

УДК 004.02

doi:10.20998/2413-4295.2025.03.03

СПОСІБ МОНІТОРИНГУ РОБОТИ ГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОЖЛИВОСТІ АВТОМАТИЧНОГО ВІДКЛЮЧЕННЯ ПОШКОДЖЕНОГО ШЛЕЙФУ

Б. В. РУДИК, О. А. ЄЛІСЄЄВ, М. С. ГРЕКОВ*

філія «Науково-дослідний інститут транспорту газу» АТ «Укртрансгаз», м. Харків, УКРАЇНА
e-mail: hrekov-ms@utg.ua

АНОТАЦІЯ Розглянуто інноваційний підхід до організації моніторингу стану газових свердловин, що передбачає створення автоматизованої системи з функцією аварійного відключення пошкодженого шлейфу. Основною метою дослідження є підвищення рівня безпеки та надійності експлуатації об'єктів газовидобування та підземного зберігання газу шляхом оперативного виявлення порушень у роботі свердловинного обладнання та своєчасного реагування на можливі аварійні ситуації. Одним із варіантів реалізації методу є використання пневмометричного підходу. У ролі чутливих елементів виступають напірні трубки, які реєструють динамічний тиск, що виникає в результаті обтікання трубки потоком газу. Вимірювальна система визначає швидкість потоку за величиною різниці між повним та статичним тиском, що дозволяє отримати значення витрати газу. Проаналізовано результати моделювання динаміки роботи свердловин при різних сценаріях аварій (при розриві шлейфа), що підтверджують ефективність запропонованого способу. Система дозволяє не лише оперативно реагувати на виникнення дефектів, а й запобігати розвитку надзвичайних ситуацій, що позитивно впливає на рівень промислової безпеки та екологічну ситуацію у районі видобутку. Застосування такого підходу може бути актуальним як для новобудов, так і для модернізації існуючих об'єктів. Запропонований спосіб моніторингу, завдяки комп'ютерному вузлу, що здійснює збір, обробку та аналіз даних, отриманих від периферійних сенсорів у реальному часі з можливістю автоматичного відключення пошкоджених шлейфів – є ефективним засобом підвищення технологічної надійності систем зберігання газу та газовидобування, що дозволяє суттєво знизити ризики, пов'язані з витокami газу та аварійними ситуаціями. Система проєктована з урахуванням модульної структури, що забезпечує її легку адаптацію під різну кількість свердловин, зміну топології або інтеграцію з існуючим технологічним обладнанням без потреби в повній реконструкції та базується на поєднанні сучасних засобів контролю параметрів (тиску, температури, витрат газу) та модулів логічної обробки сигналів, які формують команди на відключення окремих елементів інфраструктури у разі виявлення позаштатних ситуацій.

Ключові слова: шлейф газової свердловини; автоматичне відключення; аварійне реагування; газовидобування; моделювання

METHOD FOR MONITORING THE OPERATION OF GAS WELLS AND ENSURING THE POSSIBILITY OF AUTOMATIC SHUTDOWN OF A DAMAGED WELL

B. RUDIK, O. YELISIEIEV, M. GREKOV

branch «R&D Institute of Gas Transportation» Ukrtransgaz Joint Stock Company, Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT An innovative approach to organizing the monitoring of gas wells is considered, which involves the creation of an automated system with an emergency shutdown function for damaged loops. The main objective of the study is to improve the safety and reliability of gas production and underground gas storage facilities by promptly detecting malfunctions in well equipment and responding to potential emergencies in a timely manner. One option for implementing this method is to use a pneumometric approach. Pressure tubes act as sensitive elements, registering the dynamic pressure that arises as a result of gas flow around the tube. The measuring system determines the flow rate based on the difference between the total and static pressure, which allows the gas flow rate to be obtained. The results of modelling the dynamics of wells under various accident scenarios (when the trail breaks) have been analyzed, confirming the effectiveness of the proposed method. The system allows not only to respond quickly to the occurrence of defects, but also to prevent the development of emergency situations, which has a positive effect on the level of industrial safety and the environmental situation in the production area. The application of this approach may be relevant both for new buildings and for the modernization of existing facilities. The proposed monitoring method, thanks to a computer node that collects, processes and analyses data received from peripheral sensors in real time with the ability to automatically disconnect damaged loops, is an effective means of increasing the technological reliability of gas storage and gas production systems, significantly reducing the risks associated with gas leaks and emergencies. The system is designed with a modular structure, which makes it easy to adapt to different numbers of wells, change the topology or integrate with existing technological equipment without the need for complete reconstruction. The system is based on a combination of modern parameter control devices (pressure, temperature, gas flow) and signal logic processing modules that generate commands to shut down individual infrastructure elements in the event of abnormal situations.

