

УДК 504.064

DOI: 10.31471/2304-7399-2021-16(60)-125-131

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ АВАРІЙНОГО РИЗИКУ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВОДІВ

Я. М. Семчук, Г. Д. Лялюк-Вітер, Г. М. Кривенко

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;
76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15;
тел. +38(0342)72-71-58; e-mail: bzhd@nung.edu.ua*

Лінійна частина газопроводів є потенційно небезпечним об'єктом і має значний енергетичний потенціал, що здатний негативно впливати на довкілля. Чинники аварійного ризику призводять до відмов магістральних газопроводів. Метою статті є дослідження аварійного ризику під час експлуатації магістральних газопроводів. Розглянуто послідовність проведення аналізу ризиків безпеки, вплив чинників аварійного ризику, що призводять до відмов магістральних газопроводів. Теоретичне дослідження аварійного ризику показує, що його аналіз є комплексним складним завданням і складається з чотирьох етапів: визначаються основні потенційні небезпеки, характерні магістральним газопроводам; здійснюється аналіз і кількісна оцінка можливих наслідків від прогнозованих аварій; розраховується інтенсивність ймовірностей аварійних подій. Тільки комплексне застосування методів оцінки ризику виникнення аварійних ситуацій дозволяє розробляти та обґрунтовувати ефективні заходи щодо підвищення безпеки їх експлуатації. Здійснено прогнозування впливу технологічних та природно-кліматичних чинників на розподіл інтенсивності аварій. Розрахунок локальних значень інтенсивності аварій для кожної ділянки траси дасть змогу одержати розподіл питомої частоти аварій вздовж трубопроводу.

Ключові слова: *магістральний газопровід, потенційні небезпеки, ризик, оцінка, аварійна ситуація, чинник.*

Вступ

В Україні існує густа мережа магістральних газопроводів (34 тис. км), нафтопроводів (3,8 тис. км) та продуктопроводів (3,3 тис. км) [1]. Лінійна частина їх експлуатується у різних та складних природних умовах, що призводить до навантажень та впливів на них. Система трубопроводів відрізняється за конструктивним рішенням на всій її довжині та має значні терміни експлуатації. Все це може призвести і призводить до відмов газопроводів, до виникнення аварій чи аварійних ситуацій.

Згідно з статистичними даними, найбільша кількість аварій спостерігається на газопроводах, які експлуатуються понад 20 років і досягає майже 80% загальної аварійності.

Лінійна частина газопроводів є потенційно небезпечним об'єктом і має значний енергетичний потенціал, що здатний негативно впливати на довкілля. Тому, відмова магістральних газопроводів може супроводжуватися утворенням ударної хвилі, загоранням газу і термічним впливом пожежі на довкілля, токсичним забрудненням атмосферного повітря, пожежовибухової небезпеки тощо внаслідок руйнування лінійної частини трубопроводів [2, 3].

Тому надзвичайно важливим завданням є захист довкілля шляхом зменшення техногенного впливу під час експлуатації газопроводів, а також мінімізація негативного впливу природних чинників на їх безпеку та надійність.

Таким чином, сучасний стан газотранспортної системи потребує, для надійного функціонування, стійкості газопроводів і його об'єктів, постійного моніторингу та виконання певних розрахунків щодо аварійного ризику з метою підвищення їх безпеки.

Тому є актуальним питання дослідження та оцінки ризиків виникнення аварій та аварійних ситуацій на об'єктах підвищеної небезпеки, зокрема і на об'єктах газотранспортної системи.

Результати таких досліджень можуть використовуватися при прийнятті обґрунтованих рішень щодо зниження ризику небезпеки при виникненні аварійних ситуацій на газопроводах, їх запобіганні, а у разі виникнення – своєчасного реагування.

Аналіз попередніх досліджень

Дослідженню виникнення ризиків небезпеки та аварійних ситуацій на газопроводах присвячено багато наукових публікацій. Питанням сучасного стану дослідження надійності магістральних трубопроводів присвячено наукові роботи Мазура І.І., Іванцова О.М., Грузда В.Я., Семчука Я.М. [4, 5, 6]. У працях Говдяка Р.М., Мандрика О.М., Шияна В.Д. [1, 2, 7] наведено аналіз причин відмов під час експлуатації. Основи безпеки об'єктів трубопровідного транспорту висвітлено у статтях Алімова В.Т., Михайлюк О.П., Малоока М.В. та ін. [8, 9, 10].

