

**Володимир ЧЕПУРНИЙ,**

старш. викладач

ORCID:0000-0003-4633-8966

**Наталія ЧЕПУРНА,**

канд. техн. наук, доцент

ORCID: 0000-0001-8044-7563

*Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ*

## **РАЦІОНАЛЬНІ МЕТОДИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ МОНТАЖУ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ ВЕРТИКАЛЬНИХ СТАЛЕВИХ РЕЗЕРВУАРІВ НАФТИ І НАФТОПРОДУКТІВ, ПОШКОДЖЕНИХ ВНАСЛІДОК ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ**

*У статті розглянуто проблему відновлення вертикальних сталевих резервуарів (ВСР) для зберігання нафти і нафтопродуктів, пошкоджених унаслідок військових дій. Зазначені споруди є важливими об'єктами інженерної інфраструктури нафтобаз і терміналів, а їх руйнування або пошкодження призводить до значних економічних втрат, порушення стабільності енергетичних систем та виникнення підвищених екологічних ризиків. В умовах збройних конфліктів резервуарні зазнають дії вибухових навантажень, уламкового ураження, пожеж, а також вторинних деформацій фундаментів і ґрунтових основ, що зумовлює нетиповий характер пошкоджень.*

*Проаналізовано основні види пошкоджень вертикальних резервуарів, характерні саме для впливу військових факторів, зокрема локальні пробойні оболонки і днища, тріщини в зварних з'єднаннях, загальні та місцеві деформації стінок, овалізацію резервуарів, порушення герметичності та пошкодження фундаментів. Показано, що стандартні підходи до ремонту, розроблені для умов нормальної експлуатації, не завжди є ефективними у таких випадках.*

*Обґрунтовано необхідність проведення комплексної технічної діагностики пошкоджених резервуарів, яка включає візуально-вимірвальний контроль, неруйнівні методи контролю металу і зварних з'єднань, геодезичні вимірювання відхилень геометрії та обстеження фундаментів. На основі результатів діагностики запропоновано підходи до вибору раціональних методів відновлення.*

*У роботі систематизовано основні методи ремонту та реконструкції вертикальних сталевих резервуарів, включаючи локальний ремонт оболонки, підсилення стінок, заміну днища, відновлення фундаментів, а також повну реконструкцію або демонтаж. Запропоновано критерії вибору раціонального методу відновлення з урахуванням технічної можливості, економічної доцільності, строків виконання робіт та екологічної безпеки. Отримані результати можуть бути використані при розробленні проектних і організаційно-технологічних рішень для відновлення об'єктів нафтобазової інфраструктури в умовах післявоєнної реконструкції.*

**Ключові слова:** вертикальні сталеві резервуари, нафта, нафтопродукти, військові пошкодження, відновлення, ремонт, реконструкція, технічна діагностика.



**Вступ.** Вертикальні сталеві резервуари (ВСР) є одним із найпоширеніших типів споруд для зберігання нафти і нафтопродуктів у системах нафтобаз, терміналів та переробних підприємств. Їх надійна та безпечна експлуатація має важливе значення для енергетичної безпеки держави та екологічної стабільності територій [1-4].

В умовах збройних конфліктів резервуари часто зазнають пошкоджень унаслідок прямих влучань боєприпасів, дії вибухових хвиль, пожеж, а також вторинних факторів, пов'язаних із руйнуванням фундаментів і ґрунтових основ. Такі пошкодження значно відрізняються від дефектів, що виникають у процесі тривалої експлуатації, та потребують спеціальних підходів до оцінювання технічного стану і вибору методів відновлення [5-6].

**Мета даної роботи.** Метою роботи є обґрунтування раціональних методів відновлення вертикальних сталевих резервуарів нафти і нафтопродуктів, пошкоджених унаслідок військових дій, з урахуванням технічних, економічних та екологічних критеріїв.