Keywords: gas well plume; automatic shutdown; emergency response; gas production; modeling

Вступ

Газові свердловини є критично важливою складовою інфраструктури як газовидобування, так і

зберігання газу в підземних сховищах газу (ПСГ), що відіграє ключову роль у забезпеченні енергетичної безпеки України [1].

Однак експлуатація фонду свердловин супроводжується низкою техногенних ризиків, серед яких одним із найбільш небезпечних є витік природного газу через розрив шлейфа свердловини [2]. Такі інциденти можуть призвести до масштабних викидів газу в навколишнє середовище, пожежі або вибуху, що, у свою чергу, створює загрозу життю персоналу, пошкодження обладнання, порушення технологічного процесу та значних економічних втрат оператора ПСГ [3]. Проблема ускладнюється тим, що діючі методи виявлення місця пошкодження шлейфу є застарілими, базуються переважно на візуальному огляді колектора (гребінки) та не забезпечують оперативної локалізації аварійної ділянки [4]. У результаті значна частка газу може витекти до моменту ручного перекриття, адже інші свердловини залишаються підключеними до загального колектора, з якого газ безперешкодно надходить до місця пошкодження. Таким чином, величина втрат є прямо пропорційною до часу виявлення пошкодження та його ліквідації.

Актуальність розробки ефективного технічного рішення полягає в необхідності підвищення технологічної безпеки експлуатації свердловин шляхом впровадження системи автоматичного моніторингу з функцією аварійного відключення пошкодженого шлейфу без залучення оператора. Такий підхід дозволить значно скоротити час реагування на надзвичайну ситуацію, зменшити обсяги втрат природного газу, а також забезпечити екологічну безпеку та безперервність роботи об'єкта газової інфраструктури.

Реалізація даного підходу дозволяє автоматизувати процес аварійного реагування, підвищити надійність та безпечність експлуатації свердловинного фонду, а також інтегрувати систему в існуючу інфраструктуру SCADA або створити автономне рішення для окремих технологічних ділянок. Управління та моніторинг передбачено здійснювати через автоматизоване робоче місце (АРМ) оператора, що забезпечує централізований контроль параметрів та оперативне реагування на позаштатні ситуації.

Мета роботи

Метою даного дослідження є підвищення надійності, технологічної ефективності та запобігання втратам газу у разі руйнування шлейфу однієї або кількох свердловин підземного сховища газу шляхом оснащення газозбірних пунктів ПСГ системою захисту, що забезпечує автоматичне визначення пошкодженого шлейфу та його відключення від колектора відбору/закачування [5]. Запропонований підхід передбачає створення системи, здатної в режимі реального часу здійснювати контроль параметрів роботи шлейфів, оперативну ідентифікувати пошкоджені ділянки трубопроводів та автоматично відключати їх від спільного колектора закачування/відбору газу з метою запобігання аварійним ситуаціям, зниження обсягів втрат

природного газу та мінімізації екологічних і техногенних ризиків.

Виклад основного матеріалу

Критеріями, які дають змогу з високою вірогідністю визначити руйнування шлейфу, (яке по характеристикам витоку газу можливо порівняти до вільного- незакритого кінця труби), є різке зростання швидкості потоку газу через ділянку шлейфу від колектора до місця розриву [6]. Рис.1 ілюструє різке падіння рівня витрати перед кр. №1 пошкодженого шлейфу.

Крім того при роботі ПСГ в режимі відбору - напрям потоку зміниться на протилежний, а в наземній ділянці шлейфу зросте падіння тиску на гирлі свердловини (Рустя – тиск на усті свердловини). Рис. 2 та рис.3 ілюструють падіння тиску на фонтанній арматурі свердловини та перед краном №1 пошкодженого шлейфу.

Проведене філією «Науково-дослідний інститут транспорту газу» АТ «Укртрансгаз» моделювання процесу руйнування шлейфу в межах значень тиску в колекторі від 19 кг/см² до 59 кг/см², і відстані від початку підземної частини колектору до місця розриву від 100 до 2 000 метрів показало, що для виявлення небезпечних змін у стабільності потоку газу необхідно встановлення такого сенсора, який може вимірювати швидкість і також визначати напрям потоку (рис.4) . Доступним місцем для встановлення даного сенсора є наземна частина шлейфу – гребінка [7].

Вибір сенсора проводився з врахуванням критерію мінімальної вартості та мінімальному падінню тиску на приладі [8]. Цим критерієм відповідає витратомір на базі осереднювально – напірної трубки (ОНТ) в комплекті з мультипараметричним вимірювальним перетворювачем перепаду тиску, тиску та температури (рис. 5). Дані параметри використовуються для розрахунку миттєвого значення витрати.

