

М. М. Толстушко¹, Н. О. Ференц², Ю. Е. Павлюк², І. П. Кравець², А. С. Лин²¹Луцький національний технічний університет²Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

АНАЛІЗ ВИБУХОПОЖЕЖОНЕБЕЗПЕКИ ВИДОБУВАННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

У статті підкреслено, що проблема забезпечення газодобування є актуальною і потребує впровадження сучасних технологій захисту. Проаналізовано утворення вибухопожежонебезпечного середовища у буровій установці. Зазначено, що в Правилах безпеки в нафтогазодобувній промисловості вказано лише про категоризацію приміщень, а про категоризацію зовнішніх установок відсутня будь-яка інформація. Встановлено, що вказані зовнішні установки належать до категорій *A_z* (вибухопожежонебезпечна) та *B_z* (пожежонебезпечна). Запропоновано внести зміни у Правила безпеки в нафтогазодобувній промисловості про необхідність категоризації зовнішніх установок, а на об'єктах видобутку природного газу визначити категорії за вибухопожежною небезпечністю для газових свердловин, бурових установок, мобільних компресорних станцій, факельних систем та інших об'єктів, пов'язаних з експлуатацією об'єктів газодобування.

Ключові слова: вибухопожежонебезпека, природний газ, видобуток, категорія, зовнішня установка.

M. Tolstushko, N. Ferents, YU. Paviuk, I. Kravets, A. Lun

EXPLOSION AND FIRE HAZARD ANALYSIS OF NATURAL GAS EXTRACTION

The article emphasizes that the problem of securing gas production is relevant and requires the implementation of modern protection technologies. The formation of an explosive and fire-hazardous environment in a drilling rig is analyzed. It is noted that the Safety Rules in the Oil and Gas Industry indicate only the categorization of premises, and there is no information about the categorization of external installations. It is established that the specified external installations belong to categories *A_z* (explosive and fire-hazardous) and *B_z* (fire-hazardous). It is proposed to make changes to the Safety Rules in the Oil and Gas Industry on the need to categorize external installations, and at natural gas production facilities to determine categories for explosion and fire hazard for gas wells, drilling rigs, mobile compressor stations, flare systems and other facilities related to the operation of gas production facilities.

Keywords: explosion and fire safety, natural gas, extraction, category, external installation.

Постановка проблеми.

Видобуток природного газу в Україні ведеться здавна. Початком промислового використання природного газу на території Галичини вважають 1896 р., коли газ із нафтових свердловин на родовищі Східниця по трубах перевели до топки парового котла [1]. Перший газопереробний завод у Європі був збудований у Бориславі в 1911 р., а згодом тут було збудовано ще дев'ять заводів. У 1912 р. у Бориславі було побудовано перший в Україні газопровід протяжністю 700 м і два газопроводи від Борислава до Дрогобича довжиною 12 км кожен. Ці газопроводи входили в десятку перших протяжних газопроводів Європи. У 1921 р. пошуковою свердловиною фірми «Gazolina» на глибині 395 м було розкрито перший газовий поклад Дашавського родовища. Розвідування Дашавської газоносної площі у 1924 році підтвердило відкриття родовища природного газу, початкові запаси якого становили 13,2 млрд. м³. У 1950 р. було відкрите унікальне Шебелинське газоконденсатне родовище в Харківській області – найбільше на той час у Європі [1].

Видобуток газу в Україні не припиняється і під час війни. Зокрема, впродовж 2023 року було введено в експлуатацію 86 нових бурових свердловин, з них 24 – з початковим дебітом більше 100000 м³, що стало абсолютним рекордом за 20 останніх років. Найпотужнішу бурову свердловину запущено в квітні 2023 року, її дебіт досягає 580 000 м³ [2].

