

<https://www.proconference.org/index.php/usc/article/view/usc31-00-003>

DOI: 10.30888/2709-2267.2025-31-00-003

УДК 528.48

INTEGRATED APPROACH TO THE DIAGNOSTICS OF UKRAINE'S GAS TRANSMISSION SYSTEM

ІНТЕГРОВАНІЙ ПІДХІД ДО ДІАГНОСТИКИ ГАЗОТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ

Romaniuk V.V. / Романюк В.В.

с.т.с., ас. проф. / к.т.н., доц.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4429-1930>

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,

Ivano-Frankivsk, Karpatian, 15, 76019

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15 76019

Анотація. У статті досліджено сучасний стан та стратегічне значення газотранспортної системи України (ГТС) в умовах геополітичних та військових викликів. Розглянуто еволюцію обсягів транзиту газу, вплив російської агресії та процеси модернізації, які забезпечили можливість реверсних постачань газу з країн Європейського Союзу. Особливу увагу приділено важливості систематичного моніторингу для забезпечення надійності інфраструктури, енергетичної безпеки та загальної стійкості держави. Проведено огляд сучасних технологій моніторингу — внутрішніх (інтелектуальні поршині, ультразвукові датчики), зовнішніх (сенсори, тепловізори), дистанційних (дрони, супутники) та геодезичних методів (GNSS, нівелювання, 3D-сканування), з аналізом їхніх переваг і обмежень. Запропоновано методiku комплексного моніторингу ГТС з акцентом на інтегровану, просторово точну та оперативну діагностику. Отримані результати підтверджують актуальність ГТС України як критичної інфраструктури та її потенціал до інтеграції у європейську водневу мережу в майбутньому.

Ключові слова: газотранспортна система, моніторинг трубопроводів, 3D-сканування, GNSS, просторовий аналіз, технічна діагностика, критична інфраструктура..

Abstract. (The article explores the current condition and strategic significance of Ukraine's gas transmission system (GTS) amidst geopolitical and military challenges. It outlines the evolution of gas transit volumes, the impact of Russian aggression, and the ongoing modernization efforts that have enabled reverse gas flows from the EU. Special attention is given to the importance of systematic monitoring for maintaining infrastructure reliability, energy security, and national resilience. The paper reviews modern monitoring technologies—including internal (PIGs, ultrasound), external (sensors, thermal imaging), remote (drones, satellites), and geodetic methods (GNSS, leveling, 3D scanning)—highlighting their advantages and limitations. A proposed methodology for comprehensive GTS monitoring is presented, emphasizing the role of integrated, real-time, and spatially accurate diagnostics. The findings support the continued relevance of Ukraine's GTS as a critical infrastructure, with potential for future integration into the European hydrogen network.).

Key words: gas transmission system, pipeline monitoring, 3D scanning, GNSS, spatial analysis, technical diagnostics, critical infrastructure.

Вступ.

Газотранспортна система (ГТС) України відіграє надзвичайно важливу роль у забезпеченні енергетичної стабільності як на національному, так і на

європейському рівнях. Історично вона була головним транзитним шляхом для постачання природного газу з Російської Федерації до країн Європейського Союзу. Проте з початком збройної агресії Росії проти України та зміною енергетичних пріоритетів Європи ситуація кардинально змінилася. Обсяги транзиту суттєво знизились, а з 2025 року він був фактично припинений. Незважаючи на це, внутрішня функціональність української ГТС збереглася завдяки модернізації, технічній переорієнтації та зростанню реверсних поставок з країн ЄС.

Сучасні виклики, зокрема воєнні загрози, фізичне старіння трубопроводів та екологічні ризики, вимагають нового підходу до експлуатації та обслуговування інфраструктури. Одним із ключових інструментів забезпечення безпеки та надійності є регулярний моніторинг стану трубопроводів із використанням інноваційних технологій. У цьому контексті особливого значення набувають геодезичні, дистанційні та автоматизовані методи, що дозволяють виявляти деформації, витоки та інші дефекти на ранніх стадіях. Актуальність дослідження також посилюється перспективою інтеграції ГТС України до майбутньої європейської водневої інфраструктури.

