

ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ НАФТОГАЗОВОГО КОМПЛЕКСУ

УДК 502.17

Мандрик О.М.*Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу***АНАЛІЗ ЕКОЛОГІЧНИХ НАСЛІДКІВ АВАРІЙ НА МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВОДАХ
ПРИ ЇХ ТРИВАЛІЙ ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

Під час аварій магістральних газопроводів основна частина екологічного збитку припадає на забруднення атмосферного повітря викидами природного газу або продуктами його згорання при вибухах і пожежах. При розгерметизації газопроводу відбувається викид газу в 90 % випадків через утворення свища у стінці труби діаметром 8 – 25 мм до моменту усунення витоку, а в 10 % випадків спостерігається повний розрив труби. Наведено формули для визначення радіусів безпечної зони при впливі ударної хвилі, зони руйнування та для оцінки зони ураження при розриві газопроводу на повний переріз.

Ключові слова: екологічна безпека, забруднення, аварія, вибух.

При авариях магистральных газопроводов основная часть экологического ущерба приходится на загрязнение атмосферного воздуха выбросами природного газа или продуктами его сгорания при взрывах и пожарах. При разгерметизации газопровода происходит выброс газа в 90% случаев из-за образования свища в стенке трубы диаметром 8 - 25 мм до момента устранения утечки, а в 10% случаев наблюдается полный разрыв трубы. Приведены формулы для определения радиусов безопасной зоны при воздействии ударной волны, зоны разрушения и оценки зоны поражения при разрыве газопровода на полное сечение.

Ключевые слова: экологическая безопасность, загрязнения, авария, взрыв.

When gas mains failures bulk of environmental damage accounts for air pollution emissions of natural gas or its combustion products of explosions and fires. When depressurization gas pipeline is released in 90% of cases due to the formation of a fistula in the wall of the pipe diameter of 8 – 25 mm until the leaks, and in 10% of cases there is a complete break pipes. Shows the formula for determining the radius safe zone when exposed to shock, fracture zone and to assess the damage area at rupture of the pipeline on the total cross section.

Keywords: ecological safety, pollution, accident, explosion.

Актуальність теми. Газотранспортна система України є однією із найпотужніших і найстаріших у Європі. Перспективною програмою розвитку газової промисловості України передбачається удосконалення структури споживання газу, впровадження ефективних заходів щодо енергозберігання, розширення і модернізація газотранспортної системи. Оскільки частка природного газу в загальному обсязі споживання первинної енергії держави перевищує 40 %, а транспортні обсяги можуть становити 120 млрд. м³ газу на виході з території України, то до безпеки функціонування газотранспортної системи ставляться жорсткі вимоги.

Розташовані на території України трубопровідні системи знаходяться у складному взаємозв'язку із навколишнім середовищем, який, як правило, носить негативний характер. Звідси випливає одна з основних задач: з однієї сторони, звести до мінімуму техногенну дію в період будівництва і особливо експлуатації та аварійних ситуацій магістральних газопроводів, з іншої – зменшити негативний вплив природних чинників на надійність та безпеку трубопровідних об'єктів [6]. Особливу небезпеку для

навколишнього середовища представляють випадки руйнування газопроводу із загоранням газу, що становить майже 10% від загальної кількості аварій. Внаслідок аварійного розриву газопроводу відбуваються такі небезпечні впливи на навколишнє середовище:

- розлітання осколків і фрагментів трубопроводу;
- повітряна ударна хвиля при перетворенні енергії стиснутого газу;
- горіння з термічним впливом (при загоранні викиду).

Виклад основного матеріалу. Сучасні магістральні газопроводи діаметром до 1400 мм з робочим тиском до 10 МПа і довжиною в тисячі кілометрів є вибухопожежо-небезпечними, відносний потенціал вибухонебезпеки перевищує 50. Їх руйнування пов'язані з великомасштабними екологічними збитками, в першу чергу через механічні та термічні пошкодження природного ландшафту. Маса викиду природного газу в разі аварій на магістральному газопроводі може перевищити 1100 т. Аварійний викид газу на одному магістральному газопроводі може викликати пошкодження сусідніх газопроводів внаслідок вибухової хвилі [1, 5, 8].

