

УДК 621.6

к.т.н., доц., **Олександр Кравчук**,

kravchuk.oa2@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0001-6578-8896,

ст. викл. **Лариса Пашкова**,

pashkova.lv@knuba.edu.ua, ORCID: 0009-0001-2056-6090,

к.т.н., доцент **Володимир Новіков**,

novikov.vd@knuba.edu.ua, ORCID: 0009-0009-6592-0805,

к.т.н., доц., **Олександр Погосов**,

pohosov.oh@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0003-2158-8897

к.т.н., доц., **Михайло Кириченко**,

kyrychenko.ma@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-3651-3153

Київський національний університет будівництва і архітектури

<https://doi.org/10.32347/2409-2606.2026.56.83-93>

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ КОМПРЕСОРНИХ ТА НАСОСНИХ СТАНЦІЙ У ПЕРІОД ВОЄННИХ ДІЙ

***Анотація.** У роботі розглянуто компресорні та насосні станції як ключові елементи критичної інфраструктури, що забезпечують безперебійне транспортування газу, нафти, води та інших робочих середовищ. Досліджено вплив воєнних дій на їх функціонування, зокрема ризики бойових пошкоджень обладнання, перебоїв електропостачання, обмеженого доступу персоналу та нестандартних режимів роботи, що суттєво знижує їхню продуктивність і надійність. Проаналізовано основні заходи підвищення стійкості компресорних та насосних станцій: конструктивне укріплення будівель та обладнання, встановлення захисних екранів, модульна конструкція агрегатів, резервування ключових систем, впровадження автономних джерел живлення та автоматизованих систем контролю та дистанційного керування. Значна увага приділена автономізації роботи, яка забезпечує безперервність технологічного процесу та мінімізацію залежності від зовнішніх джерел енергії та присутності персоналу. Проведено аналіз міжнародного досвіду, який демонструє ефективність комплексного поєднання модульності, резервування та автоматизації для забезпечення безперервності технологічного процесу та зменшення часу простою після пошкоджень. Підкреслено практичну значущість запропонованих рішень для модернізування, проектування та експлуатації компресорних і насосних станцій в Україні, а також для розроблення стандартів і стратегій захисту критичної інфраструктури в умовах воєнних та кризових загроз.*

***Ключові слова:** компресорна станція; насосна станція; критична інфраструктура; воєнні дії; стійкість; автономізація.*

Вступ. Компресорні та насосні станції є важливими елементами інженерної інфраструктури, що забезпечують транспортування газу, нафти, води та інших робочих середовищ у промисловості, енергетиці та системах життєзабезпечення. Надійність їхньої роботи безпосередньо впливає на енергетичну безпеку держави та стабільність функціонування критичних інфраструктурних об'єктів.

В умовах воєнних дій експлуатація компресорних та насосних станцій істотно ускладнюється через ризики бойових пошкоджень, перебоїв енергопостачання, обмежений доступ до об'єктів і зростання частоти виникнення аварійних режимів роботи. Традиційні підходи до проектування та експлуатації таких станцій не повною мірою враховують дію екстремальних факторів, що зумовлює потребу в їхньому перегляді та вдосконаленні.

Практичні завдання експлуатації компресорних і насосних станцій у воєнний період потребують перегляду інженерних рішень щодо захисту обладнання, впровадження автономних джерел енергоживлення, резервування ключових систем, а також застосування сучасних засобів автоматизації та дистанційного керування. Особливої уваги набуває питання підвищення живучості станцій, тобто їхньої здатності зберігати працездатність або швидко відновлювати функціонування в умовах пошкоджень та обмежених ресурсів.

Актуальність дослідження. Воєнні дії в Україні продемонстрували вразливість компресорних та насосних станцій до бойових пошкоджень, перебоїв енергопостачання та обмежень у технічному обслуговуванні, що може призводити до порушення роботи систем газо-, нафто- та водопостачання. У зв'язку з цим виникає потреба в науковому обґрунтуванні сучасних технічних і організаційних рішень, спрямованих на підвищення автономності, живучості та здатності компресорних і насосних станцій до швидкого відновлення, результати яких мають важливе практичне значення для забезпечення енергетичної та інфраструктурної безпеки держави.

