



О. М. Серікова

Національний університет цивільного захисту України, м. Харків, Україна

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОГЕННОГО ВПЛИВУ РЕЗЕРВУАРІВ З РІДКИМИ ВУГЛЕВОДНЯМИ НА ДОВКІЛЛЯ ПІД ЧАС СЕЙСМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Цілісність резервуарів для зберігання рідких вуглеводнів (РЗРВ) і їх технічний стан є першочерговими об'єктами контролю від сейсмічного впливу. Пошкодження резервуарів під час дії сейсмічних навантажень може призвести до витoku екологічно небезпечної рідини та забруднення довкілля, а також збільшувати ризик пожежі та вибуху. За результатами нещодавніх сейсмологічних досліджень установлено, що на території України, в зокрема і на платформній її частині, існує небезпека місцевих і сильних підкорових землетрусів з магнітудою понад 5 (більше 6 балів за шкалою MSK-64). Останніми роками особливо загострилася проблема малосейсмічних і не сейсмонезбезпечних територій, схильних до техногенних землетрусів, спричинених підземними вибухами, гірничими роботами та антропогенним впливом. Основними чинниками природно-техногенної сейсмічної обстановки територій міст та інших населених пунктів є складна структурно-тектонічна та геолого-літологічна будова територій, розвиток небезпечних геологічних процесів. Досліджено причини виникнення техногенних сейсмічних навантажень. Було визначено підсилюючі чинники техногенних землетрусів. Доведено, що важливим супутнім завданням у вивченні сейсмічної небезпеки є дослідження підвищеного рівня ґрунтових вод і проблеми підтоплення. Розроблено науково-теоретичні основи створення схем управління рівнем екологічної безпеки резервуарів для зберігання рідких вуглеводнів під час сейсмічних навантажень. Доведено, що необхідним є постійний моніторинг сейсмічної активності навіть у несейсмічних зонах та врахування можливості підвищення сейсмічної активності як техногенного, так і природного походження. Важливим є подальше вдосконалення методик оцінювання ризику аварій резервуарів для зберігання рідких вуглеводнів під час сейсмічних навантажень, методик прогнозування сейсмічних навантажень, розроблення типових схем управління рівнем екологічної безпеки резервуарів для зберігання рідких вуглеводнів під час сейсмічних навантажень, розроблення та вдосконалення наявних нормативних документів, що регламентують екологічну безпеку РЗРВ під час сейсмічних навантажень. Впровадження розроблених науково-теоретичних основ та практичних заходів дасть змогу значно підвищити рівень екологічної безпеки зберігання рідких вуглеводнів під час сейсмічних навантажень.

Ключові слова: екологічна безпека; резервуари з рідкими вуглеводнями; сейсмічні навантаження; техногенне навантаження; довкілля.

Вступ / Introduction

Щороку у світі відбувається близько мільйона землетрусів різної інтенсивності. Велика частина європейської території піддається значній сейсмічній небезпеці. Зазначимо, що вся територія України зазнає сильних підкорових землетрусів зони Вранча (Румунія). Сейсмічність України проявляється в західних, південно-західних і південних областях, де виокремлюють дві основні сейсмічні області: Карпатську і Кримсько-Чорноморську. Вогнища землетрусів, які здатні стати причиною макросейсмічних проявів на території України, знаходяться в мантії на глибинах від 80 до 190 км. Максимальна магнітуда землетрусів у цій зоні досягала 7,6 бала. Завдяки великим глибинам і магнітудам землетрусів зони Вранча стають помітними на величезній території: від півдня Греції до півночі Фінляндії.

Окремим сейсмічним районом вважають дельту Дунаю. Тут протягом історичних часів відбувалися землетруси з максимальною магнітудою близько 7 балів, які разом із Вранчанською зоною землетрусів становлять серйозну небезпеку для території Одеської області.

У центральній частині України за останні століття достовірно зафіксовано тільки кілька землетрусів з невеликими глибинами (5-10 км) і малими магнітудами ($M = 3$). Ці землетруси мали локальний характер сейсмічного впливу. Найсильнішим землетрусом у східній частині України вважають землетрус 1913 р. під Куп'янськом (магнітуда 3,5, локальні коливання інтенсивністю до 5-6 балів). У західній частині України поблизу селища Микулинці Тернопільської області 3 січня 2002 р. стався землетрус магнітудою 4 балів, інтенсивність в епіцентрі 6 балів з впливом на ослаблені ґрунти 7 балів.

Інформація про автора:

Серікова Олена Миколаївна, канд. техн. наук, доцент, кафедра прикладної механіки та технологій захисту навколишнього середовища. Email: sierikova_olena@ukr.net; <http://orcid.org/0000-0003-0354-9720>

Цитування за ДСТУ: Серікова О. М. Особливості техногенного впливу резервуарів з рідкими вуглеводнями на довкілля під час сейсмічних навантажень. Науковий вісник НЛТУ України. 2024, т. 34, № 2. С. 54–68.

Citation APA: Sierikova, O. M. (2024). Some peculiarities of technogenic impact of liquid hydrocarbon tanks on the environment during seismic loads. *Scientific Bulletin of UNFU*, 34(2), 54–68. <https://doi.org/10.36930/40340207>

До цього часу вказана територія мала показник 5 балів.