При гільйотинному руйнуванні магістральних газопроводів одним із основних антропогенних чинників є ударна хвиля, яка утворюється внаслідок вивільненого під тиском транспортованого газу, а також стиснених хвиль, які утворюються під час згорання газового шлейфа з розповсюдженням продуктів згорання. Ударна хвиля маючи великий запас енергії може руйнувати виробничі та цивільні будівлі, обладнання, техніку, а також складати загрозу життю людей та тварин. Для прикладу, при аварії на відстані 60 км від м. Уфа на продуктопроводі “Західний Сибір – Урало – Поволжя”, за оцінками фахівців, енергія вибуху вуглеводневої суміші становила 3000 т тротилового еквіваленту. У результаті ударною хвилею було повалено ліс на площі 2,5 км², а в радіусі 15 км були вибиті вікна та частково зруйновані дахи будівель [8].

Радіус безпечної зони (R_B) від впливу ударної хвилі при гільйотинному руйнуванні магістрального газопроводу, що супроводжується вибухом, визначається за формулою [2]:

$$R_B = K_B \cdot R_0, \quad (1)$$

де K_B – коефіцієнт, що характеризує дію вибуху на об'єкт (м/т), при цьому:

$$K_B = \begin{cases} 400, & \text{якщо будь-які пошкодження відсутні;} \\ 100, & \text{якщо пошкоджено заскління будинків;} \\ 30 \div 50, & \text{якщо повністю зруйновано заскління будинків} \\ \text{частково пошкоджено рами, двері, легкі перегородки;} \\ 15, & \text{якщо віддаль безпечна для незахищених людей} \\ & \text{(при проектуванні магістральних газопроводів),} \end{cases}$$

R_0 – радіус зони руйнування (м), визначається за формулами (1-3)

при $W_T < 5$ т:

$$R_0 = \frac{\sqrt[3]{W_T}}{\left[1 + \left(\frac{3,18}{W_T}\right)^2\right]^{1/6}}, \quad (2)$$

при $W_T > 5$ т:

$$R_0 = \sqrt[3]{W_T}, \quad (3)$$

де: W_T – тротиловий еквівалент, т.

Крім того, при гільйотинному розриві газопроводу великого тиску спостерігається розлітання шматків металу та фрагментів труб, оскільки під час руйнування трубопроводу енергія розширення газу витрачається на деформування труби, її руйнування, утворення первинних та вторинних осколків, тощо. Авторами [7], за результатами числового моделювання руйнування газопроводів з врахуванням частки енергії, витраченої на

утворення осколків, їх початкової швидкості та небезпечної висоти для ураження осколками людини (менш ніж 2,2 м), встановлено дві зони ураження осколками, утвореними при руйнуванні труби діаметром 1420 мм, заповненої природним газом під тиском 7,4 МПа. Так, понад 50 % усіх викинутих осколків падає ближче ніж 50 м, а дальність польоту решти – понад 200 м.

В роботі [10] запропонована формула для оцінки зони ураження при розриві магістрального газопроводу на повний переріз:

$$r = 99 \cdot D \cdot \sqrt{P_p}, \quad (4)$$

де: r – радіус зони ураження, м;

P_p – максимальний робочий (експлуатаційний) тиск, МПа;

D – зовнішній діаметр газопроводу, м.

Статистичний аналіз відмов та аварійних ситуацій [5], що відбуваються на магістральних газопроводах показав, що близько 10 % аварій супроводжуються значними екологічними та економічними збитками. При цьому, найбільша екологічна небезпека притаманна трубопроводам великого діаметру 1020 – 1420 мм. Утворення зони загазованості під час аварій у газотранспортній системі має дуже обмежені розміри, що викликане високою інтенсивністю витікання газу, його високою летючістю та малим часом витікання. При розгерметизації газопроводу відбувається викид газу в 90 % випадків через утворення свища у стінці труби діаметром 8 – 25 мм до моменту усунення витікання, а в 10 % випадків спостерігається повний розрив труби. У переважній більшості випадків джерелом займання є іскри, що утворюються при зіткненні фрагментів труби або ударів по трубі твердих частинок. Згідно з аналізом вітчизняних та зарубіжних статистичних даних [5, 9, 10] під час гільйотинного руйнування магістральних газопроводів пожежі виникають у 50-60% випадків. Імовірність загорання газу і сценарій самої пожежі значною мірою залежить від особливостей укладання трубопроводу у ґрунт та від положення осі труби щодо поверхні у місці розриву. У залежності від типу ґрунту можлива реалізація одного з двох сценаріїв витікання та горіння газу [4].