Останні дослідження та публікації. У наукових публікаціях вітчизняних та іноземних авторів значна увага приділяється питанням проектування, енергоефективності та надійності компресорних і насосних станцій [1-5]. Дослідження спрямовані на оптимізацію режимів роботи агрегатів, зниження енергоспоживання, впровадження частотно-регульованих приводів, а також розвиток систем автоматизованого керування та технічної діагностики [6-9]. Окремі роботи присвячені підвищенню експлуатаційного ресурсу обладнання, прогнозуванню відмов і вдосконаленню методів технічного обслуговування [10, 11].

Водночас більшість наявних досліджень орієнтовані на нормальні або близькі до нормальних умови експлуатації та не повною мірою враховують

вплив екстремальних факторів, характерних для воєнного часу, зокрема бойових пошкоджень, тривалих перебоїв електропостачання та обмеженого доступу до об'єктів. Недостатньо висвітленими залишаються питання комплексної стійкості компресорних та насосних станцій, їхньої автономізації, швидкого відновлення працездатності, а також інтеграції технічних і організаційних заходів захисту.

Таким чином, аналіз сучасних досліджень свідчить про наявність наукової прогалини у вивченні підходів до забезпечення живучості компресорних та насосних станцій в умовах воєнних загроз. Саме ці невирішені аспекти, зокрема оцінка впливу війни на функціонування станцій та обґрунтування шляхів підвищення їхньої стійкості й автономності з урахуванням міжнародного досвіду, розглядаються в даній роботі.

Формулювання цілей статті. Метою статті є аналіз впливу воєнних загроз на роботу компресорних та насосних станцій та обґрунтування практичних підходів до підвищення їхньої стійкості, автономності та надійності.

Загальна характеристика компресорних та насосних станцій. Компресорні та насосні станції є важливими елементами інженерної інфраструктури, що забезпечують транспортування газоподібних і рідких середовищ трубопровідними системами. Їхньою основною функцією є підтримання необхідних параметрів тиску та витрати для стабільної роботи промислових, енергетичних і комунальних мереж.

Компресорні станції застосовуються переважно в газотранспортних системах і призначені для підвищення тиску газу у магістральних і розподільчих мережах. До їхнього складу входять компресорні агрегати, приводи, системи очищення й охолодження газу, трубопровідна арматура та автоматизовані системи керування та захисту. Конфігурація станцій визначається умовами експлуатації та необхідною продуктивністю.

Насосні станції призначені для транспортування води, нафти та інших рідин і використовуються у водопостачанні, нафтотранспортних системах і промислових процесах. Основними елементами є насосні агрегати, електродвигуни, трубопроводи, запірно-регулювальна арматура та системи автоматизації. Ефективність їхньої роботи залежить від надійності обладнання та оптимальних режимів експлуатації.

Сучасні компресорні та насосні станції характеризуються високим рівнем автоматизації, можливістю дистанційного контролю, модульною конструкцією та резервуванням ключових систем, що забезпечує безперервність роботи й підвищує надійність об'єктів критичної інфраструктури.

Вплив війни на роботу компресорних та насосних станцій. Воєнні дії суттєво впливають на роботу компресорних та насосних станцій з утворенням

комплексу зовнішніх і внутрішніх ризиків для їхньої експлуатації. Основними негативними чинниками є:

1. *Пошкодження обладнання та інфраструктури.* Обстріли та ракетні удари можуть пошкоджувати будівлі станцій, компресорні та насосні агрегати, трубопроводи, електрообладнання та системи автоматики. Навіть часткові пошкодження призводять до зниження продуктивності або повного зупинення станції.
2. *Перебої енергопостачання та комунікацій.* Пошкодження електростанцій, електромереж, трансформаторних підстанцій або ліній електропередач унаслідок воєнних дій, техногенних аварій, природних катастроф або перевантаження енергосистеми призводять до зупинки електродвигунів і насосних агрегатів. Це особливо критично для станцій без автономних джерел живлення.
3. *Обмежений доступ персоналу.* Під час війни персонал може не мати змоги безпечно та вчасно потрапити на об'єкти для проведення регламентного технічного обслуговування й оперативного ремонту, що збільшує ризик аварій і зношування обладнання.
4. *Зростання аварійності та надзвичайних режимів роботи.* В умовах бойових дій компресорні та насосні станції змушені працювати в нестандартних режимах: часті пуски/зупинки, робота з неповним навантаженням, коливання тиску та витрати. Це прискорює зношування обладнання та підвищує ймовірність технічних відмов.
5. *Порушення логістики та постачання.* Бойові дії ускладнюють постачання пального, запасних частин, мастильних матеріалів і реагентів для технологічних процесів, що безпосередньо впливає на тривалість безперебійної роботи станцій.

У результаті комбінованого впливу цих факторів компресорні та насосні станції виявляються вразливими до тривалих перерв у роботі, зниження продуктивності та підвищеного ризику аварій. Це підкреслює необхідність розроблення спеціальних заходів, спрямованих на підвищення стійкості та автономності станцій.

Підвищення стійкості компресорних та насосних станцій до бойових пошкоджень. З огляду на високу вразливість компресорних та насосних станцій, ключовим завданням є підвищення їхньої живучості та здатності до безперебійної роботи навіть за наявності пошкоджень. Для цього застосовуються наступні комплексні інженерні та організаційні заходи.

1. *Конструктивне укріплення об'єктів.* Станції проєктуються з урахуванням підвищених навантажень і можливих ударів, що передбачає заглиблення будівель, армування конструкцій, використання захисних екранів для

агрегатів і трубопроводів. Встановлюються протипожежні та вибухозахисні конструкції, перегородки, негорючі матеріали та вогнезахисні покриття для зменшення пошкоджень під час ударів або вибухів. Такі заходи зменшують ризик критичних пошкоджень та підвищують безпеку персоналу.

2. *Резервування ключових систем.* Встановлення додаткових компресорних або насосних агрегатів, дублювання електроприводів та автоматики дозволяє підтримувати роботу станції при виході з ладу окремих елементів. Резервні системи зменшують час простою та забезпечують безперервність технологічного процесу.
3. *Модульність та стандартизовані блоки.* Використання модульної конструкції агрегатів забезпечує швидку заміну пошкоджених блоків без тривалого зупинення станції. Це дозволяє оперативно відновлювати працездатність після часткових руйнувань.
4. *Автоматизовані системи контролю та аварійного захисту.* Впровадження SCADA-систем, датчиків тиску, температури та витрати, а також систем аварійного вимкнення дозволяє швидко виявляти відхилення режимів роботи та мінімізувати наслідки пошкоджень. Автоматизація також знижує залежність від присутності персоналу у зоні ризику.
5. *Планування та підготовки до кризових ситуацій* передбачає розроблення алгоритмів швидкого реагування, резервування матеріально-технічних ресурсів, запасних частин та пального, а також тренування персоналу для роботи в умовах обмеженого доступу та небезпечної зони.

Комплексне застосування цих заходів дозволяє значно підвищити стійкість компресорних та насосних станцій, забезпечити безперервність роботи об'єктів критичної інфраструктури та скоротити час відновлення їхньої працездатності після усунення пошкоджень. У перспективі такі підходи формують основу для розроблення стандартів живучості та безпечної експлуатації станцій у кризових умовах, що є важливим як для України, так і для міжнародного досвіду управління критичною інфраструктурою.

Автономізація роботи компресорних і насосних станцій. Автономізація компресорних і насосних станцій є важливим заходом підвищення їхньої стійкості та надійності, особливо в умовах бойових дій або інших кризових ситуацій. Основна мета автономізації – забезпечити безперебійне функціонування об'єктів критичної інфраструктури навіть при порушенні зовнішніх джерел енергопостачання, обмеженому доступі персоналу або пошкодженні частини обладнання.