Постановка проблеми

Газотранспортна система України (ГТС України) — це одна з найбільших і найважливіших інфраструктурних систем у Європі, що забезпечує транспортування природного газу як для внутрішнього споживання, так і для експорту та імпорту між Україною та країнами ЄС. Газотранспортна система України охоплює понад 38 000 км магістральних і розподільних газопроводів, що робить її однією з найбільших у Європі (Рисунок 1).

Газотранспортна система України є стратегічною інфраструктурою, яка історично відігравала ключову роль у забезпеченні енергетичної стабільності як всередині країни, так і в регіональному контексті. До початку повномасштабного вторгнення Російської Федерації в Україну (лютий 2022 року), українська ГТС залишалась основним маршрутом транзиту російського природного газу до Європейського Союзу, забезпечуючи постачання на рівні понад 140 млрд м³/рік

у 2000-х роках. Проте внаслідок агресії РФ, змін на енергетичному ринку ЄС, запуску альтернативних маршрутів та зниження попиту, обсяги транзиту зменшились до 15,4 млрд м³ у 2024 році, а з січня 2025 року — транзит припинено повністю [1].



Рисунок 1 - Газотранспортна система України

Попри це, газотранспортна система залишається критично важливою для України. Вона забезпечує життєво необхідне транспортування газу для населення, промисловості, об'єктів критичної інфраструктури та теплоенергетики. Завдяки модернізації компресорних станцій і розвитку реверсних потоків, Україна отримала можливість імпортувати газ з країн Європейського Союзу через Словаччину, Угорщину, Польщу, що суттєво знизило залежність від Росії [2].

У стратегічному вимірі важливість ГТС визначається не лише її функціональністю, а й потенціалом трансформації. Згідно з Європейською водневою стратегією, вже в найближчі роки передбачається створення транс'європейської водневої мережі. Українська ГТС, у зв'язку з наявністю великого резерву потужностей та підземних сховищ, розглядається як потенційна частина цієї мережі. Перехід до транспортування водню чи біометану

міг би відновити стратегічне значення української системи для ЄС [3].

Виходячи з вище зазначеного можна зробити висновок що газотранспортна система (ГТС) України є надзвичайно важливим стратегічним елементом держави, особливо в умовах триваючої російської агресії. Її значення виходить далеко за межі лише енергетичної сфери — вона відіграє ключову роль у національній безпеці, економічній стабільності та геополітичному позиціонуванні України. Саме тому важливим фактором є постійний моніторинг ГТС.

Постійний моніторинг газотранспортної системи є критично важливим для забезпечення її безпечної, надійної та ефективної експлуатації, особливо в умовах війни, фізичного зношення інфраструктури та зростаючих техногенних ризиків. Своєчасне виявлення витоків газу, розгерметизацій, корозії, механічних пошкоджень або зовнішніх втручань дозволяє запобігати аваріям, техногенним катастрофам та зберігати життя людей. Моніторинг сприяє продовженню ресурсу трубопроводів, мінімізує фінансові втрати завдяки плановому ремонту та оптимізує роботу системи за рахунок точного контролю тиску, обсягів та режимів транспортування. В умовах російської агресії оперативний контроль ГТС дозволяє своєчасно реагувати на обстріли, уникати масштабних пошкоджень і зберігати функціонування критичної інфраструктури. Крім того, наявність системного моніторингу є однією з вимог європейських стандартів, що сприяє підвищенню довіри до української ГТС з боку міжнародних партнерів та інтеграції у спільний енергетичний простір ЄС.

