вплив сейсмічних навантажень на резервуари для збереження отруйних та легкозаймистих рідин. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення: зб. наук. статей XVI Міжнародної науково-практичної конференції* (м. Харків, 14–18 вересня 2020 р.) УКРНДІЕП. ПП «Стиль-Іздат», 2020. С. 217–220.

REFERENCES

1. Gritsay O.D. The mechanisms determination of local earthquakes foci on the basis of kinematic and dynamic approaches: author's ref. dis. ... cand. physical and mathematical sciences: 04.00.22 / O.D. Gritsay; NAS of Ukraine, Institute of Geophysics SI. Subotina. Kyiv. 20 p., 2016. [in Ukrainian]
2. E. Serikova, E. Strelnikova, and V. Yakovlev, Additional groundwater replenishment in the large cities of Ukraine on example of the Kharkiv city. *Urban Management of Cities*, vol. 130. pp. 13-18, 2016. [in Ukrainian]
3. Yu. I. Nemchynov, O. K. Havkin, M. G. Marienkov, L. O. Jarko, V. A. Dunin, K. M. Babik, K. V. Egupov, O. V. Kendzera, V. K. Egupov, A. F. Bulat, V.I. Dyrda, M. I. Lysycia. Practical questions of buildings dynamics. *Scientific Production Journal: The Building in Ukraine*, 6. pp. 6–21, 2013.
4. O.V. Kendzera 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. pp. 44 – 57, 2015. [in Ukrainian]
5. M.P. Budanov, B.O. Demidov, V.I. Shendrik. Analysis of the possibility of detecting silding toxic substances by quantum optical means by radiation spectra. *Weapons systems and military equipment*. Vol. 2. pp. 33–38, 2007. [in Ukrainian]
6. A. Yu. Dubitsky, L.P. Chepky, I.O. Semenov. Characteristics of accidents at chemically dangerous objects. *Modern problems of toxicology*. №2. pp. 14 – 17, 1999. [in Ukrainian]
7. V.O. Lypovy, M.M. Udyansky. Technogenic risks of environmental pollution during operation and repair of tanks with petroleum products. *Kharkiv: NUGZU*. 107 p., 2017. [in Ukrainian]
8. I.R. Kuzeev, R.R. Tlyasheva, S.M. Mansurova, A.V. Ivakin, G.A. Shaizakov, A.S. Bayramgulov Methods for determining the stress-strain state of a steel cylindrical reservoir. *Oil and Gas Business: Electronic Science Journal*. No. 4. pp. 339–347, 2013. [in Russian]
9. O.M. Royanov, S.V. Garbuz. Problems of fire safety. *Fire safety problems*. Kh.: NUGZU, 42. pp. 110–114, 2018. [in Russian]
10. O. Zvirko. Corrosion resistance of steels of long-operated oil storage facilities. *Bulletin of TNTU*. Vol. 17. № 2. pp. 58–64, 2011. [in Ukrainian]
11. Ibrahim R. A., Pilipchuck V. N., Ikeda T. Recent Advances In Liquid Sloshing Dynamics. *Applied Mechanics Reviews*, Vol. 54, №. 2, pp. 133–199, 2001.

12. Ibrahim R. A. Liquid Sloshing Dynamics. *Cambridge University Press*, New York, 948 p., 2005.
13. Ventsel E., Naumenko V, Strelnikova E., Yeseleva E. Free vibrations of shells of revolution filled with a fluid. *Engineering analysis with boundary elements*, 34. pp. 856–862, 2010.
14. 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*. Vol. 1, No. 4, P. 159-168, DOI: [10.13140/RG.2.1.1857.5209](https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1857.5209)
15. E.V. Yeseleva, V.I. Gnitko, E.A. Strelnikova. Natural oscillations of high pressure vessels during interaction with liquid. *Probl. mechanical engineering*. Vol.9. № 1. pp. 105-118, 2006. [in Russian]
16. V.S. Zakharov, D.A. Simonov, A.I. Koptev. Computer modeling of seismogenic landslide displacements. Geological Faculty of Moscow State University, *Electronic scientific publication Georazrez*. Vol. 3., № 1. pp. 1–24, 2009. [in Russian]
17. O. O. Erteleva. Parameters of seismic vibrations in epicentral areas of earthquakes. Dissertation for the degree of Doctor of Physics and Mathematics, 2019. Institute of Physics of the Earth. O.Yu. Schmidt of the Russian Academy of Sciences. 290 p., 2019. [in Russian]
18. V. Gnitko, K. Degtyariov, A. Karaiev, E. Strelnikova, Multi-domain boundary element method for axisymmetric problems in potential theory and linear isotropic elasticity, *WIT Transactions on Engineering Sciences*. WIT Press. pp.13–25, 2019. DOI: 10.2495/BE410021
19. T. Medvedovskaya, E. Strelnikova, K. Medvedyeva Free hydroelastic vibrations of hydroturbine head covers. *Int. J. Eng. and Advanced Research Technology*. Vol. 1. № 1. pp. 45–50, 2015.
20. E. Strelnikova, V. Gnitko, D. Krutchenko, Y. Naumemko Free and forced vibrations of liquid storage tanks with baffles. *J. Modern Technology & Engineering*. Vol. 3. № 1. pp.15–52, 2018.
21. O.M. Serikova, O.O. Strelnikova. Influence of storage tanks of toxic and flammable liquids on the environment. *Modern technologies in industrial production: proceedings and program of the VII All-Ukrainian scientific and technical conference* (Sumy, April 21-24, 2020) pp. 238-239, 2020. [in Ukrainian]
22. O.M. Serikova, O.O. Strelnikova, L.A. Pisia, D.V. Kryutchenko. Investigation of the peak amplitudes influence of seismic acceleration during an earthquake on the technogenic objects. *Environmental safety: problems and solutions: Proceedings of the XVI International Scientific and Practical Conference* (Kharkiv, September 14-18, 2020) UKRNDIEP. PE "Style-Izdat", pp. 221–223, 2020. [in Ukrainian]
23. O.M. Serikova, O.O. Strelnikova, L.A. Pisia, D.V. Kryutchenko. Seismic loads influence on the storage tanks of toxic and flammable liquids. *Environmental safety: problems and solutions: Proceedings of the XVI International Scientific and Practical Conference* (Kharkiv, September 14-18, 2020) UKRNDIEP. PE "Style-Izdat", pp. 217-220, 2020. [in Ukrainian]