1. Використання резервних джерел енергопостачання:

- дизель-генератори та газотурбінні установки забезпечують автономне живлення агрегатів у разі аварійного вимкнення електромереж;
- гібридні системи з приєднанням до сонячних батарей або вітрових генераторів дозволяють підвищити енергонезалежність станцій та знизити залежність від обмеженого ресурсу палива;
- резервні джерела енергопостачання приєднуються автоматично при руйнуванні основної мережі, що забезпечує безперервність технологічного процесу.

2. Дистанційний контроль та автоматизація:

- системи SCADA та цифрові двійники (Digital Twin) дозволяють здійснювати віддалений моніторинг ключових параметрів: тиску, витрати, температури, рівня вібрацій та споживаної потужності;
- автоматизовані алгоритми регулювання підтримують оптимальні режими роботи станцій навіть без постійної присутності персоналу;
- упровадження систем аварійного вимкнення та сигналізації забезпечує швидке реагування на позаштатні ситуації задля мінімізування ризику пошкодження обладнання.

3. Резервування технологічних ланцюгів та комунікацій:

- ключові трубопроводи, насосні агрегати та компресорні блоки дублюються, що дозволяє продовжувати роботу при виході з ладу частини системи;
- резервні канали комунікацій та мережевих з'єднань дозволяють дистанційно керувати обладнанням навіть за порушення зв'язку в основній мережі.

4. Підвищення автономності в кризових умовах:

- завдяки поєднанню резервного живлення, модульної конструкції обладнання та дистанційного керування, станції здатні підтримувати працездатність протягом тривалого часу в умовах обмеженого доступу персоналу або пошкоджень інфраструктури;
- автономізація зменшує ризик аварій та скорочує час відновлення після пошкоджень, що підвищує загальну надійність об'єкта критичної інфраструктури.

Таким чином, автономізація роботи компресорних та насосних станцій є невід'ємною складовою сучасних підходів до забезпечення стійкості та безпеки критичних об'єктів, особливо в умовах воєнних загроз або кризових ситуацій. Інтеграція резервних джерел енергопостачання, дистанційного управління та модульної конструкції дозволяє значно підвищити ефективність і надійність функціонування станцій.

Іноземний досвід. Іноземний досвід експлуатації компресорних та

насосних станцій демонструє ефективність комплексних підходів до підвищення їхньої стійкості, автономності та надійності роботи у складних умовах. Ряд країн, що стикаються з природними катастрофами або геополітичними загрозами, застосовують інженерні та організаційні рішення, які можуть бути адаптовані для українських умов.

Європейський досвід свідчить про ефективність застосування модульних компресорних станцій з резервними агрегатами, зокрема в Німеччині та Франції, що забезпечує швидку заміну пошкодженого обладнання без зупинення транспортування газу. Для підвищення надійності впроваджуються автономні системи енергопостачання на основі дизель-генераторів та акумуляторних батарей, які гарантують безперебійну роботу станцій у разі припинення енергопостачання. Значну роль відіграє використання SCADA-систем і цифрових двійників, що дозволяє здійснювати дистанційний контроль, оптимізувати режими роботи та оперативно реагувати на аварійні ситуації.

Досвід Ізраїлю демонструє ефективність експлуатації компресорних та насосних станцій в умовах постійних воєнних загроз за рахунок застосування посилених конструкцій і захисних екранів, що зменшують наслідки вибухових і ракетних уражень. Повне резервування ключових систем забезпечує збереження працездатності станцій навіть при пошкодженні окремих агрегатів, а автономні джерела живлення на основі дизель-генераторів і накопичувачів енергії гарантують безперебійну роботу в разі перебоїв електропостачання. Використання автоматизованих систем керування та дистанційного моніторингу дозволяє оперативно реагувати на надзвичайні ситуації з мінімальною присутністю персоналу, а впровадження прогнозування відмов і суворих графіків технічного обслуговування знижує ризик аварій та підвищує загальну стійкість об'єктів критичної інфраструктури.