З аналізу літературних джерел випливає, що існує необхідність проведення комплексного дослідження технологічних та природно-кліматичних чинників при прогнозуванні їх впливу на розподіл інтенсивності аварій, що дасть змогу попереджувати виникнення аварійних ситуацій під час експлуатації газопроводів.

Метою статті є дослідження аварійного ризику під час експлуатації магістральних газопроводів. Для досягнення поставленої мети потрібно розглянути такі задачі:

- послідовність проведення аналізу ризиків небезпеки;

– прогнозування впливу технологічних та природно-кліматичних чинників на розподіл інтенсивності аварій.

Виклад основного матеріалу

Аналіз аварійного ризику є складним, а його керування є важким комплексним завданням і складається з низки етапів. Деталізація аварійного ризику і ступінь його глибини буде різною, бо залежить від життєвого періоду газотранспортної системи. Чинники ризику, що призводять до відмов магістральних газопроводів чи до виникнення аварій на них, можна поділити на такі групи: техногенні, природні чи антропогенні [2, 3]. До техногенних відносять дефекти труб, помилки монтажу, недотримання профілю і плану траншеї для прокладання газопроводу, різні пошкодження під час земляних робіт та ін. До природних факторів відносять корозію різних видів і механічну дію ґрунтів. Найважливіші з них температура і вологість ґрунту, що залежать від морфологічних характеристик рельєфу.

При виборі методів оцінки аварійного ризику на магістральних газопроводах необхідно враховувати всі негативні чинники впливу та звернути увагу на розрахункові, картографічні та модельні методи. Дані методи дозволяють прогнозувати та й розробляти рекомендації щодо зменшення ризику та ліквідації наслідків надзвичайних аварійних ситуацій.

Аналіз аварійного ризику є комплексним завданням і складається з чотирьох етапів [4].

На першому етапі визначаються основні потенційні небезпеки, характерні магістральним газопроводам. На другому етапі здійснюється аналіз і кількісна оцінка можливих наслідків від прогнозованих аварій. Третій етап – це частотний аналіз аварійних подій, що полягає у визначенні інтенсивності (частоти) та ймовірності аварійних подій. На четвертому етапі дані про очікуваний збиток і втрати від окремих аварій комбінуються з даними про можливу інтенсивність і ймовірність аварійних подій та розраховується величина прогнозованого аварійного ризику.

Після кожного з перерахованих етапів проводиться аналіз отриманих даних, і, у випадку їхньої прийнятності, розробляються і реалізуються коригувальні впливи на магістральні газопроводи з метою зниження рівня його небезпеки.

Як відомо, до відмов газотранспортних систем призводять небезпечні чинники. Аналіз їх, зокрема якісний та кількісний, є найважливішим і невід’ємним етапом у створенні комплексної системи керування ними. Виникнення такої непередбачуваної ситуації є явищем випадковим. Тому для математичного аналізу цих чинників найкраще вибирати теорію ймовірності та теорію надійності.

Нехай λ_{ijk} – це потенційно небезпечний чинник, що може призвести до виникнення відмов газопроводу. Класифікацію робимо за обста-

винами, а саме: $i=1$, які можуть виникнути у випадку просідання лесових, болотистих та інших ґрунтів; $i=2$ – під час зсувів земної поверхні; $i=3$ – у разі механічного пошкодження трубопроводу; $i=4$ – за вітрового навантаження (наземна частина трубопроводу); за основними причинами відмов – j та за видами подій – k .

Показник частоти λ_{ijk} прояву X_{ijk} -того чинника відмов газопроводу визначимо за такою формулою [3]:

$$\lambda_{ijk} = \lambda_{ijk}^D + \lambda_{ijk}^P = \left(\frac{K_{ijk}^D}{\sum_i \sum_j \sum_k (K_{ijk}^D)} + \frac{1,2 \cdot K_{ijk}^P}{\sum_i \sum_j \sum_k (K_{ijk}^P)} \right) \quad (1),$$

де λ_{ijk}^D – дійсний показник частоти прояву X_{ijk} -того чинника відмов газопроводу в конкретному районі або в країні; λ_{ijk}^P – потенційний показник частоти; K_{ijk}^D – кількість випадків відмов, що сталися протягом певного періоду внаслідок випадку, який стався за i -тої обставини, за i -тої причини, як наслідок K -тої події; $\sum_i \sum_j \sum_k (K_{ijk}^D)$ – загальна кількість відмов; K_{ijk}^P – потенційна кількість відмов газопроводу у межах району, країни на певний період як прояв X_{ijk} -того чинника; $\sum_i \sum_j \sum_k (K_{ijk}^P)$ – загальна потенційна кількість відмов.