Методи моніторингу трубопроводів

Сучасні методи моніторингу трубопроводів охоплюють широкий спектр технологій, які умовно поділяються на внутрішні, зовнішні та дистанційні(геодезичні). Дані методи мають як переваги так і недоліки (таблиця 1). Внутрішні методи включають інтелектуальні поршні (PIGs), які здійснюють повноцінну діагностику стану труби зсередини, а також ультразвукову інспекцію для виявлення дефектів у матеріалі. Зовнішній моніторинг реалізується через віброакустичні сенсори, газоаналізатори, оптоволоконні системи та

термографію, які дозволяють виявляти витoki, вібрації, температурні аномалії або зовнішні пошкодження в реальному часі. Дистанційні методи, як-от моніторинг з дронів, супутників або використання GIS/SCADA-систем, забезпечують широке охоплення території та оперативний контроль за ключовими параметрами функціонування системи. Кожен із методів має свої переваги і обмеження, тому в сучасній практиці часто застосовуються комбіновані підходи для забезпечення надійного та безперервного моніторингу.

Таблиця 1 - Методи моніторингу трубопроводів

Метод моніторингу	Переваги	Недоліки
Інтелектуальні поршні (PIGs)	Точна діагностика внутрішніх дефектів, надійність	Дороговартісне обладнання, необхідність зупинки потоку
Ультразвукова інспекція	Висока точність, добре підходить для корозійного аналізу	Обмежене застосування без поршнів
Віброакустичний моніторинг	Миттєве виявлення аномалій, постійний контроль	Можливі помилкові спрацьовування через фонові вібрації
Газоаналізатори	Виявлення витоків у підземних ділянках	Чутливі до вологих умов, обмежена зона виявлення
Оптоволоконні сенсори	Постійний моніторинг, охоплює великі відстані	Висока вартість встановлення та обслуговування
Інфрачервоне сканування (термографія)	Швидке виявлення температурних аномалій	Менш ефективно в теплово стабільних умовах
Безпілотні літальні апарати (БПЛА)	Гнучкість, огляд важкодоступних місць	Залежність від погодних умов, обмежений час польоту
Супутниковий моніторинг	Велике охоплення, незалежність від погодних умов	Низька роздільна здатність, потреба в складному аналізі
GIS/SCADA-системи	Автоматизація, управління в реальному часі	Потребує комплексного налаштування, висока вартість
3D лазерне сканування	Детальне виявлення деформацій, точна геометрична модель трубопроводів; неінвазивність	Висока вартість обладнання, потреба у спеціалістах і ПЗ для обробки даних
Нівелювання, GNSS-спостереження, тахеометрія	Проста та точна фіксація вертикальних зміщень	Низька ефективність для довгих ділянок без реперів

	грунту або трубопроводу; недороге обладнання	
--	---	--

За даними сучасних досліджень [4, 5], впровадження інтегрованих систем моніторингу значно знижує ризики аварій та підвищує ефективність роботи газотранспортної інфраструктури.

Методика проведення моніторингу трубопроводів

Першим кроком у процесі моніторингу трубопровідної інфраструктури є збір і аналіз наявної проектної, виконавчої та експлуатаційної документації [4]. Особлива увага приділяється визначенню типу трубопроводу, його довжини, діаметра, віку, матеріалу та історії попередніх аварій чи дефектів. Здійснюється ризик-аналіз для виявлення потенційно небезпечних ділянок (перетини з комунікаціями, зони зсувів, старі ділянки).

Планування спостережень

На основі зібраної інформації складається графік моніторингу, який може бути регулярним, сезонним або оперативним. Визначаються контрольні ділянки та опорні точки для вимірювань. Вибір методу моніторингу залежить від технічного стану об'єкта, мети спостереження, доступного бюджету та логістичних умов [5]. До найефективніших методів належать: 3D лазерне сканування, нівелювання, інтелектуальні поршні (PIG), оптоволоконні сенсори, віброакустичний контроль, супутниковий моніторинг та застосування БПЛА.