Сейсмічність Карпатського регіону визначається землетрусами з пожежами на Закарпатті, Карпатах, Прикарпатті, а також на прилеглих територіях сусідніх країн: Польщі, Словаччини, Угорщини та Румунії. Найбільш сейсмоактивним є Закарпаття [15, 16, 17]

Цілісність резервуарів для зберігання рідких вуглеводнів (РЗРВ) і їх технічний стан є першочерговими об'єктами контролю від сейсмічного впливу. Пошкодження резервуарів під час дії сейсмічних навантажень може призвести до витоку екологічно небезпечної рідини та забруднення довкілля, а також збільшуючи ризик пожежі та вибуху. Нафтопродукти, які потрапляють у водойми, також є легкозаймистими та можуть спричинити річкові пожежі, як це було у випадку з річкою Куяхога.

Забруднення ґрунту рідкими вуглеводнями знижує його родючість ґрунту та впливає на ріст і якість рослинних культур [38]. Тому, дослідження сейсмічних навантажень на техногенні об'єкти, зокрема на резервуари з рідкими вуглеводнями, є важливим завданням сьогодення.

Об'єкт дослідження – техногенний вплив резервуарів з рідкими вуглеводнями на довкілля під час сейсмічних навантажень.

Предмет дослідження – методи та засоби зниження техногенного впливу резервуарів з вуглеводнями на довкілля внаслідок землетрусів.

Мета роботи – розробити наукові підходи до зниження техногенного впливу резервуарів з рідкими вуглеводнями на довкілля під час сейсмічних навантажень, що дасть змогу зменшити та попередити негативні впливи на ці об'єкти та прилеглу територію.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження:

- 1) з'ясувати основні причини виникнення техногенних сейсмічних навантажень та їх вплив на резервуари для зберігання рідких вуглеводнів, що дасть змогу запропонувати комплекс заходів із попередження та мінімізації цих впливів на екологічно небезпечні об'єкти та довкілля;
- 2) визначити підсилюючі чинники техногенних землетрусів, що дасть змогу розглядати вплив сейсмічних навантажень комплексно, враховуючи природні умови та особливості території, управляти техногенними впливами на сейсмічні події;
- 3) розробити блок-схему покращення стану екологічної безпеки резервуарів для зберігання рідких вуглеводнів під час сейсмічних навантажень, що дозволить зменшити та попередити негативні сейсмічні впливи на ці об'єкти та прилеглу територію.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Щорічно Україна споживає більше ніж 20 млн тонн нафти, що передбачає експлуатацію досить великого резервуарного парку країни. Встановлено, що на одну тону видобутої або переробленої нафти необхідний для зберігання обсяг повинен становити 0,4-0,5 м³. Дослідження та аналіз джерел екологічного впливу під час експлуатації резервуарів засвідчують, що резервуари, призначені для зберігання нафтопродуктів, навіть за штатної експлуатації належать до екологічно небезпечних об'єктів [18]. Дослідження сейсмічних впливів на резервуари для зберігання рідких вуглеводнів є недостатнім та актуальним навіть в несейсмічних зонах.

Вивченням проблем сейсмічної безпеки в Україні займалися такі вчені: О. В. Кендзера [15, 16, 17], Ю. О.

Гордієнко [13], П. Г. Пігулевський, Ю. А. Андрущенко, В. М. Каплаушенко, С. В. Щербина [21, 23, 24, 28], за кордоном – Лі Ю., Х. Чень [19], К. Сесетян, М. Стуччі [27], Н. Йосіда [39], Е. Сальцано [26], З. Даї [7], М. Дж. А. Моен [20] та ін.

Загалом від прямого впливу небезпечних сейсмічних подій може постраждати до 40 % території України, а від спільного впливу землетрусів із підтопленнями, зсувами, просадками та іншими інженерно-геологічними процесами, що негативно впливають на стійкість конструкцій, значно більше сейсмічні райони України з прогнозованою інтенсивністю сейсмічних поштовхів 6-9 балів займають близько 20 % території (≈120 тис. км²), де проживає понад 10 млн осіб. Території з інтенсивністю 7-9 балів займають близько 12 % території і охоплюють близько 80 населених пунктів, в яких проживає понад 7 млн осіб [15, 16, 17]. За результатами нещодавніх сейсмологічних досліджень установлено, що на території України, зокрема і на платформній її частині, існує небезпека місцевих і сильних підкорових землетрусів з магнітудою понад 5 (більше 6 балів за шкалою MSK-64).

Складні геотехнічні умови, використання різних методів щодо зниження динамічного і вібраційного впливу на слабкі, водонасичені, структурно-нестійкі ґрунти та будівництво і експлуатацію нафтових резервуарів в цих умовах розглядав М. Л. Зоценко [40]. Природні та техногенні землетруси, причини їх виникнення та наслідки впливів досліджували С. В. Щербина та П. Г. Пігулевський [28].

Кендзера О. В., П. Г. Пігулевський та Ю. А. Андрущенко довели, що із збільшенням кількості техногенних сейсмічних подій почала зростати і кількість природних землетрусів, які відбувалися зі спусковим (тригерним) запізненням [15, 21, 23, 28]. Фізичні механізми індукованої сейсмічності та їх фундаментальне застосування для моделювання, прогнозування, моніторингу та пом'якшення індукованих землетрусів досліджували М. Дж. А. Моен, К. Лангенбрух, Р. Шульц та ін. [20]. Наведені дослідження показали важливість дослідження підсилюючих чинників землетрусів.