Характер розвитку аварії на транспортних магістралях стиснутого газу визначається особливостями руйнування газопроводу [5]. На газопроводах великого діаметру (більше 500 мм) внаслідок значного запасу енергії пружності в матеріалі труби при її розгерметизації розвивається тріщина, яка розповсюджується уздовж труби на десятки і сотні метрів з швидкістю близько 1000 м/с. При цьому критична довжина початкової тріщини, при якій починається розповсюдження в'язкого зламу уздовж труби, складає $L_{кр} = 0,260 - 0,275$ одного калібру (наприклад, для трубопроводу 508 мм критична довжина початкової тріщини складає 132 – 140 мм) [10]. Такий розвиток аварії супроводжується розривом трубопроводу на повне січення (рис. 1).

Руйнування трубопроводу за першим сценарієм відбувається у твердих та щільних ґрунтах типу глин, суглинків, глинистих сланців, гальки. При цьому у місці розриву (“розвальцювання” тіла труби) відбувається викид ґрунту та утворюється котлован діаметром 15 – 60 м. При цьому зсув осей непошкоджених ділянок газопроводу відсутній і витікання двох струменів газу, що утворилися, відбувається уздовж котловану назустріч один одному. Струмені, витікаючи із звуковою швидкістю, динамічно взаємодіють один з одним, внаслідок чого швидкість надходження природного газу в атмосферу значно зменшується і утворюється колонний шлейф газу, тобто спостерігається близьке до вертикального витікання та горіння газу.

В слабонесучих – торф'яних ґрунтах або заплавах річок (пісок, супісок) реалізується другий сценарій руйнування газопроводу. Тут можливе виривання труби з ґрунту завдяки силам інерції та розкидання кінців газопроводу у різні сторони не лише на ділянці безпосереднього руйнування, але й у прилеглий території. При цьому, відкриті кінці вирваного із землі трубопроводу можуть виявитись на поверхні ґрунту із зміщеними осями. Відповідно аварійне витікання газу та забруднення навколишнього середовища

найімовірніше буде відбуватися в у вигляді двох самостійних “настильних” струменів, що виходять з різних кінців розірваної газопровідної труби не взаємодіючи.



Рис. 1. Аварія з розривом трубопроводу на повне січення

Загорання газу є причиною термічного впливу на навколишнє середовище, який спричиняє значне порушення ґрунтово-рослинного покриву і є характерною особливістю техногенного впливу газопроводу. Радіус термічної дії, що визначає зону повного ураження природного рослинного покриву є в межах:

$$R_{\min} = 30 \text{ м} < R_{\text{т}} < R_{\max} = 600 \text{ м}, \quad (5)$$

а котлован в момент аварії газопроводу набуває максимальних значень $106 \text{ м} \times 30 \text{ м} \times 12 \text{ м}$ [5]. Середні значення радіуса термічної дії ($R_{\text{сер}}$), втрати газу (Q_2) та розміру котловану ($a \times b \times c$) для діючих газопроводів представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Наслідки аварійних ситуацій на газопроводах Росії [5]

Діаметр газопроводу, D , мм	Середній радіус термічної дії, $R_{\text{сер}}$, м	Втрати газу, Q_2 , млн.м ³	Розміри котловану ($a \times b \times c$), м
1420	288	13,9	65x40x10
1200	275	11,0	49x22x12
1020	244	7,3	106x30x12
820	240	2,8	60x15x4
720	195	2,3	35x12x5
530	150	2,2	28x15x4,5

Траса прокладання магістральних газопроводів включає лісові масиви, гірський ландшафт, степову, сільськогосподарську території, тощо. При прокладанні траси по лісовим масивам у них прорубуються просіки. Зрубана рослинність нерідко залишається

незібраною, розкиданою уздовж просік. Вона гниє, сприяє розмноженню червиць, захламлює ліс. Крім того, при аваріях на газопроводах виникає велика ймовірність лісових пожеж.