Аналіз пожеж свідчить, що найчастіше вони виникають під час буріння свердловин і при їх експлуатації та призводять до значних матеріальних і трудових витрат на їх ліквідацію. Одна із найбільших пожеж сталася на території Угерського газового родовища у листопаді 1946 року [3]. Вона тривала впродовж року і за цей час втрати газу склали 3 млрд. м³ – це 10% природних запасів Угерського родовища. Через аномально високий пластовий тиск газу і помилку бурової бригади під час спуско-підйомної операції стався раптовий викид газу. Тиск газу зірвав превентор з гирла свердловини і за лічені секунди викинув 800-метрову колону шестидюймових бурильних труб. Через тертя бурильних труб об бурову вишку газ загорівся. Стовп вогню сягав 30 м заввишки, а вночі заграву було видно аж зі Львова. Палаючий газ, викиди величезної кількості води разом з породою не давали тривалий час загасити пожежу і затампувати свердловину. Для ліквідації фонтану у 1947 році було пробурено дві похилі свердловини за 200 м від аварійної, і лише після введення цих свердловин в експлуатацію факел загасили. На його місці утворилася воронка у формі чаші глибиною 40 м, яку згодом наповнили ґрунтові води.

Тому вкрай важливо забезпечити процес видобутку природного газу на всіх стадіях технологічного процесу: від проектування, буріння, спорудження, експлуатації свердловини до підготовки газу для транспортування його магістральними трубопроводами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Аналітичний огляд досліджень та публікацій показує, що Україна володіє достатніми природними ресурсами, науково-технічним і кадровим потенціалом та фінансовими резервами для забезпечення себе природним газом власного видобутку [5]. Автор стверджує, що головним напрямом стрімкого зростання національного нафтогазовидобутку є зростання річних обсягів пошуково-розвідувального буріння до 600 тис. м³, а експлуатаційного – до 400 тис. м³. Для реалізації таких планів необхідний високий рівень наукових досліджень, розробок та виготовлення обладнання, інструментів, матеріалів, підготовка кадрів та впровадження сучасних технологій.

Однак, на думку авторів [6] найбільш небезпечними викликами для газової галузі є відставання розвитку вітчизняного газового ринку від активних процесів реформування світових газових ринків, насамперед, у Європі; необхідність виконання зобов'язань України, що випливають з її членства в енергетичному співтоваристві, та зафіксовані іншими міжнародними зобов'язаннями України.

Дослідники [7] підкреслюють, що велика кількість газових родовищ України значною мірою виснажена, окремі з них перебувають на завершальній стадії видобутку газу. Однак, виснажені родовища природних газів ще мають значні залишкові запаси вуглеводнів – у пласті може залишатися до 10-15 % газу від початкових запасів. Авторами досліджено технологію витіснення залишкового природного газу з пористого середовища нагнітанням азоту. Вказана технологія – важливий напрям для забезпечення видобутку природного газу, оскільки, азот є ефективним флегматизатором.

Автори [8] вважають причинним фактором аварій у нафтогазовидобувній промисловості порушення правил і процедур безпеки. Дослідниками [9] розроблено математичні моделі з метою оптимізації заходів безпеки на газодобувній свердловині. Авторами використовувалася лексикографічна функція для встановлення пріоритетів цільових функцій, а генетичний алгоритм – для знаходження набору оптимальних рішень Парето.

У роботах [10, 11] розглянуто деякі аспекти для підвищення вибухопожежонебезпеки процесу видобутку природного газу, наукове обґрунтування яких розглядається у даній роботі. Таким чином, проблема забезпечення газодобування є актуальною і потребує впровадження сучасних технологій захисту.

Постановка завдань. Мета роботи полягає в оцінці вибухопожежонебезпеки видобутку природного газу. Для досягнення мети застосовано такі методи, як історичний, порівняльний, статистичний, теоретичного узагальнення, абстрактно-логічний, аналізу і синтезу, а також методики розрахунку згідно ДСТУ Б В.1.1-36:2016 [4].

Викладення основного матеріалу.

На об'єктах видобутку природного газу, розташовані виробничі, складські та адміністративно-побутові будинки, споруди, зовнішні установки і підземні комунікації. Зовнішніми вважають установки, апарати і устаткування яких розміщені ззовні будинку на одному технологічному майданчику і пов'язані між собою єдиним технологічним процесом виробництва, транспортування та переробки продукції.

До зовнішніх установок на об'єктах газодобування відносять: газові свердловини, бурові установки, майданчики для розташування обладнання, мобільні компресорні станції, факельні системи та інші об'єкти, пов'язані з експлуатацією об'єктів газовидобутку.

У таких установках безперервно чи періодично знаходиться вибухопожежонебезпечна речовина – природний газ. Зовнішня установка – факельна система використовується для викидання і подальшого спалювання горючого газу під час аварійних ситуацій у процесі збору, підготовки та компримування газу, у випадку зупинки об'єктів газовидобутку, а також при періодичному викиданні природного газу і продуванні технологічного обладнання.