Цзін В. та ін. [14, 37] досліджували безпеку резервуарів для зберігання рідких вуглеводнів із демпфуванням плескань рідини під час землетрусів. Чоудхари Н. та ін. [6] запропонували встановлення плаваючої мембрани для гасіння плескань в резервуарах для зберігання рідких вуглеводнів під час землетрусів. Серіковою О. М. та ін. запропонували використання нанокompозитів як матеріалів резервуарів для зберігання рідких вуглеводнів для підвищення їх міцносних характеристик [35, 36]. Ці автори запропонували інженерні підходи до вирішення проблеми цілісності та безпечної експлуатації резервуарів.

Управлінські підходи до покращення стану екологічної безпеки систем зберігання рідких вуглеводнів запропоновані в роботах Л. Ши [29], але вони не враховують впливу сейсмічних навантажень на ці об'єкти.

Матеріали та методи дослідження. Основними із застосованих методів були такі, як аналіз літературних даних щодо вирішення досліджуваної проблеми, системний аналіз щодо розроблення і обґрунтування наукових засад зниження техногенного впливу на довкілля від резервуарів для зберігання рідких вуглеводнів під час сейсмічних навантажень. Дослідження проведе-

но за матеріалами бази даних землетрусів, спричинених людиною, HiQuake [12], що є вичерпним ресурсом у разі послідовності землетрусів, які вважають спричиненими антропогенною діяльністю, що містить понад 700 справ, що охоплюють період 1868-2016 років, було досліджено причини техногенних землетрусів.

Результати дослідження та їх обговорення / Research results and their discussion

Дослідження техногенних землетрусів. Індуковані землетруси здебільшого викликані збуреннями напруги, які дестабілізують вже наявні критично напружені розломи. Однак промислові операції також можуть повторно активувати несправності, які спочатку не були серйозно напружені. Основним механізмом запуску сейсмічності, спричиненої ін'єкцією, є дифузія порового тиску, яка зменшує нормальне напруження, що діє на тріщини та площини розломів. Основним механізмом сейсмічності, викликаній видобутком, є поропружність, яка впливає на поле напруги в навколишніх гірських утвореннях і може викликати землетруси. Виникнення землетрусів великої магнітуди підтверджує гіпотезу про те, що максимальна магнітуда землетрусу, ймовірно, контролюється регіональною тектонікою. Зокрема, у сейсмічно активних регіонах тектонічне джерело деформації часто контролює ступінь розриву на критично напружених розломах.

Об'єм впорскування рідини не є єдиним контрольним параметром максимальної магнітуди землетрусу, і

інші чинники, такі як час, що минув від початку вилучення або впорскування рідини (час ініціювання), можуть мати значний вплив. Час спрацьовування, ймовірно, пов'язаний з часом, необхідним для збурення напруги або сили вже наявних несправностей.

Точні оцінки максимальної величини можуть бути корисними, коли є перелік наявних критично напружених розломів, детальна інформація про напругу на місці та фізичне розуміння процесів, які контролюють динаміку розриву [20]. Користуючись базою даних землетрусів, спричинених людиною, HiQuake [12], що є вичерпним ресурсом у разі послідовності землетрусів, які вважають спричиненими антропогенною діяльністю, що містить понад 700 справ, що охоплюють період 1868-2016 рр., було досліджено причини техногенних землетрусів (див. рисунок).

Загалом самі землетруси не пов'язані безпосередньо з глобальним потеплінням або нестійкою діяльністю людини, але є непрямі способи, за допомогою яких людська діяльність може впливати на ймовірність і наслідки землетрусів. Індукована сейсмічність, що виникає внаслідок таких видів діяльності, як видобуток корисних копалин, видобуток геотермальної енергії, сейсмічність, спричинена водосховищем (через велике заповнення водосховищ або будівництво греблі), а також гідравлічний розрив (розрив пласта), може змінити підповерхневий тиск і напругу, потенційно спровокувавши землетруси в несейсмічних зонах.



Рисунок. Блок-схема покращення стану екологічної безпеки резервуарів для зберігання рідких вуглеводнів під час сейсмічних навантажень / Block diagram of the environmental safety level increasing of storage tanks for the liquid hydrocarbons under seismic loads

Нераціональна практика землекористування, в т.ч. її урбанізацію та вирубування лісів, може підвищити вразливість регіонів до небезпек, пов'язаних із землетрусами та повенями, оскільки будівництво будівель та інфраструктури на нестабільному ґрунті може збільшити збитки та жертви під час таких катастрофічних подій. Окрім цього, зміна клімату, хоча й не пов'язана безпосередньо із землетрусами, може впливати на земну кору, наприклад танення льодовиків, зменшуючи тиск на земну кору та призводячи до підняття, відомого як

льодовикова ізостатична корекція, впливаючи на сейсмічну активність у вибраних регіонах. Надмірний видобуток ґрунтових вод або зміни рівня водосховищ, також можуть змінити підповерхневі умови, потенційно впливаючи на сприйнятливості території до сейсмічної небезпеки.

Антропогенною діяльністю, що викликає землетруси, є: створення водосховищ, зведення високих будинків, берегова інженерія, розроблення кар'єрів, видобуток підземних вод, вугілля, мінералів, газу, нафти та ге-

отермальних рідин, будівництво тунелів, затоплення покинутих шахт, гідророзрив пласта, мілітарні впливи, ядерні вибухи.