Досвід країн Близького Сходу (Катар, ОАЕ) свідчить про ефективність використання блоково-модульних компресорних станцій із подвійним резервуванням ключових систем, що забезпечує високу надійність транспортування нафти та газу. Для зниження ризиків пошкодження обладнання широко застосовуються протипожежні та вибухозахисні конструкції, а також системи дистанційного керування, які дозволяють підтримувати роботу станцій в умовах обмеженого доступу персоналу та підвищених загроз.

Азійські приклади (Японія, Південна Корея) демонструють ефективність підвищення надійності насосних станцій водопостачання за рахунок використання автономних джерел живлення, автоматичних клапанів і резервних трубопроводних ланцюгів, що забезпечує безперебійну роботу під час надзвичайних ситуацій. Застосування цифрових систем прогнозування відмов дозволяє знизити ризик аварій та оптимізувати планування технічного

обслуговування, що в підсумку підвищує загальну стійкість об'єктів.

Аналіз передового іноземного досвіду показує, що комплексне поєднання модульної конструкції, резервних систем живлення, автоматизації та дистанційного контролю суттєво підвищує стійкість і надійність компресорних та насосних станцій. Урахування цих практик у сучасних українських умовах дозволяє адаптувати станції до воєнних загроз та підвищити ефективність роботи об'єктів критичної інфраструктури.

Висновки. Компресорні та насосні станції є ключовими об'єктами критичної інфраструктури, від надійності роботи яких залежить безперебійне транспортування газу, нафти, води та інших середовищ. Воєнні дії в Україні показали їхню високу вразливість до бойових пошкоджень, перебоїв енергопостачання та обмеженого доступу персоналу, що підкреслює необхідність підвищення стійкості та автономності. Конструктивне укріплення будівель і обладнання, резервування агрегатів, модульна конструкція, автономні джерела живлення та автоматизовані системи контролю забезпечують безперебійність роботи та скорочують час відновлення після пошкоджень. Міжнародний досвід демонструє ефективність комплексного поєднання модульності, резервування та дистанційного управління, що може бути адаптоване для українських умов. Отримані результати мають практичне значення для модернізування, експлуатації та проектування станцій, а також для розроблення стандартів і стратегій захисту критичної інфраструктури в умовах воєнних і кризових загроз.

Перспективи подальших досліджень Подальші дослідження доцільно спрямувати на розроблення методів прогнозування відмов та оцінювання живучості станцій в умовах воєнних та кризових загроз, удосконалення конструктивних і протипошкоджувальних рішень, підвищення автономності за рахунок гібридних джерел живлення та дистанційного керування, а також адаптування міжнародного досвіду щодо модульності, резервування та автоматизації.

References

1. Vittorini D., Cipollone K. "Energy saving potential in existing industrial compressors." *Energy*, vol. 102, 2016, pp. 502-515. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.02.115>
2. Kaya D., Çanka Kılıç F., Öztürk H. H. "Energy efficiency in pumps." *Energy Management and Energy Efficiency in Industry: Practical Examples*. Springer International Publishing, 2021, pp. 329-374. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-030-25995-2_11
3. Deng T. "Minimization of power usage in a compressor station with multiple