Зовнішньою установкою вважають і мобільну компресорну станцію – пересувний комплекс споруд, обладнання та устаткування, призначений для запобігання викиду газу в довкілля шляхом його перекачування при проведенні ремонтних і регламентних робіт на об'єктах газодобування. Маса газу, яка може надійти при аварії, залежить від продуктивності компресорів, тривалості перекривання засувки, розмірів трубопроводів.

У буровій установці знаходиться комплекс бурового обладнання і споруд для буріння свердловин, де в процесі буріння можливі неконтрольовані газопрояви. При незначній кількості газопрояви не перешкоджають проведенню основних технологічних операцій, але великі аварійні викиди супроводжується утворенням вибухопожежонебезпечного середовища. Причинами великих аварійних викидів газу із свердловини на стадії буріння є відсутність, несправність чи неправильне використання превенторів на гирлі свердловин, а також порушення герметичності обсадних колон. Викиди газу виникають в обсадних колонах при відсутності у свердловині бурильних труб; у колонах бурильних труб при відсутності або несправності зворотного клапана; у кільцевому просторі між бурильною і обсадною колонами; у нещільностях роз'ємних з'єднань обв'язки гирла свердловини; у кільцевих щілинах між колонами через неякісне цементування і порушення герметичності в з'єднаннях обсадних колон; а також газ може проникати через тріщини та пласти, що виходять на поверхню за межами свердловини.

Зовнішні установки згідно ДСТУ Б В.1.1-36:2016 [4] за вибухопожежною та пожежною небезпекою поділяють на категорії: А_з (вибухопожежонебезпечна), Б_з (вибухопожежонебезпечна), В_з (пожежонебезпечна), Г_з (помірно пожежонебезпечна) та Д_з (знижено пожежонебезпечна). Вказана класифікаційна характеристика визначається за кількістю і за вибухонебезпечними властивостями речовин і матеріалів, що знаходяться в установці.

Правила безпеки в нафтогазодобувній промисловості [12] регламентують вимоги безпеки під час проектування, буріння, спорудження та експлуатації, капітального ремонту та досліджень нафтових, газових та інших пов'язаних з видобуванням нафти і газу свердловин, систем промислового та міжпромислового збору нафти і газу, а також вимоги до технологічного устаткування об'єктів нафтогазодобувної промисловості. Однак, у вказаних Правилах [12] (п.2.28.) зазначено лише про категорювання приміщень: «На вході до приміщень повинні бути розміщені таблички із зазначенням категорії приміщення щодо вибухопожежної і пожежної небезпеки...». Про категорювання зовнішніх установок у Правилах безпеки в нафтогазодобувній промисловості [12] відсутня будь-яка інформація.

Кількісну оцінку вибухопожежонебезпеки природного газу, що знаходяться у зовнішній установці, можна здійснити розрахунком таких параметрів як надлишковий тиск у разі згоряння газоповітряної суміші та горизонтальний розмір зони, що обмежує газоповітряні суміші із концентрацією горючої речовини вище нижньої концентраційної межі поширення полум'я та інтенсивність теплового випромінювання від вогнища пожежі.

Величину надлишкового тиску ΔP , кПа, що розвивається при згорянні газоповітряних сумішей, визначали за формулою [4]:

$$\Delta P = P_0 \cdot \left(0,8 \cdot m_{\text{пп}}^{0,33} / r + 3 \cdot m_{\text{пп}}^{0,66} / r^2 + 5 \cdot m_{\text{пп}} / r^3 \right), \quad (1)$$

де: P_0 – атмосферний тиск, кПа (допускається приймати 101 кПа); r – відстань від геометричного центра газоповітряної хмари, м; $m_{\text{пп}}$ – приведена маса газу, яка обчислюється за формулою:

$$m_{\text{пп}} = (Q_H / Q_0) \cdot m \cdot Z, \quad (2)$$

де: Q_H – питома теплота згоряння природного газу, Дж/кг; Z – коефіцієнт участі горючих газів у горінні, який допускається приймати рівним 0,1; Q_0 – константа, рівна $4,52 \cdot 10^6$ Дж/кг; m – маса природного газу, який надійшов в результаті аварії у довкілля, кг.