Останніми роками особливо загострилася проблема малосейсмічних і не сейсмонезбезпечних територій, схильних до техногенних землетрусів, спричинених підземними вибухами, гірничими роботами та антропогенним впливом. Основними чинниками природно-техногенної сейсмічної обстановки територій міст та інших населених пунктів є складна структурно-тектонічна та геолого-літологічна будова територій, розвиток небезпечних геологічних процесів. Водночас недостатньо вивченими залишаються питання щодо прогнозу активізації (розвитку) небезпечних геологічних процесів та зміни інженерно-геологічних і сейсмічних властивостей ґрунтів внаслідок техногенного впливу.

Розвиток міст і техногенний вплив на навколишнє середовище сприяють збільшенню водоспоживання, зростанню промислового та міського будівництва, зміні природних русел річок, створенню водосховищ, розвитку процесів підтоплення, що, водночас, може спричинити виникнення та підвищення сейсмічної небезпеки техногенного походження для промислових і житлових будівель, для екологічно небезпечних техногенних об'єктів.

Встановлено, що під час широкомасштабного розроблення родовищ корисних копалин із застосуванням потужних вибухів у шахтах (на глибині 440-1300 м) не можна виключити виникнення землетрусів магнітудою понад 5,0 в районі с. Криворізької залізорудної структури. Висунуто гіпотезу про їх природне та техногенне походження [16, 17, 25].

Дослідження підсилюючих чинників сейсмічної небезпеки. Природний і антропогенний гідрологічні режими можуть мати значний вплив на час, місце, швидкість і магнітуду землетрусів [25].

Там, де водний шлях має неглибокий вріз, а рівень ґрунтових вод високий, існує ймовірність розрідження та пошкодження навколишнього ґрунту. Розрідження ґрунту відбувається, коли не зчеплений насичений або частково насичений ґрунт втрачає значну міцність і жорсткість у відповідь на прикладену напругу, таку як струшування під час землетрусу або інші раптові зміни умов напруги, в яких матеріал, який зазвичай є твердою речовиною, поводить як рідина.

Поштовхи ґрунту під час землетрусу в Дарфілді 4 вересня 2010 р. (магнітуда 7,1) досягли максимального значення пришвидшення ґрунту в 1,25 g, спричинивши значні пошкодження ґрунту через розрідження. Зрідження може відбуватися в насичених, погано консолідованих родовищах. Під час землетрусу частинки ґрунту перегруповуються та намагаються ущільнитися. Вода витісняється з порового простору і зерна більше не можуть витримувати вагу розкривного шару. Якщо вода під тиском може витікати на поверхню землі, наприклад крізь тріщини може переносити з собою мул і пісок, утворюючи піщані кипіння та викликаючи поверхневе затоплення. Скидання води та мулу призводить до зменшення об'єму, що зумовлює осідання поверхні. Також може відбуватися латеральне розповсюдження, особливо поблизу водних шляхів, де рівень ґрунтових вод зазвичай високий і вільна земля може переміщатися вбік над розрідженим ґрунтом на глибині. Це проявляється у вигляді розтріскування і різного осідання ураженої землі.

Фізичні характеристики ґрунтів, окрім надання інформації про відносний вік поверхні ґрунту, також виділяють параметри, пов'язані зі схильністю до розрідження. Вік ґрунту є важливим чинником, оскільки старі ґрунти, переважно, щільніші та більш консолідовані, а зв'язування частинок, яке, зазвичай, супроводжує старіння, означає, що старі ґрунти, швидше за все, будуть більш стійкими до землетрусів. Структура ґрунту (гранулометричний склад) відображає пористість і щільність (порожній простір) і, отже, потенційну водонасиченість, тоді як дренаж ґрунту відображає частоту насичення, зазвичай вказуючи на наявність або відсутність високого рівня ґрунтових вод [20].

Квіглі М. та Ф. Кавальєрі досліджували як землетруси можуть впливати на безпеку повеней, змінюючи потік, об'єми та розподіл поверхневих та підземних вод і спричиняючи фізичні зміни природного та штучного середовища (наприклад, висоти, топографічного рельєфу, водопроникності), які впливають на поверхневий і підповерхневий гідрологічні режими [4, 24].

Шторм "Алекс" на півдні Франції 2 жовтня 2020 р. спричинив місцеві опади понад 600 мм менш ніж за 24 год. 114 локальних землетрусів з магнітудою $M_L = 0,5$ та $M_L = 2,5$ були викликані гідрологічним навантаженням та/або результатом збільшенням підземного порового тиску. Це дослідження показує вплив шторму "Алекс" на поверхню Землі та процеси в глибинних шарах і прокладає шлях для майбутніх робіт, які зможуть розкрити додаткові подробиці цих процесів [5].

У роботі З. К. Донг [11] було досліджено залежності впливу розмиву повеней на сейсмічні властивості конструкцій. Відповідно до ДБН В.1.1-12:2014 [8] розрахункова сейсмічність залежить від типу ґрунту та його водонасиченості. Розрахункова сейсмічність підвищується на бал порівняно з нормативною за глибини залягання рівня ґрунтових вод менше 4 м від поверхні, в ґрунтах 3-ї категорії. Тому важливим супутнім завданням у вивченні сейсмічної небезпеки є вивчення підвищеного рівня ґрунтових вод і проблеми підтоплення [31, 32, 33].

Створення схем управління рівнем екологічної безпеки резервуарів для зберігання рідких вуглеводнів під час сейсмічних навантажень. Розроблено науково-теоретичні основи створення схем управління рівнем екологічної безпеки резервуарів для зберігання рідких вуглеводнів під час сейсмічних навантажень (див. рисунок).