Оцінка локальної інтенсивності аварій може проводитися на окремих відрізках трубопроводу.

У даній формулі, як добуток дійсної складової на коефіцієнт збільшення відмов магістральних газопроводів (старіння трубопроводів, активізація природних процесів тощо) визначається потенційна складова частоти прояву відмов газопроводу. Вона встановлюється на основі статистичних даних відмов за певний період часу. Для аварій на газопроводах характерною є наявність суттєвих розходжень у значеннях питомої частоти аварій $\lambda_{сер}$ у середньому по галузі й значеннях питомої частоти аварій $\lambda_{МГ}$ у цілому для конкретного газопроводу й локальної частоти λ_n на окремих ділянках, що відрізняються за конструктивно-технологічними характеристиками, особливостями проектування, будівництва й експлуатації за різних зовнішніх умов. Для ґрунтового дослідження аварійного ризику експлуатації магістральних газопроводів необхідне ранжування його окремих ділянок так, щоб найнебезпечнішим (з огляду на технічний стан) ділянкам приділялася найбільша увага при з'ясуванні прийнятності аварійного ризику, при плануванні ремонтних робіт та при інших запобіжних заходах.

Інтенсивність аварій на ділянці траси, що досліджується, буде відрізнятися від середньої по галузі $\lambda_{сер}$, бо залежить від сукупності конк-

ретних значень різних чинників впливу на аварійність даної ділянки траси. Ці розбіжності можна враховувати за допомогою інтегрального коефіцієнта впливу ($k_{внл}$), що визначається за такою залежністю [4]:

$$k_{внл} = k_{рег} \cdot k_D \cdot k_{л}, \quad (2)$$

де $k_{рег}$, $k_{л}$ – регіональний та локальний коефіцієнти впливу;

$$k_{рег} = \frac{\lambda_{сеп}^P}{\lambda_{сеп}}, \quad (3)$$

де $\lambda_{сеп}^P$ – середньостатистична інтенсивність аварій на магістральному газопроводі, розташованому у даному регіоні;

k_D – діаметральний коефіцієнт впливу

$$k_D = \frac{\lambda_{сеп}^D}{\lambda_{сеп}}, \quad (4)$$

де $\lambda_{сеп}^D$ – середньостатистична інтенсивність аварій на магістральному газопроводі, діаметр якого D .

Локальний коефіцієнт впливу враховує конкретні чинники, що створюють ризики небезпеки під час експлуатації магістральних газопроводів. Тоді локальна інтенсивність аварій на даній ділянці траси буде описуватися такою залежністю

$$\lambda_{л} = \lambda_{сеп} \cdot k_{внл}. \quad (5)$$

Оскільки локальний коефіцієнт відображає вплив на інтенсивність аварій конкретних чинників, то потрібно розробити спеціальну бальну систему, яка допоможе провести їх експертну оцінку.

Тому для розрахунку локального значення інтенсивності аварій на n -ій ділянці траси запропоновано формулу [4]:

$$\lambda_{л} = \lambda_{сеп} \cdot k_{рег} \cdot k_D \cdot \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J(i)} p_i \cdot q_{ij} \cdot B_{ij}}{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J(i)} p_i \cdot q_{ij} \cdot B_{ij}^{сеп}}, \quad (6)$$

де B_{ij} – бальна оцінка чинника впливу; p_i – частка i -тої групи чинника впливу; q_{ij} – частка j -тої групи чинника впливу в i -тій групі; $B_{ij}^{сеп}$ – бальна оцінка середньостатистичної по Україні ділянки магістральних газопроводів.

$B_{сеп}$ знаходимо за середніми по Україні значеннями $f_{ijсеп}$ кожного чинника впливу і відповідним їм бальним оцінкам $B_{ij}^{сеп}$.

При дослідженні аварійного ризику на вітчизняних магістральних газопроводах, виникають складності при визначенні $\lambda_{л}$, що пов'язані з

недостатньою кількістю коректних статистичних даних з аварійності магістральних газопроводів. Допускається використовувати аналогічні статистичні дані по магістральних газопроводах, що експлуатуються за подібних умов і мають подібні технічні характеристики. Якщо таких даних немає, то рекомендується дотримуватись логіки максимально консервативного підходу, приймаючи $\lambda_{сер} = 3 \cdot 10^{-4}$ 1/ (км·рік), а $k_{рег}$ взагалі не розраховувати.