Для досягнення поставленої мети вирішено такі завдання:

- проаналізовано характерні типи пошкоджень резервуарів;
- визначено роль технічної діагностики у виборі методу відновлення;
- систематизовано основні методи ремонту та реконструкції;
- сформульовано критерії вибору раціонального рішення.

**Актуальність проблеми.** Проблемам проектування, експлуатації та ремонту вертикальних сталевих резервуарів присвячено значну кількість наукових і нормативних праць. У відомих дослідженнях розглянуто питання корозійного зносу, деформацій оболонки, а також технології заміни днищ і підсилення стінок резервуарів. Водночас більшість існуючих методик орієнтована на пошкодження, що виникають за нормальних умов експлуатації. Питання відновлення резервуарів, пошкоджених унаслідок військових дій, у науково-технічній літературі висвітлено недостатньо. Відсутні узагальнені підходи до вибору раціональних методів ремонту з урахуванням комбінованого характеру пошкоджень, обмежених ресурсів та необхідності швидкого відновлення об'єктів.

**Основна частина.** Пошкодження ВСР, спричинені військовими діями, мають складний та часто комбінований характер. Найпоширенішими є:

- локальні пробоїни оболонки та днища внаслідок уламкового ураження;
- тріщини металу в зоні зварних з'єднань;
- загальні та місцеві пластичні деформації стінок, спричинені вибуховою хвилею;
- порушення геометрії резервуара (овалізація, перекоси);
- порушення герметичності зварних швів;
- пошкодження антикорозійного захисту;
- осідання та руйнування основи та фундаментів внаслідок динамічних навантажень.

Особливістю таких пошкоджень є їх нерівномірність та непередбачуваність, що ускладнює застосування типових ремонтних рішень та потребують індивідуального підходу [7-8].

Перед вибором методу відновлення обов'язковим є проведення комплексної технічної діагностики пошкоджених резервуарів, яка включає:

- візуально-вимірний контроль;
- ультразвукову товщинометрію металу;
- контроль зварних з'єднань неруйнівними методами;
- геодезичний контроль відхилень геометрії;

- обстеження фундаментів та ґрунтової основи.

Результати проведеної діагностики дозволяють визначити залишкову несучу здатність конструкції та можливість її подальшої безпечної експлуатації [9].

Залежно від характеру та ступеня пошкоджень можуть застосовуватися різні методи відновлення ВСР [10-14], а саме:

- локальний ремонт оболонки, який передбачає вирізання пошкоджених ділянок і встановлення ремонтних накладок із подальшим зварюванням, застосування хомутових або бандажних конструкцій. Метод є доцільним за обмежених ушкоджень (при незначних пробіах і локальних деформаціях) та збереження несучої здатності конструкції;

- підсилення стінок резервуара, що передбачає приварювання додаткових металевих елементів (поясів або накладок) для компенсації втрати міцності;

- заміна днища або його частини. Ефективний метод при значних вибухових пошкодженнях нижньої частини резервуара за умови задовільного стану стінок. Влаштується накладне днище («днище в днищі») або часткова заміна листів днища;

- відновлення покрівлі. Даний метод доцільно використовувати при деформації покрівлі або глобальному пошкодженні, що передбачає вирівнювання, часткову або повну заміну конструкції;

- відновлення або підсилення фундаменту. Даний метод застосовується при осіданнях, тріщинах або порушенні несучої здатності основи. Включає ін'єктування, підсилення або часткову заміну основи;

- повна реконструкція або демонтаж. Виконують у випадках значних пошкоджень, коли деформації носять глобальний характер та втрачена стійкість оболонки, а відновлення є технічно або економічно недоцільним (рис. 1).



Рис. 1. Зруйновані вертикальні сталеві резервуари (ВСР)

Рациональний метод відновлення визначається на основі сукупності критеріїв: технічної можливості ремонту; залишковий ресурс резервуара; економічна ефективність; строки відновлення; екологічна безпека; відповідність нормативним вимогам.

Оптимальним вважається метод, що забезпечує необхідний рівень безпеки за мінімальних сумарних витрат протягом життєвого циклу. В таблиці 1 наведено

рекомендації, щодо вибору методу відновлення ВСР залежно від характеру пошкоджень.