Блок-схема показує, що покращення стану екологічної безпеки резервуарів для зберігання рідких вуглеводнів під час сейсмічних навантажень потребує комплексного підходу, який містить:

- застосування інженерних рішень для підвищення стійкості резервуарів до сейсмічних навантажень;
- контроль стану та управління процесом зберігання в резервуарах рідких вуглеводнів;
- моніторинг сейсмічних навантажень та чинників, що можуть їх підсилити;
- заходи щодо ліквідації наслідків аварій та відновлення довкілля.

Блок-схему можна використати для розроблення конкретних заходів щодо покращення стану екологічної безпеки резервуарів для зберігання рідких вуглеводнів під час сейсмічних навантажень.

Розроблення схем управління у сфері екологічної безпеки резервуарів для зберігання рідких вуглеводнів

під час сейсмічних навантажень ґрунтується на таких науково-теоретичних підходах [1, 2, 29, 32]:

1. *Системний підхід*: розгляд резервуарів для зберігання рідких вуглеводнів як складних систем, що взаємодіють з довкіллям, врахування всіх чинників, що впливають на екологічну безпеку РЗРВ під час сейсмічних навантажень (внутрішні чинники: технічні характеристики резервуарів (матеріал, конструкція, розміри), фізико-хімічні властивості рідких вуглеводнів; зовнішні чинники: сейсмічні навантаження, інженерно-геологічні умови, кліматичні умови)
2. *Теорія ризику*: оцінювання ризику аварій в РЗРВ під час сейсмічних навантажень, визначення ймовірності та наслідків аварій, розроблення заходів щодо зниження ризику аварій.
3. *Теорія управління*: розроблення схем управління у сфері екологічної безпеки рідких вуглеводнів, використання методів математичного моделювання та прогнозування, застосування принципів автоматизованого контролю та управління.
4. *Екологічна безпека*: забезпечення мінімізації негативно-го впливу РЗРВ на довкілля, розроблення заходів щодо запобігання забруднення довкілля рідкими вуглеводнями, відновлення довкілля в разі аварій.
5. *Сейсмостійкість*: розроблення та впровадження сейсмостійких конструкцій РЗРВ, використання методів сейсмічного захисту резервуарів для рідких вуглеводнів.
6. *Моніторинг*: створення систем моніторингу технічного стану резервуарів для рідких вуглеводнів, контроль сейсмічної активності, прогнозування сейсмічних навантажень.
7. *Правове регулювання*: розроблення та впровадження нормативних документів, що регламентують екологічну безпеку РЗРВ під час сейсмічних навантажень. Врахування в будівельних нормативних документах вимог до проектування, будівництва та експлуатації резервуарів для зберігання рідких вуглеводнів у разі активізації сейсмічних подій на несейсмічних територіях, а також їх підсилюючих чинників, встановлення вимог до ліквідації наслідків аварій на РЗРВ від сейсмічних впливів різного походження. Дотримання вимог правового регулювання дозволяє підвищити стійкість резервуарів для зберігання рідких вуглеводнів до сейсмічних навантажень та мінімізувати ризики виникнення аварійних ситуацій з впливом небезпечних речовин на навколишнє природне середовище.

Реалізація цих підходів дасть змогу покращити стан екологічної безпеки РЗРВ під час сейсмічних навантажень, знизити ризик аварій резервуарів, запобігти забрудненню довкілля рідкими вуглеводнями, зменшити економічні та соціальні наслідки аварій резервуарів для зберігання рідких вуглеводнів.

Важливо зазначити, що розроблення схем управління у сфері екологічної безпеки резервуарів для зберігання рідких вуглеводнів під час сейсмічних навантажень є складним завданням, яке потребує комплексного підходу та співпраці фахівців різних галузей.

Важливим є подальше вдосконалення методик оцінювання ризику аварій резервуарів для зберігання рідких вуглеводнів під час сейсмічних навантажень, методик прогнозування сейсмічних навантажень, розроблення типових схем управління рівнем екологічної безпеки резервуарів для зберігання рідких вуглеводнів під час сейсмічних навантажень, розроблення та вдосконалення наявних нормативних документів, що регламентують екологічну безпеку резервуарів рідких вуглеводнів під час сейсмічних навантажень.

Впровадження цих науково-теоретичних основ та практичних заходів дасть змогу значно підвищити рі-

вень екологічної безпеки зберігання рідких вуглеводнів під час сейсмічних навантажень.

Обговорення результатів дослідження. У роботах закордонних та вітчизняних авторів [22, 30] проблема сейсмічних впливів на резервуари для зберігання рідких вуглеводнів здебільшого вирішується застосуванням інженерних рішень (встановлення плаваючих мембран, демпфуючих перегородок, використання наноматеріалів в резервуарах та ін.). Управлінські рішення та комплексні підходи до вирішення проблеми не застосовуються.

У деяких роботах сейсмічні навантаження розглядають тільки як проблема сейсмічних зон [12, 19]. В іншій роботі [40] розглянуто типи ґрунтів та їх геотехнічні властивості, на яких встановлено резервуари. Вплив землетрусів несейсмічних зон на резервуари для зберігання рідких вуглеводнів та врахування водонасиченості ґрунтів на магнітуду досліджено недостатньо.