- compressors.” *Journal of Energy Engineering*, vol. 142, no. 4, 2016, 04015048. Available at: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EY.1943-7897.0000325](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EY.1943-7897.0000325)
4. Xenos D. P., Lunde E., Thornhill N. F. “Optimal operation and maintenance of gas compressor stations: An integrated framework applied to a large-scale industrial case.” *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, vol. 138, no. 4, 2016, 042401. Available at: <https://doi.org/10.1115/1.4031307>
 5. Yao F., Yao Y., Yao B. “Energy efficiency optimization of pumping stations.” *Proceedings of the International Conference on Mathematics and Machine Learning*, 2023, pp. 188-192. Available at: <https://doi.org/10.1145/3653724.3653757>
 6. Luna T., Ribau J., Figueiredo D., Alves R. “Improving energy efficiency in water supply systems with pump scheduling optimization.” *Journal of Cleaner Production*, vol. 213, 2019, pp. 342-356. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.190>
 7. Kagiri C., Zhang L., Xia X. “Optimization of a compressed natural gas station operation to minimize energy cost.” *Energy Procedia*, vol. 142, 2017, pp. 2003-2008. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.402>
 8. Gan X., Pei J., Pavesi G., Yuan S., Wang W. “Application of intelligent methods in energy efficiency enhancement of pump system: A review.” *Energy Reports*, vol. 8, 2021, pp. 11592-11606. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.09.016>
 9. Kravchuk O., Lavrukhina K., Kostrych B. “Prospects for improving energy efficiency of water supply and wastewater pumping stations in the context of economic challenges and military actions in Ukraine.” *Spatial Development*, no. 11, 2025, pp. 397-404. Available at: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2025.11.397-404>
 10. Koulinas G. K., Demesouka O. E., Bougelis G. G., Koulouriotis D. E. “Risk prioritization in a natural gas compressor station construction project using the analytical hierarchy process.” *Sustainability*, vol. 14(20), 2022, 13172. Available at: <https://doi.org/10.3390/su142013172>
 11. Kravchuk O., Andriiashchenko O., Levitin V., Yeremchenko L., Lavrukhina K. “Recommendations regarding the operation features of water supply and sewerage pumping stations during military actions.” *Urban Development and Spatial Planning*, no. 85, 2024, pp. 268-276. Available at: <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2024.85.268-276>

UDC 621.6

PhD, Assoc. Prof. **Oleksandr Kravchuk**,

kravchuk.oa2@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0001-6578-8896,

Senior Lecturer **Larysa Pashkova**,

pashkova.lv@knuba.edu.ua, ORCID: 0009-0001-2056-6090,

PhD, Assoc. Prof. **Volodymyr Novikov**,

novikov.vd@knuba.edu.ua, ORCID: 0009-0009-6592-0805,

PhD, Assoc. Prof. **Oleksandr Pohosov**,

pohosov.oh@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0003-2158-8897

PhD, Assoc. Prof. **Mykhailo Kyrychenko**,

kyrychenko.ma@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-3651-3153

Kyiv National University of Construction and Architecture

<https://doi.org/10.32347/2409-2606.2026.56.83-93>

IMPROVING THE RELIABILITY OF COMPRESSOR AND PUMPING STATIONS UNDER CONDITIONS OF MILITARY ACTIONS

Abstract. *The article provides a comprehensive analysis of compressor and pumping stations as essential elements of critical infrastructure, responsible for ensuring the continuous transportation of gas, oil, water, and other working media over long distances. The study examines the structural, technological, and operational characteristics of these stations, including the composition of equipment, operating principles, performance criteria, and reliability standards. Special attention is paid to the impact of military actions on their operation, which introduces significant risks such as combat-related equipment damage, interruptions in power supply, restricted personnel access, and operation under non-standard conditions, all of which substantially reduce efficiency and increase the likelihood of system failures. The main strategies for enhancing the resilience of compressor and pumping stations are analyzed in detail, including structural reinforcement of buildings and equipment, installation of protective screens, modular design of units, redundancy of critical systems, implementation of autonomous power sources, and deployment of automated control and remote management systems. The study highlights the importance of operational autonomy, which ensures uninterrupted technological processes while minimizing dependence on external energy sources and on-site personnel. Furthermore, international experience is reviewed, demonstrating the effectiveness of combining modularity, redundancy, and automation to maintain continuous operation, reduce downtime, and increase the overall reliability of critical infrastructure under emergency and military conditions. The findings underscore the practical significance of these approaches for the modernization, design, and operation of compressor and pumping stations in Ukraine, as well as for the*

development of standards and strategies to protect critical infrastructure. Prospective directions for further research are identified, including the development of failure prediction methods, improvement of structural solutions, enhancement of autonomy, and adaptation of international best practices to increase station resilience, shorten recovery times after damage, and ensure efficient and safe operation of critical infrastructure during crisis situations.

Keywords: *compressor station; pumping station; critical infrastructure; military actions; resilience; operational autonomy.*

Received/Надійшла до редакції 09.12.2025
Reviewed/Рецензована 25.12.2025
Accepted/Прийнята 26.12.2025