Принцип дії осередненої напірної трубки заснований на вимірюванні різниці тисків (перепаду тисків) між повним тиском потоку вимірюваного середовища і статичним тиском, що виникає при обтіканні потоком осередненої напірної трубки [9]. Осереднена напірна трубка має ряд отворів (кількість отворів визначається моделлю трубки і діаметром трубопроводу), розподілених по її довжині симетрично щодо середини. Один ряд отворів розташований назустріч потоку і сприймає повний (сума динамічного (швидкісний напір) і статичного тисків) тиск вимірюваного середовища, інший ряд отворів, розташований з протилежного боку трубки, сприймає тільки статичний тиск в трубопроводі. Осереднена напірна трубка розташована перпендикулярно осі потоку по всій довжині внутрішнього діаметра трубопроводу (рис. 6). Всередині трубки є дві камери, в яких відбувається осереднення відповідних тисків по перетину трубопроводу [10].

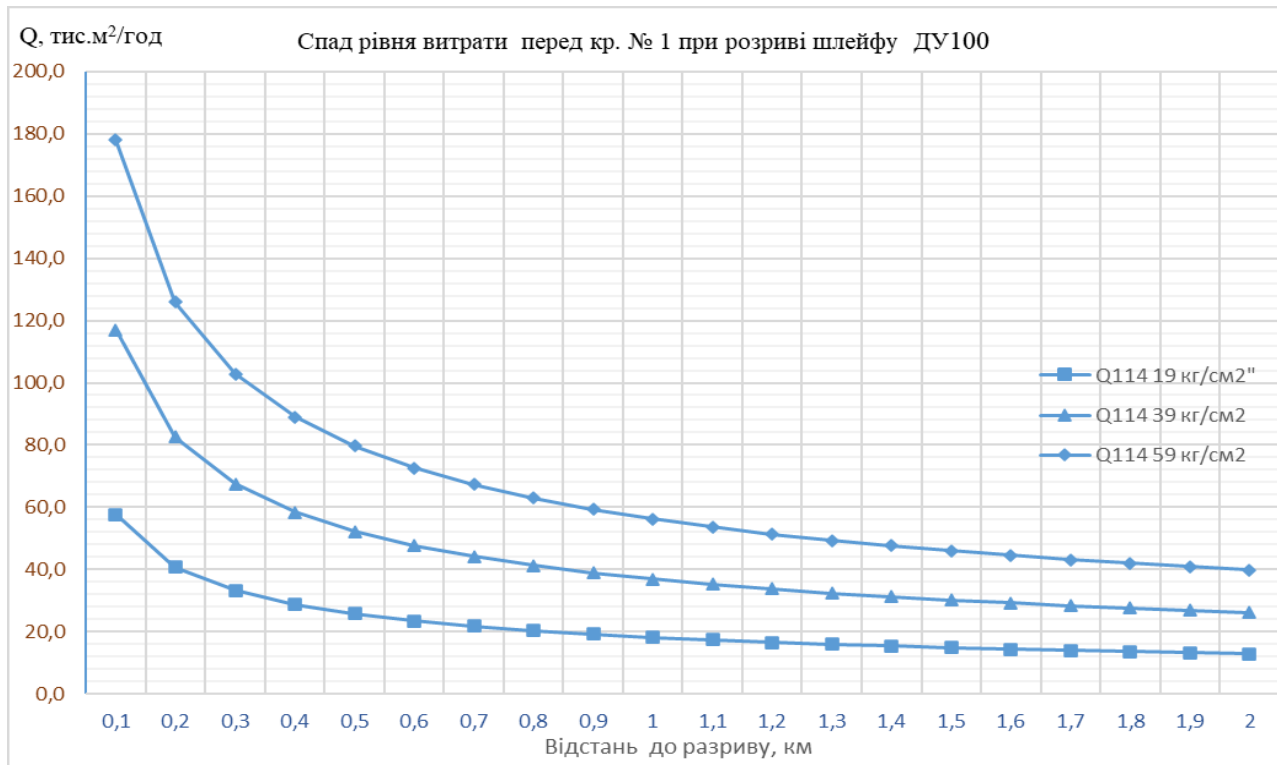
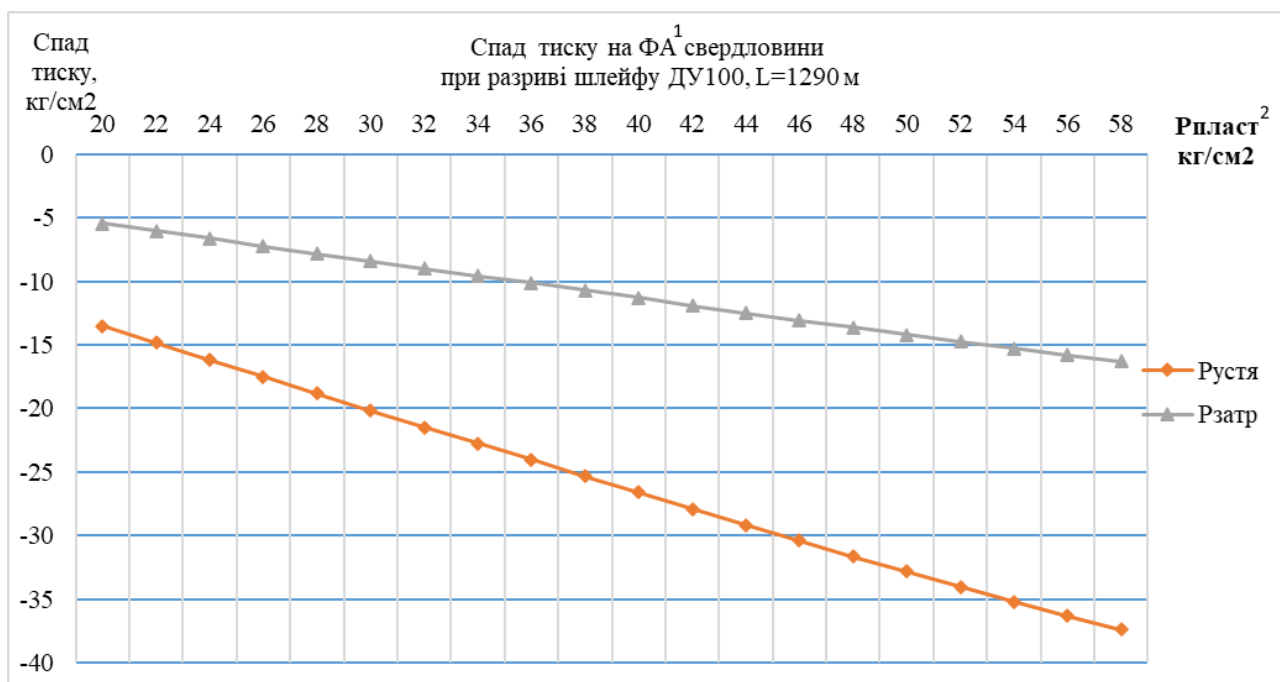