Таблиця 1

**Вибір методу відновлення залежно від характеру пошкоджень**

Вид пошкодження	Рекомендований метод	Умови застосування
Пробіони оболонки	Локальний ремонт	Обмежена (до 10%) площа
Деформації стінок	Підсилення поясами	Відсутність тріщин
Пошкодження днища	Часткова заміна	Стійкий фундамент
Порушення основи	Підсилення фундаменту	Контроль осідань

Монтаж та відновлення резервуарів в умовах бойових дій вимагає радикально нового підходу, де головними факторами стають швидкість, прихованість, живучість конструкції та можливість швидкого ремонту, тобто мінімізація часу перебування техніки та робітників на відкритому майданчику та створення захищеної структури. Для скорочення термінів монтажу ВСР необхідно надавати перевагу методам, що дозволяють виконувати максимум робіт у заводських умовах.

Найбільш ефективним та найшвидшим в часі при зведенні ВСР є метод рулонування. Технологія монтажу полягає в тому, що всі елементи резервуара (стінка, днище та дах) виготовляються на заводі у вигляді полотнищ, зварених автоматичним зварюванням. Готові конструкції резервуара згортаються в рулони та доставляються на будівельний майданчик автотранспортом (рис. 2,а). На місці монтажу проводиться лише розгортання рулонів та зварювання вертикального монтажного стику. Таке рішення дозволить скоротити термін монтажу ВСР. Однак, для виконання монтажу необхідні потужні крани, що являється ризиком, так як вони є помітними цілями для дронів (рис. 2,б).



а



б

Рис. 2. Монтаж ВСР рулонним методом:  
а – транспортування рулонів, б – монтаж стінок резервуара

Наступний метод, який використовується для зведення ВСР, є секційний (полистовий). Технологія монтажу полягає в підрошуванні конструкції. Монтаж розпочинають з верхнього поясу та даху, які підіймають гідравлічними домкратами на висоту достатню для подавання під них наступного поясу. Закріплення змонтованих поясів виконують зварюванням. Важливо, що всі зварювальні роботи

проводиться на рівні землі (в межах захисного обвалування або котловану), що спрощує маскуваність та підвищує безпеку робітників.

При монтажі ВСР важливим являється вибір методу зварювання, який безпосередньо впливає на якість зварних стиків, які забезпечують герметичність та довговічність резервуара. В умовах воєнного часу критичним є поєднання якості з мобільністю обладнання [15].

Ручне дугове зварювання (ММА) застосовується при зварюванні коротких швів, приварювання патрубків, люків та монтажних пристосувань. Найчастіше використовується для вертикального монтажного стику при методі ролонування. Забезпечує можливість роботи у важкодоступних місцях та швидке переміщення по периметру резервуара, але низька продуктивність порівняно з автоматичними методами.

Напівавтоматичне зварювання в середовищі захисних газів (MIG/MAG) використовується при зварюванні горизонтальних швів стінки (при листовому монтажі) та з'єднання листів днища. Має високу швидкість формування зварного шва, високу продуктивність та кращу якість порівняно з ММА. Використання порошкового дроту дозволяє працювати на відкритому повітрі при помірному вітрі.

Автоматичне зварювання під шаром флюсу (SAW) використовується переважно на заводах при виготовленні ролонів полотниць резервуара. Забезпечує найвищу міцність, ідеальну геометрію шва та високу якість зварних стиків. Безпосередньо на будівельному об'єкті застосовується спеціальна каретка для автоматичного зварювання горизонтальних швів стінки резервуара.

Для забезпечення автономності при виконанні зварювальних робіт на будівельному майданчику необхідно мати мобільні дизель-генератори та зварювальні агрегати. Важливим етапом після завершення зварювальних робіт є необхідність проведення контролю відновлених зварних швів ВСР [16].