На польовому етапі застосовуються різні методи залежно від об'єкта моніторингу:

Геодезичні методи — нівелювання, GNSS-спостереження, тахеометрія для фіксації деформацій та осідань труб. Геодезичні спостереження є основою для побудови систем довгострокового моніторингу просторового положення трубопроводів, особливо на ділянках з підвищеною динамікою геологічного середовища.

3D лазерне сканування — створення точних моделей трубопроводів для виявлення викривлень та ушкоджень.

Внутрішня діагностика — з використанням інтелектуальних поршнів (PIGs), оснащених сенсорами для виявлення тріщин, зносу та корозії.

Зовнішній моніторинг — застосування оптоволоконних ліній, газоаналізаторів, термографії.

Дистанційний моніторинг — за допомогою БПЛА або супутників (InSAR, мультиспектральні знімки).

Отримані дані обробляються за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення. Хмари точок з лазерного сканування перетворюються на 3D-моделі, здійснюється порівняння з попередніми періодами. Для геодезичних вимірів будуються графіки зміщень, виконується аналіз горизонтальних і вертикальних переміщень реперів, створюються деформаційні карти. Дані SCADA чи датчиків інтегруються в цифрові системи управління трубопроводами. Результати оформлюються у вигляді технічного звіту з картосхемами, таблицями, фотофіксацією та висновками

На основі аналізу встановлюється ступінь небезпеки виявлених змін. Пошкодження класифікуються за критичністю, приймається рішення про оперативне втручання або плановий ремонт. Дані оновлюються в базі спостережень і використовуються для подальшого прогнозування технічного стану системи

Висновки.

Газотранспортна система України залишається ключовим елементом енергетичної, економічної та національної безпеки держави. У складних умовах війни, зміни європейського енергоринку та припинення транзиту російського газу, система зберегла свою функціональність завдяки технічній гнучкості, модернізації та інтеграції з енергосистемою ЄС. Постійний моніторинг ГТС є необхідною умовою її стабільної роботи, вчасного реагування на загрози та запобігання надзвичайним ситуаціям. Сучасні методи контролю, включаючи геодезичні технології, 3D сканування, SCADA-системи, супутниковий і дронний моніторинг, забезпечують точний аналіз стану трубопроводів та прийняття обґрунтованих рішень. У довгостроковій перспективі ГТС може стати важливою складовою водневої інфраструктури Європи, а її модернізація — інструментом енергетичного переходу України.

Література:

1. Януль, С., Павлов, К., Коротя, М., & Галянт, С. (2019). Характеристика газотранспортної системи України. Економічний вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки, 1(17), 31–38. <https://doi.org/10.29038/2411-4014-2019-01-31-38>
2. Олеськів, Р. Є., & Гера, О. В. (2019). Сучасні геодезичні методи моніторингу технічного стану наземних об'єктів нафтогазової промисловості. Технічні науки та технології, 6(2), 221–227. <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.6-2/38>
3. European Hydrogen Backbone (EHB). (2022). Analysing future demand, supply, and transport of hydrogen. EHB Initiative. <https://ehb.eu/files/downloads/EHB-Analysing-the-future-demand-supply-and-transport-of-hydrogen-June-2021-v3.pdf>
4. Singh, P., Kumar, A., & Gupta, R. (2025). Monitoring and leak detection methods in pipelines: A systematic literature review. *Journal of Infrastructure Systems*, Springer. <https://link.springer.com/article/10.1007/s44245-025-00102-w>
5. Yuan, J., Mao, W., Hu, C., Zheng, J., Zheng, D., & Yang, Y. (2023). Leak detection and localization techniques in oil and gas pipeline: A bibliometric and systematic review. *Engineering Failure Analysis*, 146, 107060. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2023.107060>

Статтю надіслано: 05.05.2025 р.

© Романюк В.В.