Рис. 1 - Падіння рівня витрати перед кр. №1



¹Фонтанна арматура (ФА) – обладнання на гирлі свердловини для герметизації та керування видобутком.

²Пластовий тиск (Рпласт) – тиск флюїдів у пласті, що характеризує умови їх перебування у поровому просторі.

Рис. 2 - Падіння тиску на фонтанній арматурі свердловини

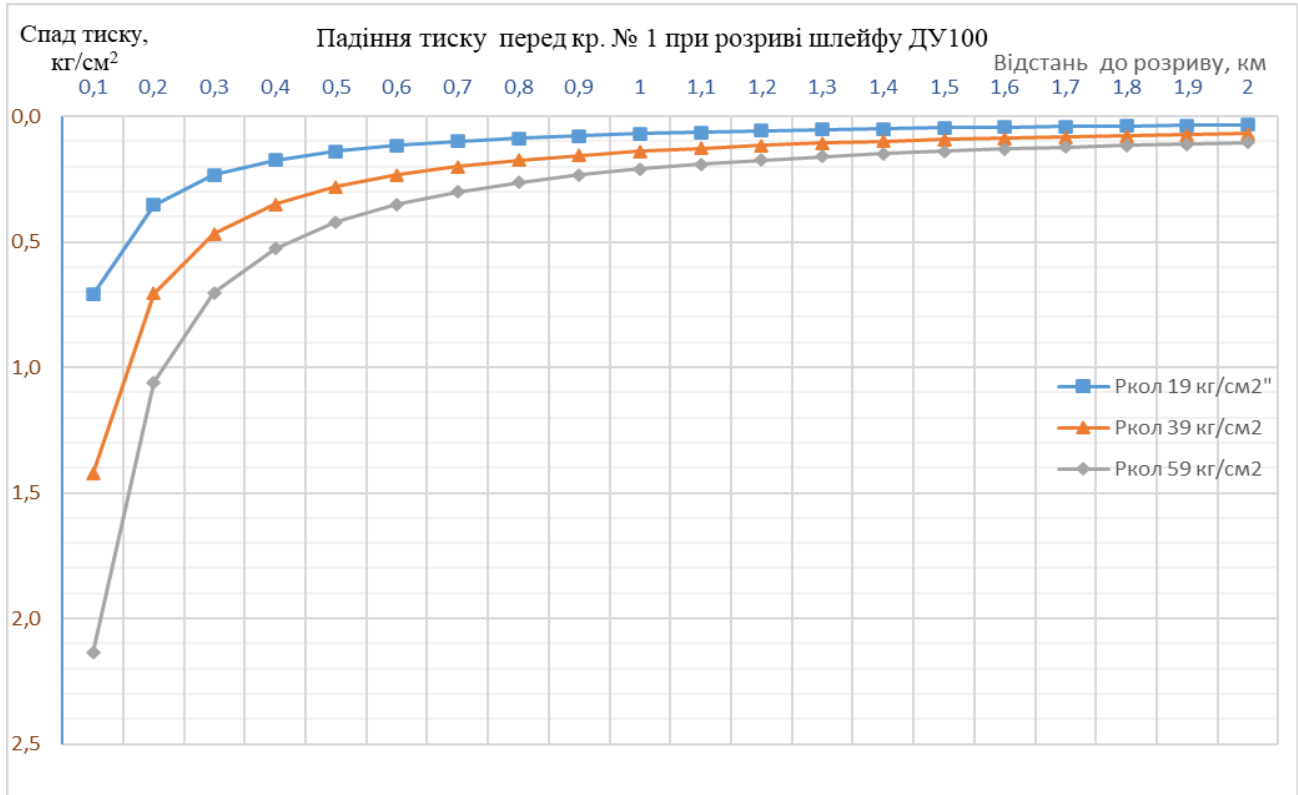


Рис. 3 - Падіння тиску перед кр. №1

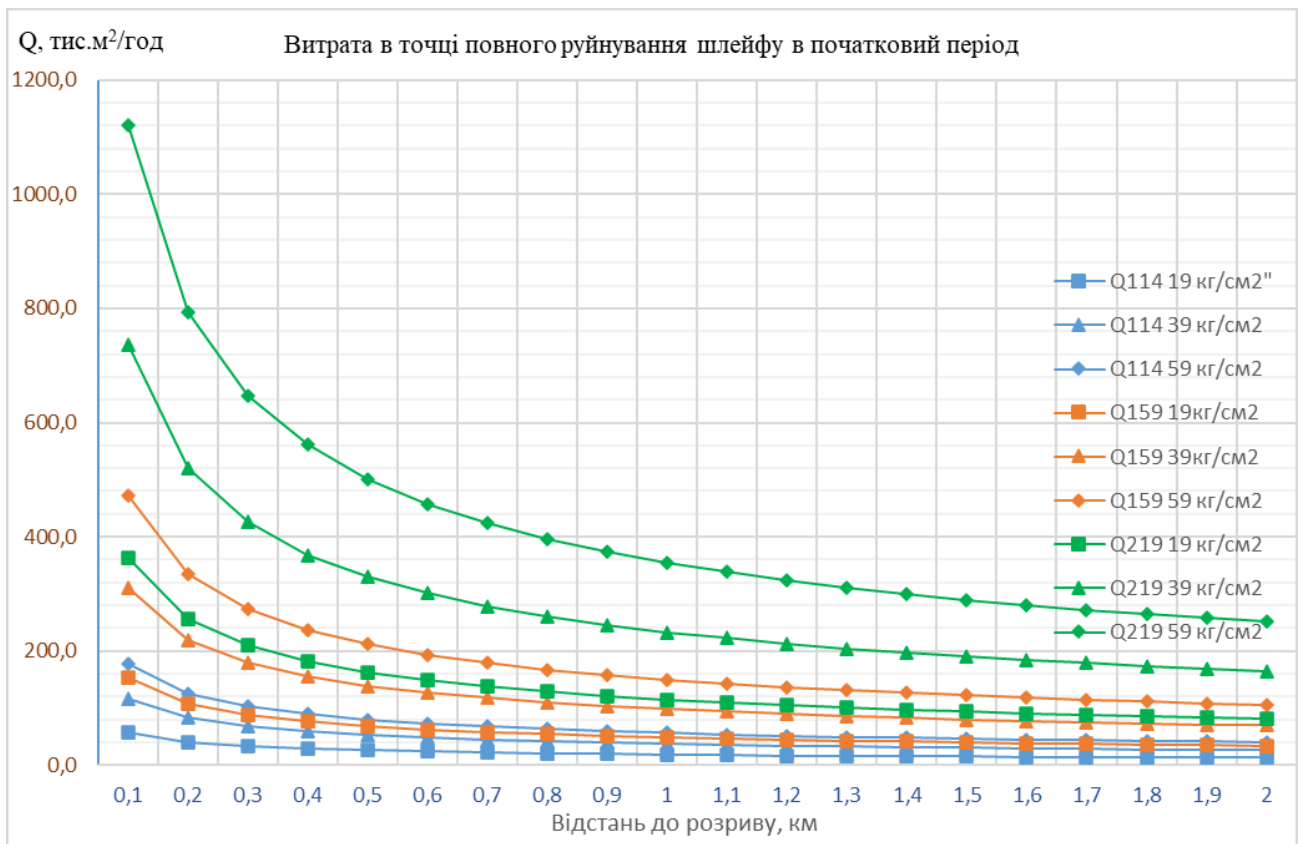


Рис. 4 - Падіння рівня витрати в точці повного руйнування шлейфу

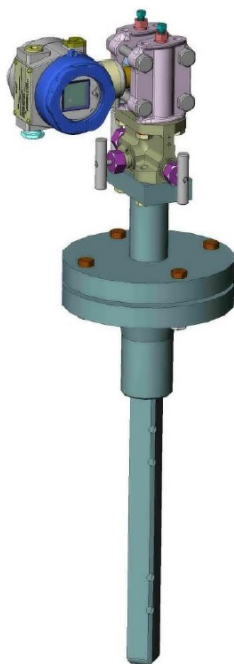


Рис. 5 - Осереднювальна – напірна трубка

Перевагами обраного варіанту є:

- мінімальні трудовитрати при встановленні;
- компактні розміри;
- простота обслуговування;
- можливість отримувати додаткові параметри такі як витрата газу по кожному шлейфу;
- мінімальна ймовірність витоків вимірюваного середовища за умови розташування багато-параметричного перетворювача безпосередньо на ОНТ;
- більш низькі втрати тиску в порівнянні з витратомірами на базі звужуючих пристроїв;
- можливість монтажу та демонтажу без зупинки процесу.

Попередні основні технічні рішення передбачають:

- встановлення на шлейфі газозбірного пункту (ГЗП) ОНТ;
- обов'язка ОНТ вимірювальними приладами для отримання параметрів різниці тиску, тиску та температури газу.

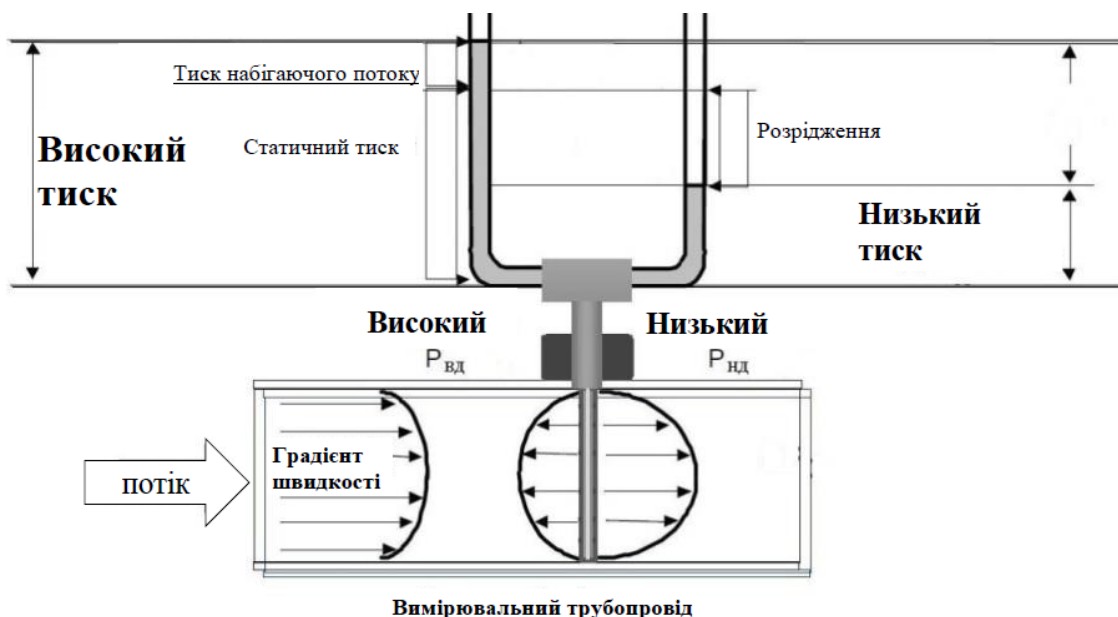


Рис. 6 – Принцип розташування ОНТ

Крім вирішення поставленої задачі, таке рішення додатково надає можливість оперативного контролю режиму роботи кожної експлуатаційної свердловини ПСГ.

Філією «Науково-дослідний інститут транспорту газу» АТ «Укртрансгаз» розроблено проектні та технічні рішення, по реалізації системи автоматичного відключення шлейфів свердловин у разі їх пошкодження [11].

Система забезпечує автоматичний контроль режимів роботи газозбірного пункту, визначення шлейфу (шлейфів), в якому розпочався неконтрольований витік газу в оточуюче середовище та його автоматичне відключення.

Проектні та технічні рішення передбачають:

Встановлення на наземній ділянці кожного з робочих шлейфів - витратоміра на базі осереднювально – напірної трубки «Манобар»,

виробництва ТОВ «Манометр-Харків» в комплекті з мультипараметричним вимірювальним перетворювачем тиску, перепаду тиску та вимірювальним перетворювачем температури [12];

Встановлення на майданчику клемних коробок для комутації кабелів від мультипараметричних вимірювальних перетворювачів до шафи системи автоматичного керування захисту шлейфів свердловин (далі САК ЗШС);

Встановлення на блоці переключень шафи САК ЗШС на базі ПЛК серії S7-1500 виробництва фірми «Siemens» із набором модулів, що підтримують HART-протокол та блоків живлення;

Встановлення нового автоматизованого робочого місця САК ЗШС в приміщенні диспетчера.