Встановлено, що зовнішні установки на об'єктах газодобування – газові свердловини, бурові установки, майданчики для розташування обладнання, мобільні компресорні станції, факельні системи – належать до категорій А_з (вибухопожежонебезпечна) та В_з (пожежонебезпечна).

У вибухопожежонебезпечних зонах зовнішніх установок повинні знаходитися: контрольно-вимірювальна апаратура для автоматичного і безперервного вимірювання концентрації газів, автоматична система аварійної сигналізації, пристрої для автоматичного відімкнення електричних приладів і двигунів внутрішнього згоряння згідно з проектною документацією, технологічною схемою та технічною документацією виробника. У таких зонах необхідно застосовувати інструмент, виготовлений з безіскрових матеріалів або у відповідному вибухопожежонебезпечному виконанні.

Таким чином, у Правилах безпеки в нафтогазодобувній промисловості слід внести зміни щодо необхідності категорювання зовнішніх установок, а на об'єктах видобутку природного газу для газових свердловин, бурових установок, мобільних компресорних станцій, факельних систем та інших об'єктів, пов'язаних з експлуатацією об'єктів газодобування необхідно провести визначення категорій за вибухопожежною небезпекою.

Висновки.

1. Аналіз технологічного процесу видобування природного газу показав вибухопожежну небезпеку зовнішніх установок – газових свердловин, бурових установок, майданчиків для розташування обладнання, мобільних компресорних станцій, факельних системи. Встановлено, що вказані зовнішні установки належать до категорій А_з (вибухопожежонебезпечна) та В_з (пожежонебезпечна).

2. У Правила безпеки в нафтогазодобувній промисловості слід внести зміни про необхідність категорювання зовнішніх установок, а на об'єктах видобутку природного газу визначити категорії за вибухопожежною небезпекою для газових свердловин, бурових установок, мобільних компресорних станцій, факельних систем та інших об'єктів, пов'язаних з експлуатацією об'єктів газодобування.

Список використаних джерел

1. Білецький, В. С., & Гайко, Г. І. (2019). Історія промислового видобутку нафти і газу в Україні: XX століття.
2. Добування газу на нових свердловинах «Укргаздобування» вперше перевищило 1 млрд кубометрів: <https://forbes.ua/ru/news/vidobutok-gazu-na-novikh-sverdlovinakh-ukrgazvidobuvannya-vpershe-perevishchiv-1-mlrd-kubometriv-09012024-18402> (дата звернення: 03.06.2025).
3. Угерський газований кратер: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%B3%D0%B5%D1%80%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%B3%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%B9_%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%B5%D1%80 (дата звернення: 03.06.2025).
4. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. [Чинний від 2017-01-01]. Київ, 2016. 31 с. (Інформація та документація).
5. Вдовиченко, А. І. (2015). Перспективи забезпечення України газом власного видобутку.
6. Запужляк, І. Б., & Запужляк, І. Б. (2017). Сучасний стан та проблеми розвитку газотранспортної системи України в контексті євроінтеграційних процесів.
7. Кондрат, Р. М., & Хайдарова, Л. І. (2021). Підвищення ефективності дорозробки виснажених газових покладів витісненням залишкового природного газу азотом. *Prospecting and Development of Oil and Gas Fields*, (1 (78)), 25-34.
8. Kvalheim, S. A., & Dahl, Ø. (2016). Safety compliance and safety climate: A repeated cross-sectional study in the oil and gas industry. *Journal of safety research*, 59, 33-41.
9. Baladeh, A. E., Cheraghi, M., & Khakzad, N. (2019). A multi-objective model to optimal selection of safety measures in oil and gas facilities. *Process Safety and Environmental Protection*, 125, 71-82.
10. Ференц, Н. О., & П'ясецький, А. (2024). ОЦІНКА ВИБУХОПОЖЕЖОНЕБЕЗПЕКИ ВИДОБУТКУ ПРИРОДНОГО ГАЗУ (Doctoral dissertation, ЛДУ БЖД).
11. Ференц, Н. (2020). Пожежна та техногенна безпека Бориславського нафтогазоконденсатного родовища (Doctoral dissertation).
12. Про затвердження Правил безпеки в нафтогазодобувній промисловості: Наказ Міністерства економіки України від 27.04.2023 р. № 2610. Дата оновлення: 05.07.2023. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0928-23#Text> (дата звернення: 07.06.2024).