Основними методами контролю зварних швів є:

- візуально контроль (ВК) дозволяє виявити видимі підрізи, непровари, тріщини, а також перевірити геометричні параметри шва;
- неруйнівний метод контролю герметичності: метод «крейда-гас»; вакуумно-бульбашковий метод, які виявляють наскрізні дефекти ( тріщини);
- кольорова дефектоскопія використовується для виявлення мікротріщин, які не видно неозброєним оком за допомогою спеціальної індикаторної рідини з високою капілярною активністю (пенетрантів);
- фізичні методи контролю: ультразвуковий контроль (УЗК) та радіографічний контроль (РК) виявляють внутрішні дефекти в металі зварного шва (внутрішні пори та непровари, шлакові вклучення);
- гідравлічні випробування - фінальний етап контролю після завершення всіх ремонтних робіт.

#### **Висновки:**

1. Відновлення вертикальних сталевих резервуарів нафти і нафтопродуктів, пошкоджених унаслідок військових дій, є складним інженерним завданням, що потребує комплексного підходу.

2. Проведено системний аналіз пошкоджень вертикальних резервуарів нафти і нафтопродуктів, спричинених військовими діями, що дозволило класифікувати пошкодження за характером та ступенем впливу на несучу здатність конструкцій.

3. Розроблено підхід до вибору раціональних методів відновлення резервуарів, який враховує тип пошкоджень, технічний стан конструкції та вимоги після аварійної експлуатації, що підвищує надійність і безпеку об'єктів.

4. Запропоновано класифікацію методів відновлення для умов воєнного часу, що дозволяє скоротити терміни прийняття інженерних рішень, оптимізувати використання матеріальних та трудових ресурсів, а також мінімізувати економічні та екологічні ризики.

5. Результати роботи можуть бути використані у практичній діяльності нафтогазових підприємств при плануванні аварійно-відновлювальних робіт та у підготовці інженерних рекомендацій для умов надзвичайних ситуацій.

#### **Список літератури:**

1. ВБН В.2.2-58.2-94. Резервуари вертикальні сталеві для зберігання нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа. Київ: Мінрегіон України, 2012. 65 с.

2. ДСТУ Б В.2.6-183:2011. Резервуари вертикальні циліндричні сталеві для нафти та нафтопродуктів. Загальні технічні умови. Київ: Мінрегіонбуд України, 2012. 99 с.

3. ДСТУ EN 14015:2022. Технічні умови на проєктування та виготовлення споруджуваних вертикальних, циліндричних, плоскодонних, наземних, зварних, сталевих резервуарів для зберігання рідин за температури навколишнього середовища (EN 14015:2004, IDT). Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2022. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=119016](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=119016).

4. ДБН В.2.1-10:2018. Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення. Київ: Мінрегіонбуд України, 2018. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=78687](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=78687).

5. Якименко О.В., Кіктьова К.О. Технічна експлуатація будівель та споруд: навч. посіб. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 247 с.

6. Hud M. Simulation of the stress-strain state of a cylindrical tank under the action of forced oscillations. *Procedia Structural Integrity*, 2022, Vol. 36, Pp. 79-86. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2022.01.006>.

7. Глов Т., Семерак М., Глова Б., Михайлишин М. Вплив зміни тиску на цілісність резервуарів, зберігання нафтопродуктів і токсичних речовин. *Військово-технічний збірник*, 2021, 24, 31–36. <https://doi.org/10.33577/2312-4458.24.2021.31-36>.

8. Ференц Н.О. Проблеми безпеки складів нафти і нафтопродуктів в умовах війни. *Актуальні проблеми пожежної безпеки та запобігання надзвичайним ситуаціям в умовах сьогодення: збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції*, м. Львів, 13 грудня 2024 року. Л.: ЛДУБЖД, 2024. С. 49-51

9. Глова Т., Глова Б., Баранов А., Корольова О. Дослідження напружено-деформованого стану стінки та днища циліндричних ємностей для зберігання вибухонебезпечних речовин. *Військово-технічний збірник*, 2022, 27, 53–59. <https://doi.org/10.33577/2312-4458.27.2022.53-59>.