Розроблена система автоматичного контролю за шлейфами свердловин реалізує комплекс функцій, спрямованих на підвищення надійності та безпечності експлуатації газозбірних пунктів підземного сховища газу. Основу функціонування системи становить безперервний розрахунок миттєвих витрат газу та дебіту по кожному шлейфу свердловини з урахуванням заданого часового інтервалу. На основі даних сенсорів система здійснює динамічне обчислення швидкості зростання перепаду тиску в шлейфах, а також автоматичне виявлення перевищення цього показника відносно наперед заданого порогового значення. Особливу увагу приділено фіксації змін у напрямку потоку газу, що є характерною ознакою пошкодження шлейфу в режимі відбору. У випадку фіксації аварійних ознак система формує відповідне повідомлення на систему автоматичного контролю компресорної станції або ініціює автоматичне відключення шлейфу шляхом подачі команди на закриття відповідного запірного клапана. Додатково забезпечується постійний контроль параметрів тиску та температури газу з оперативною сигналізацією про вихід за межі допустимих значень на АРМ САК ЗШС. Система також здійснює приймання уставок, що визначають граничні значення параметрів, та формує аварійні сигнали по кожному шлейфу, з подальшою передачею інформації до системи контролю компресорної станції ПСГ.

Встановлення нового АРМ САК ЗШС, забезпечує:

- вибір режиму роботи шлейфу;
- встановлення уставки швидкості зміни перепаду тиску для кожного шлейфу;
- встановлення уставки часу для кожного шлейфу;
- відображення миттєвої витрати газу по кожному шлейфу свердловини (свердловин);
- відображення дебіту по кожному шлейфу свердловини (свердловин) за визначений період;
- відображення стану шлейфів свердловин;
- ведення журналів подій.

Також в даній системі можуть бути включені додаткові заходи безпеки. Наприклад, у разі

виявлення небезпеки система керування може автоматично припинити роботу свердловини.

Таким чином буде вирішуватись проблема втрати газу, який зберігається або закачується в ПСГ у разі розгерметизації з будь яких причин, в тому числі і навмисних, одного або кількох шлейфів, підключених до загального колектора закачування/відбору.

Висновки

У підсумку слід відзначити, що впровадження автоматизованої системи контролю шлейфів свердловин на газозбірних пунктах ПСГ дозволяє суттєво підвищити рівень техногенної безпеки об'єкта, забезпечуючи оперативне виявлення пошкоджень у шлейфах свердловин та їх автоматичне відключення. Такий підхід дає змогу мінімізувати обсяги втрат природного газу в аварійних ситуаціях, які можуть виникати внаслідок розгерметизації трубопроводів або порушення цілісності окремих елементів системи.

Система здійснює постійний моніторинг витрати газу, тиску, температури та напрямку потоку в кожному шлейфі, що забезпечує раннє виявлення нетипових змін, які свідчать про ймовірність аварії. Автоматичне формування команд на відключення аварійної ділянки знижує час реагування до мінімуму, усуваючи потребу у візуальному огляді чи участі оператора в першій фазі ліквідації інциденту.

Таким чином, запропоноване технічне рішення сприяє зниженню ризику виникнення пожеж, вибухів і неконтрольованих викидів газу, що, своєю чергою, забезпечує не лише захист майна та економічних ресурсів оператора ПСГ, а й захист життя та здоров'я персоналу. Крім того, зменшення ймовірності масштабних викидів природного газу позитивно впливає на стан довкілля, знижуючи техногенне навантаження на атмосферне повітря та навколишні екосистеми.

Список літератури

1. ISO 5167-2:2003 — Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices. Part 2: Orifice plates. URL: <https://www.iso.org/standard/28074.html>.
2. ДСТУ ISO 9001:2015 — Системи управління якістю. Вимоги. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=61096.
3. Гаврилюк В. Ф., Струтинський В. І. *Автоматизація технологічних процесів у нафтогазовій галузі*. К.: Наука, 2018. 312 с. URL: https://library.nuft.edu.ua/ebook/Автоматизація_тех_процесів_газ.pdf.
4. Huang, Q. et al. Fault detection in gas pipelines using pressure and flow sensors. *Sensors*. 2020. 20(6). P. 1649. doi: 10.3390/s20061649. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/6/1649>.