Сейсмічні впливи на резервуари для зберігання рідких вуглеводнів в системах управління екологічною безпекою у більшості досліджень розглядають недостатньо, або не враховані взагалі [1, 2]. У роботі [10], досліджено сейсмічні навантаження на резервуари, але не враховано впливи на навколишнє середовище.

Дослідження автора дали змогу з'ясувати основні причини виникнення техногенних сейсмічних навантажень, визначити підсилюючі чинники техногенних землетрусів та довести, що важливим супутнім завданням у вивченні сейсмічної небезпеки є вивчення підвищеного рівня ґрунтових вод і проблеми підтоплення. Це дало змогу комплексно розглядати та управляти чинниками техногенного впливу на резервуари. На підставі проведених досліджень було розроблено наукові підходи до зниження техногенного впливу резервуарів з рідкими вуглеводнями на довкілля під час сейсмічних навантажень. У попередньо розглянутих роботах недостатньо висвітлено управлінські рішення та комплексні підходи до вирішення цієї проблеми.

Отже, за результатами виконаної роботи можна сформулювати такі наукову новизну та практичну значущість результатів дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – удосконалено методологічну основу системного підходу до вирішення проблеми техногенного впливу резервуарів з рідкими вуглеводнями на довкілля під час сейсмічних навантажень, що дасть змогу врахувати всі екологічні особливості досліджуваного процесу в єдності з компонентами навколишнього природного середовища.

Практична значущість результатів дослідження – розроблені наукові підходи є основою для синтезу системи попередження екологічних небезпек зберігання резервуарів з рідкими вуглеводнями, викликаних сейсмічними навантаженнями, а також їх можна використати для оцінювання екологічної безпеки вже наявних об'єктів.

Висновки / Conclusions

Розроблено наукові підходи до зниження техногенного впливу резервуарів з рідкими вуглеводнями на довкілля під час сейсмічних навантажень, що забезпечить зниження екологічної небезпеки зберігання рідких вуглеводнів під час землетрусів. За результатами вико-

наного дослідження можна зробити такі основні висновки.

1. З'ясовано основні причини виникнення техногенних сейсмічних навантажень, що дало змогу пропонувати комплекс заходів із попередження та мінімізації впливів сейсмічних навантажень на екологічно небезпечні резервуари для зберігання рідких вуглеводнів.

2. Визначено підсилюючі чинники техногенних землетрусів, що дало змогу розглядати вплив сейсмічних навантажень комплексно, враховуючи природні умови та особливості території й управляти техногенними впливами на сейсмічні події.

3. Доведено, що важливим супутнім завданням у вивченні сейсмічної небезпеки є вивчення підвищеного рівня ґрунтових вод і проблеми підтоплення, що уможливить уникнення підвищення магнітуди природних і техногенних землетрусів за їх впливів на територіях розташування резервуарів для зберігання рідких вуглеводнів.

4. Розроблені наукові підходи є основою для синтезу системи попередження екологічних небезпек зберігання резервуарів з рідкими вуглеводнями, викликаних сейсмічними навантаженнями. Одержані результати можна використати для оцінювання екологічної небезпеки вже наявних об'єктів.