Розрахунок за формулою (6) локальних значень інтенсивності аварій для кожної ділянки траси дасть змогу одержати розподіл питомої частоти аварій вздовж трубопроводу.

Висновки

Отже, вибір дослідження та оцінки аварійного ризику на магістральних газопроводах є надважливою ланкою у системі контролю та керування безпекою. Адже теоретичні дослідження ризику виникнення аварій чи аварійних ситуацій і його розрахунки є підґрунтям для розробки заходів щодо безпеки експлуатації газопроводів.

Таким чином, проведення теоретичного дослідження аварійного ризику на газопроводах вимагає напрацювань та впровадження певних заходів щодо їх запобігання та мінімізації наслідків. Тільки комплексне застосування методів оцінки ризику виникнення аварійних ситуацій дозволяє розробляти та обґрунтовувати ефективні заходи щодо підвищення безпеки їх експлуатації.

Література

1. Говдяк Р.М., Семчук Я.М., Чабанович Л.Б., Шелковський Б.І., Кривенко Г.М. Екологічна безпека нафтогазових об'єктів. 2007. 554 с.
2. Мандрик О.М. Прогнозування екологічного ризику при аварії на ділянці магістрального газопроводу (на прикладі Богородчанського району) *Екологічна безпека*. ІФНТУНГ. 2013. №1 (15). С. 59-63.
3. Говдяк Р.М. Підвищення ефективності магістральних газопроводів на пізній стадії експлуатації: автореф. дис. д-ра техн.наук: 05.15.13. ІФНТУНГ. Івано-Франківськ, 2008. 32 с.
4. Мазур И. И., Иванцов О.М. Безопасность трубопроводных систем. М.: ИЦ "ЭЛИМА", 2004. 1104 с.
5. Грудз В.Я. Керування режимами роботи магістральних газопроводів з використанням областей допустимих режимів і граничних енергозатрат. *Прикарпатський вісник НТШ. Число*. 2013. 1(21). С.159-170.
6. Kryvenko G., Semchuk Ya., Lialuk-Viter H., Steliga I., Ensuring the environmental safety of the oil pipelines operation. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*. 2019. Volume 6, No. 3.P. 483-492.
7. Шиян В.Д. Терористичні загрози та безпека трубопровідних систем ПЕК України. *Національна безпека*. 2009. Вип.3. С.38-42.
8. Алимов В.Т., Тарасова Н.П. Техногенный риск: Анализ и оценка. 2004. 118 с.

9. Михайлюк О.П., Олійник В.В. Ідентифікація об'єктів підвищеної небезпеки як складова забезпечення рівня техногенної безпеки. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. 2007. №4. С. 167-172.
10. Малоок М.В., Плис М.М. До питання ідентифікації небезпечних і шкідливих факторів та оцінювання ризиків на виробництві. *Хімія та сучасні технології*: Тези доповідей ІХ Міжнародної науково-технічної конференції, м. Дніпро: том 3.2019.С.30-31.

Стаття надійшла до редакційної колегії 09.10.2021 р.

THEORETICAL RESEARCH OF ACCIDENT RISK DURING OPERATION OF MAIN GAS PIPELINES

Ya. Semchuk, H. Lialiuk-Viter, G. Kryvenko

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas;
76019, Ivano-Frankivsk, Carpatska st., 15;
ph. +380 (0342) 72 71 58; e-mail: bzhd@nung.edu.ua*

The linear part of the gas pipelines is a potentially dangerous object and has a significant energy potential that can have a negative impact on the environment. Accident risk factors lead to failures of main gas pipelines. The purpose of the article is to study the accident risk during the operation of main gas pipelines. The sequence of risk analysis, the impact of accident risk factors that lead to failures of main gas pipelines are considered. The theoretical study of accident risk shows that its analysis is a complex task and consists of four stages: the principal potential hazards characteristic of the main gas pipelines are determined; analysis and quantitative assessment of possible consequences of predicted accidents are carried out; the intensity of probabilities of emergency events is calculated. Only the comprehensive application of methods for assessing the risk of accidents allows to develop and justify effective measures to improve the safety of their operation. The influence of technological and natural-climatic factors on the distribution of accident intensity is predicted. The calculation of local values of accident intensity for each section of the route will allow obtaining the distribution of the specific frequency of accidents along the pipeline.

Key words: *main gas pipeline, potential hazards, risk, assessment, accident, factor.*