10. Pantousa D., Godoy L.A. On the mechanics of thermal buckling of oil storage tanks. *Thin-Walled Structures*, 2019, Vol. 145: 106432. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2019.106432>.

11. Zhang L., Wang J. Intelligent safe operation and maintenance of oil and gas production systems: Connotations and key technologies. *Natural Gas Industry B*, 2023, Vol. 10, Issue 3, Pp. 293-303. <https://doi.org/10.1016/j.ngib.2023.05.006>.

12. Privezensev A.U., Dement'ev A.I., Podoplelov E.V. Reconstruction of storage tank for oil with the aim of reducing labor costs for cleanup of sediments. *Modern Technologies and Scientific and Technological Progress*, 2019, 1, 75-76. DOI: 10.36629/2686-9896-2019-1-1-75-76.

13. Stoicescu A.-A., Ripeanu R. G., Tănase M., Ilinică C. N., Toader L. Multifactorial Analysis of Defects in Oil Storage Tanks: Implications for Structural Performance and Safety. *Processes*, 2025, 13(8), 2575. <https://doi.org/10.3390/pr13082575>.

14. Онищенко В.О., Винников Ю.Л., Зоценко М.Л., Харченко М.О., Ларцева І.І., Бредун В.І., Нестеренко Т.М. Ефективні конструктивно-технологічні рішення об'єктів зберігання нафти і нафтопродуктів у складних інженерно-геологічних умовах: монографія. Полтава: ФОП Пусан А.Ф., 2019. 233 с.

15. Биковський О.Г. Зварювання, різання й контроль якості під час виробництва металоконструкцій: підручник. К.: Основа, 2021. 400 с.

16. Несух М.М., Субота А.В., Швиденко А.В., Некора О.В. Дослідження процесів руйнування зварних з'єднань за умов відрізу вертикального сталевго корпусу резервуара від дна під час пожежі. *Комунальне господарство міст. Серія: «Економічна наука»*. 2024, 4 (185), 186–196. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2024-4-185-186-196>.

***Volodymyr CHEPURNYI, Nataliia CHEPURNA***

***Rational installation methods and technologies for the restoration of vertical steel oil and oil products tanks damaged as a result of military actions***

*The paper addresses the problem of restoration of vertical steel tanks used for storage of oil and petroleum products that have been damaged as a result of military actions. These structures are critical components of oil storage facilities and terminals, and their damage or destruction leads to significant economic losses, disruption of energy supply systems, and increased environmental risks. Under military conditions, vertical tanks are exposed to blast loads, fragment impacts, fires, and secondary effects associated with foundation and soil deformation, which results in non-standard and complex damage patterns.*

*The main types of damage typical for military impact are analyzed, including local perforations of the shell and bottom, cracks in welded joints, global and local wall deformations, tank ovalization, loss of tightness, and foundation damage. It is shown that conventional repair approaches developed for normal operating conditions are often insufficient for such cases.*

*The necessity of comprehensive technical diagnostics as a basis for selecting restoration methods is substantiated. The diagnostic procedure includes visual and dimensional inspection, non-destructive testing of metal and welded joints, geodetic measurements of geometric deviations, and assessment of the foundation condition. Based on diagnostic results, rational engineering decisions regarding further safe operation or restoration of tanks can be made.*

*The paper systematizes the main repair and reconstruction methods for vertical steel tanks, including local shell repair, wall strengthening, bottom replacement, foundation restoration, and complete reconstruction or dismantling. Criteria for selecting a rational restoration method are proposed, taking into account technical feasibility, economic efficiency, repair duration, and environmental safety. The results obtained can be applied in the development of design and technological solutions for restoring oil storage infrastructure facilities during post-war reconstruction.*

***Keywords: vertical steel tanks, oil, petroleum products, military damage, restoration, repair, reconstruction, technical diagnostics.***

Дата надходження статті: 06.01.2026

Дата прийняття статті: 02.02.2026