References

1. Ablicieva, I., Plyatsuk, L., Trunova, I., Burla, O., & Krasulia, B. (2022). Scientific and methodological approaches to assessing the safety of oil production complexes as potentially dangerous objects. *Technogenic and ecological safety*, 11(1/2022), 8–17. <https://doi.org/10.52363/2522-1892.2022.1.2>
2. Bandurian, B., & Kovalevskiy, V. (2022). Information measuring system for safety state assessment. *Technogenic and ecological safety*, 11(1/2022), 3–7. <https://doi.org/10.52363/2522-1892.2022.1.1>
3. Brackley, H. L. (2012). Review of Liquefaction Hazard Information in Eastern Canterbury, Including Christchurch City and Parts of Selwyn, Waimakariri and Hurunui Districts. GNS Science Consultancy Report 2012/218. Environment Canterbury Regional Council, 99 p. URL: https://ndhadeliver.natlib.govt.nz/delivery/DeliveryManagerServlet?dps_pid=IE25188536
4. Cavalieri, F., Franchin, P., & Giovinazzi, S. (2023). Multi-hazard assessment of increased flooding hazard due to earthquake-induced damage to the natural drainage system. *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 237, 109348. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2023.109348>
5. Chhmiel, M., Godano, M., Piantini, M., et al. (2022). Brief communication: Seismological analysis of flood dynamics and hydrologically triggered earthquake swarms associated with Storm Alex. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Vol. 22, Issue 5, 1541–1558. <https://doi.org/10.5194/nhess-22-1541-2022>
6. Choudhary, N., Kumar, N., Strelnikova, E., Gnitko, V., Krituchenko, D., & Degtyariov, K. (2021). Liquid vibrations in cylindrical tanks with flexible membranes. *Journal of King Saud University*, 33 (8), 101589. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101589>
7. Dai, Z., Qiao, H., Hao, X., et al. (2023). Influence of Heterogeneous Foundation on the Safety of Inverted Cone Bottom Oil Storage Tanks under Earthquakes. *Buildings*, 13, 1720. <https://doi.org/10.3390/buildings13071720>
8. DBN V.1.1-12:2014. (2014). Construction in seismic regions of Ukraine. Kyiv: Ministry of Regional Construction of Ukraine. 110 p. URL: <https://mybud.com.ua/files/nd/dbn%20v.1.1-12%202014.pdf>
9. Degtyariov, K., Gnitko, V., Kononenko, Y., et al. (2022). Fuzzy Methods for Modelling Earthquake Induced Sloshing in Rigid Reservoirs. 2022 *IEEE 3rd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*, 297–302. <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek57572.2022.9916466>
10. Dinçer, A. E. (Eds). (2019). Investigation of the Sloshing Behavior Due to Seismic Excitations Considering Two-Way Coupling of the Fluid and the Structure. *Water*, 11(12), 2664. <https://doi.org/10.3390/w11122664>
11. Dong, Z. Q., Li, G., Song, B., Lu, G. H., & Li, H. N. (2022). Failure risk assessment method of masonry structures under earthquakes and flood scouring. *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, 29(21), 3055–3066. <https://doi.org/10.1080/15376494.2021.1884322>
12. Foulger, G. R., Wilson, M. P., Gluyas, J. G., Julian, B. R., & Davies, R. J. (2018). Global review of human-induced earthquakes. *Earth-Science Reviews*, 178, 438–514. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.07.008>
13. Gordienko, Yu. O., & Kaplaushenko, V. M. (2017). State-of-the-art information and computer technologies and the network of seismic observations of the HCSC regarding prediction of the maximum seismic effect from an earthquake in the near zone. *Bulletin of ZHTU. Series: Technical sciences*, № 3(38), 61–71. [https://doi.org/10.26642/tn-2006-3\(38\)-61-71](https://doi.org/10.26642/tn-2006-3(38)-61-71)
14. Jing, W., Feng, J., Song, S., & Cheng, X. (2024) Seismic performance improvement of liquid storage tank based on base-isolation and pendulum tuned mass damper. *Nuclear Engineering and Design*, Vol. 417, 112867. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2023.112867>
15. Kendzera, O. V., Mykulyak, S. V., Semenova, Yu. V., Skurativska, I. A., & Skurativskiy, S. I. (2020). Assessment of seismic response of a soil layer with the oscillating inclusions. *Geophysical journal*, 42(4), 47–58. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i4.2020.210669>
16. Kendzera, O. V., Mykulyak, S. V., Semenova, Yu. V., Skurativska, I. A., & Skurativskiy, S. I. (2021). Seismic response of a layered soil deposit with inclusions. *Geophysical journal*, 43 (2), 3–13. <https://doi.org/10.24028/gzh.v43i2.230186>
17. Kendzera, O. V., Pygulevsky, P.G., & Andrushchenko, Yu. A. (2021). Peculiarities of the seismicity of the territory of Kryvbas. *Additional NAS of Ukraine*, 6, 87–96. <https://doi.org/10.15407/dopovidy2021.06.087>
18. Khalmuradov, B. D., Harbuz, S. V., & Ablicieva, I. Y. (2018). Analysis of the technogenic load on the environment during forced ventilation of tanks. *Technology audit and production reserves*, 1/3(39), 45–52. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2018.124341>
19. Li, Y., Chen, X., & Chen, L. (2023). The Earths Rotation-Related Seismicity as a Precursor to the 2023 Mw 7.8 Gaziantep, Turkey Earthquake. Preprints, 2023080209. <https://doi.org/10.20944/preprints202308.0209.v1>
20. Moein, M. J. A., Langenbruch, C., Schultz, R., et al. (2023). The physical mechanisms of induced earthquakes. *Nat Rev Earth Environ*, 4, 847–863. <https://doi.org/10.1038/s43017-023-00497-8>
21. Nahomyi, V., Pigulevskiy, P., Svystun, V., & Shumlianska, L. (2020). To the question of verification of forecasting methods of earthquakes. *XIV International Scientific Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment"*, 10-13 November 2020, Kyiv, Ukraine. Extended Abstracts. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202056080>
22. Panigrahy, P. K., Saha, U. K., & Maity, D. (2009). Experimental studies on sloshing behavior due to horizontal movement of liquids in baffled tanks. *Ocean Engineering*, 36, 213–222. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2008.11.002>
23. Pihulevskiy, P. G., Anisimova, L. B., Kalinichenko, O. O., Panteleeva, N. B., & Hanchuk, O. V. (2021). Analysis of natural and technogenic factors on the seismicity of Kryvyi Rih. *Journal of Physics: Conference Series*, 1840(1), 012018. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1840/1/012018>
24. Pihulevskiy, P. H., Kendzera, O. V., Babi, K. V., Anisimova, L. B., & Kyrlyuk, O. S. (2023). Connection of Kryvbas tectonics with natural and technogenic seismicity. *Journal Naukoviy Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (2), 5–10. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-2/005>
25. Quigley, M. B. (2020). Duffy Effects of Earthquakes on Flood Hazards: A Case Study From Christchurch, New Zealand. *Geosciences*, 10, 114. <https://doi.org/10.3390/geosciences10030114>