5. Боровик В. М., Савченко С. І. *Системи моніторингу в газовій промисловості*. Харків: УкрНДІГаз, 2021. 268 с. URL: <http://lib.udhtu.edu.ua:8080/handle/123456789/9454>.
6. Emerson Process Management. Rosemount 3051S Series of Instrumentation. URL: <https://www.emerson.com>.
7. Енергетична стратегія України на період до 2035 року – Схвалена розпорядженням КМУ №605-р від 18.08.2017.
8. International Energy Agency. Gas Security Review 2023. URL: <https://www.iea.org/reports/gas-security-review-2023>.
9. Плахтій Я. І. *Вимірювання витрат та обліку газу: підручник*. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2020. 290 с.
10. Akyildiz I. F., et al. A survey on smart gas monitoring systems. *Computer Networks*, 2022. doi: 10.1016/j.comnet.2022.109133.
11. Розробка SCADA-систем для автоматизації технологічних процесів ПСГ. Науково-дослідний інститут транспорту газу. Технічний звіт, 2021.
12. Klopfenstein R. Jr. Air velocity and flow measurement using a Pitot tube. *ISA Transactions*, 1998. № 37(4). P. 257–263. doi: 10.1016/S0019-0578(98)00036-6.
- Nauka, 2018. 312 p. Available at: https://library.nuft.edu.ua/ebook/Автоматизація_тех_процесів_газ.pdf.
- Huang Q., Liu C., Wang Y., et al. Fault detection in gas pipelines using pressure and flow sensors. *Sensors*, 2020, 20(6), pp. 1649, doi: 10.3390/s20061649. Available at: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/6/1649>.
- Borovyk V. M., Savchenko S. I. *Systemy monitorynhu v hazovii promyslovosti*. Kharkiv. UkrNDIGaz, 2021. 268 p. Available at: <http://lib.udhtu.edu.ua:8080/handle/123456789/9454>.
- Emerson Process Management. Rosemount 3051S Series of Instrumentation. Available at: <https://www.emerson.com>.
- Enerhetychna stratehiia Ukrainy na period do 2035 roku – Rozporiadzhennia KМУ №605-r vid 18.08.2017. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-p>.
- International Energy Agency. Gas Security Review 2023. Available at: <https://www.iea.org/reports/gas-security-review-2023>.
- Plakhtii Ya. I. *Vymiryuvannia vytrat ta obliku hazu: pidruchnyk*. Ivano-Frankivsk. IFNTUNG, 2020. 290 p.
- Akyildiz I. F., Chen H., Lee W. A survey on smart gas monitoring systems. *Computer Networks*, 2022, doi: 10.1016/j.comnet.2022.109133.
- Rozrobka SCADA-system dlia avtomatyzatsii tekhnolohichnykh protsesiv PSG. Naukovo-doslidnyi instytut transportu hazu – Tekhnichniy zvit, 2021. Available at: <https://utg.ua/ua/activities/nditgaz.html>.
- Klopfenstein R. Jr. Air velocity and flow measurement using a Pitot tube. *ISA Transactions*, 1998, 37(4), pp. 257–263, doi: 10.1016/S0019-0578(98)00036-6.

References (transliterated)

Відомості про авторів (About authors)

Рудик Богдан Васильович – провідний інженер, філія «Науково-дослідний інститут транспорту газу» АТ «Укртрансгаз» м.Харків, Україна; ORCID: 0009-0009-9516-6225; email: rudyk-bv@utg.ua.

Bogdan Rudik – senior engineer, branch «R&D Institute of Gas Transportation» Ukrtransgaz Joint Stock Company, Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0009-0009-9516-6225; email: rudyk-bv@utg.ua.

Єлісєєв Олексій Анатолійович – начальник відділу, філія «Науково-дослідний інститут транспорту газу» АТ «Укртрансгаз» м.Харків, Україна; ORCID: 0009-0001-4967-7499; email: eliseev-aa@utg.ua.

Oleksii Yeliseiev – head of department, branch «R&D Institute of Gas Transportation» Ukrtransgaz Joint Stock Company, Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0009-0001-4967-7499; email: eliseev-aa@utg.ua.

Греков Микита Сергійович – стажист інженера, філія «Науково-дослідний інститут транспорту газу» АТ «Укртрансгаз» м.Харків, Україна; ORCID: 0009-0002-9720-0609; email: hrekov-ms@utg.ua.

Mykyta Hrekov – engineering intern, branch «R&D Institute of Gas Transportation» Ukrtransgaz Joint Stock Company, Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0009-0002-9720-0609; email: hrekov-ms@utg.ua.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Рудик Б. В., Єлісєєв О. А., Греков М. С. Спосіб моніторингу роботи газових свердловин та забезпечення можливості автоматичного відключення пошкодженого шлейфу. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». 2025. № 3 (25). С. 20–26. doi:10.20998/2413-4295.2025.03.03.

Please cite this article as:

Rudik B., Yeliseiev O., Hrekov M. Method for monitoring the operation of gas wells and ensuring the possibility of automatic shutdown of a damaged well. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2025, no. 3(25), pp. 20–26, doi:10.20998/2413-4295.2025.03.03.

Надійшла (received) 02.08.2025
Прийнята (accepted) 10.09.2025