26. Salzano, E., Iervolino, I., & Fabbrocino, G. (2003). Seismic risk of atmospheric storage tanks in the framework of quantitative risk analysis. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 16, Issue 5, 403–409. [https://doi.org/10.1016/S0950-4230\(03\)00052-4](https://doi.org/10.1016/S0950-4230(03)00052-4)
27. Sesetyan, K., Stucchi, M., Castelli, V., & Gomez Capera, A. A. (2023). Kahramanmaraş Gaziantep Türkiye M7.7 Earthquake, 6 February 2023 (04:17 GMT+03:00). Large historical earthquakes of the earthquake-affected region: a preliminary report. INGV, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Italy. URL: <https://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/en/>
28. Shcherbina, S. V., Pigulevskiy, P. G., Hurova, I. Yu., et al. (2021). Seismic events and tectonics of Kryvbas. *Geophysical Journal*, Vol. 43, № 6, 248–265. <https://doi.org/10.24028/gzh.v43i6.251566>
29. Shi, L., Shuai, J., & Xu, K. (2014). Fuzzy fault tree assessment based on improved AHP for fire and explosion accidents for steel oil storage tanks. *Journal of hazardous materials*, Vol. 278, 529–538. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.06.034>
30. Siddiq, M. A. (2020). Deformation and failure in nanomaterials via a data driven modelling approach. *Theoretical & Applied Mechanics Letters*, 10(4), 249–252. <https://doi.org/10.1016/j.taml.2020.01.029>
31. Sierikova, E., Strelnikova, E., Pisia, L., & Pozdnyakova, E. (2020). Flood risk management of Urban Territories. *Ecology, Environment and Conservation*, Vol. 26(3), 1068–1077. URL: https://www.envirobiotechjournals.com/article_abstract.php?aid=10739&iid=316&jid=3
32. Sierikova, O. M., Strelnikova, O. O., & Koloskov, V. Yu. (2020). The environmental safety level increasing of built-up territories of Ukraine prone to flooding. Monograph. NUCZU, Kharkiv, Ukraine, 142 p. [In Ukrainian]. URL: <https://repositc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/12247/1/2020-Sierikova-Strelnikova-Koloskov.pdf>
33. Sierikova, O., Koloskov, V., & Strelnikova, E. (2022). The groundwater level changing processes modeling in 2d and 3d formulation. *Acta Periodica Technologica*, 53, 36–47. <https://doi.org/10.2298/APT2253036S>
34. Sierikova, O., Koloskov, V., Degtyarev, K., & Strelnikova, E. (2022). Improving the Mechanical Properties of Liquid Hydrocarbon Storage Tank Materials. *Materials Science Forum*. Trans Tech Publications Ltd, Switzerland, Vol. 1068, 223–229. <https://doi.org/10.4028/p-888232>
35. 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*, Vol. 17, 62–70. <https://doi.org/10.37394/232011.2022.17.9>
36. 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. <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek57572.2022.9916369>
37. Sierikova, O., Strelnikova, E., Kriutchenko, D., & Gnitko, V. (2022). Reducing Environmental Hazards of Prismatic Storage Tanks under Vibrations. *WSEAS Transactions on Circuits and Systems*, Vol. 21, 249–257. <https://doi.org/10.37394/23201.2022.21.27>
38. Tadros, A. F. F. (2020). Environmental aspects of petroleum storage in above ground tank. *E3S Web of Conferences The International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters (ICSF 2020)*, Vol. 166, 01006. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016601006ICSF>
39. Yoshida, N. (2014). *Seismic Ground Response Analysis*. Dordrecht: Springer, 365. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-9460-2>
40. Zotsenko, M. L., Vinnikov, Yu. L., Kharchenko, M. O., & Lartseva, I. I. (2018). Ensuring reliable operation of oil tanks in difficult geotechnical conditions under seismic influences. *Problems and Prospects of the Oil and Gas Industry*, 2, 65–90. <https://doi.org/10.32822/naftogazscience.2018.02.065>

O. M. Sierikova

National University of Civil Protection of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

SOME PECULIARITIES OF TECHNOGENIC IMPACT OF LIQUID HYDROCARBON TANKS ON THE ENVIRONMENT DURING SEISMIC LOADS

The integrity of liquid hydrocarbon storage tanks (LHST) and their technical condition are primary objects of seismic impact control. Damage to tanks under the seismic loads action could lead to leakage of environmentally hazardous liquids and environmental pollution, as well as increasing the risk of fire and explosion. The results of recent seismological studies have established that there is a danger of local and strong subcortical earthquakes with a magnitude of more than 5 (more than 6 points on the MSK-64 scale) on the territory of Ukraine, including its platform part. In recent years, the problem of low-seismic and non-seismic areas prone to technogenic earthquakes caused by underground explosions, mining operations and anthropogenic influence has become especially acute. The main factors of the natural and technogenic seismic situation in the territories of cities and other settlements are the complex structural-tectonic and geological-lithological structure of the territories, and the dangerous geological processes of development. The paper investigated the causes of technogenic seismic loads. The strengthening factors of technogenic earthquakes have been determined. It has been proven that an important accompanying task in the analysis of seismic hazard is the study of the increased groundwater level and the flooding problem. The scientific and theoretical foundations of creating control schemes for the environmental safety level of liquid hydrocarbon storage tanks under seismic loads have been developed. It has been proven that it is necessary to monitor constantly seismic activity even in non-seismic zones and take into account the possibility of increasing seismic activity of both technogenic and natural origin. It is important to improve the assessing methods of the accidents risk of liquid hydrocarbon storage tanks under seismic loads, the forecasting seismic loads methods, and the typical management schemes development for the storage tanks environmental safety level increasing under seismic loads, the development and improvement of existing documents to regulate the storage tanks environmental safety under seismic loads. The implementation of the developed scientific and theoretical foundations and practical measures will significantly increase the storage tanks environmental safety level under seismic loads.

Keywords: environmental safety; liquid hydrocarbon storage tanks; seismic loads; technogenic load; environment.