Якщо трубопроводи перетинають степову чи сільськогосподарську територію, то при аварії термічний вплив горючого газу викликає вигорання посівів на площах в сотні гектарів, інтенсивне порушення ґрунтово-рослинного покриву – знижується його біологічна продуктивність, порушується водний і температурний режим ґрунтів, їх зволоженість, виникають ерозії, заболочуваність. Під час аварій магістральних газопроводів основна частина екологічного збитку припадає на забруднення атмосферного повітря викидами природного газу або продуктами його згорання при вибухах і пожежах.

За результатами теоретичних досліджень [3] встановлені максимальні розміри забруднених зон атмосферного повітря, які не перевищують 250 – 800 м. Зокрема, при руйнуванні трубопроводу діаметром 1420 мм за першим сценарієм, розміри зони забруднення атмосферного повітря не перевищують 250 – 300 м. У випадку реалізації руйнування цього ж трубопроводу за другим сценарієм, коли утворюються два незалежних горизонтальних струменів газу, розміри зони забруднення атмосферного повітря досягають 600-800 м. Однак, у половині випадків під час витікання газу при гільйотинному руйнуванні магістральних газопроводів відбувається загорання газу на місці пошкодження. При цьому масштаби зони загазованості атмосферного повітря зменшуються.

Збитки від забруднення атмосфери визначаються згідно Постанови КМ України №1790 від 31.12.2004 року “Про внесення зміни до Порядку встановлення нормативів збору за забруднення навколишнього природного середовища і стягнення цього збору”. Виходячи з маси забруднюючих речовин, що розсіюються в атмосфері, всі аварійні викиди вважаються понадлімітними. Маса продуктів згорання природного газу визначають розрахунковим шляхом в залежності від питомих показників, що наведені у таблиці 2.

При аваріях на магістральних трубопроводах виділяється метан, який є парниковим газом і впливає на глобальне потепління. Так, ефект від дії 1 кг метану на часовому горизонті у 20 років еквівалентний потенціалу глобального потепління від 21 кг вуглекислого газу.

Таблиця 2

Розрахункова маса продуктів згорання

№№ ч/ч	Шкідлива домішка	Емісія при факельному горінні природного газу, кг/1000 м ³ газу
1	Оксид вуглецю	15,2
2	Оксид азоту	2,4
3	Метан	0,4

Крім того, коли повітря у зоні аварії є надмірно вологим, оксиди вуглецю чи азоту розсіюючись вітром, можуть утворювати кислоти, які випадаючи на землю, знищують рослинність та інші живі організми.

Висновки. Отже, оцінювання екологічних збитків при аваріях на магістральних газопроводах можна проводити після визначення кількості небезпечних речовин, зон дії вражаючих факторів аварій та ймовірностей ураження при різних сценаріях розвитку аварійних подій. Оцінювання екологічних наслідків аварій на магістральних газопроводах є основним підготовчим кроком до розрахунку показників екологічного ризику.

Література

1. Бабаджанова О. Ф. Фактори, що обумовлюють пожежну небезпеку лінійної частини магістрального газопроводу / О. Ф. Бабаджанова, Ю. Е. Павлюк, Ю. Г. Сукач // Пожежна безпека. – 2011. – № 18. – С. 27–34.
2. Бесчастнов М. В. Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение / М. В. Бесчастнов – М.: Химия, 1991. – 272 с.
3. Едигаров А. С. Математическое моделирование аварийного расчета и рассеивания природного газа при разрыве трубопроводов / А. С. Едигаров, В. А. Сулейманов // Математическое моделирование. – 1995. – Т. 7. – № 4. – С. 37-52.
4. Коротаев Ю. П. Добыча, транспорт и подземное хранение газа / Ю. П. Коротаев, А. И. Ширковский – М.: Недра, 1984. – 487 с.
5. Мазур И. И. Безопасность трубопроводных систем / И. И. Мазур, О. М. Иванцов – М.: Елима, 2004. – 1104 с.
6. Мандрик О.М. Розвиток наукових основ підвищення рівня екологічної безпеки при транспортуванні природного газу. Дис. на здобуття наукового ступеня д.т.н. – Івано-Франківськ, 2013.-245с.
7. Ориняк І. В. Ресурс, довговічність і надійність трубопроводів. Огляд сучасних підходів і проблем нормативного забезпечення в Україні / І. В. Ориняк, В. В. Розгонюк, В. М. Тороп [та ін.] // Нафтова і газова промисловість. – 2003. – № 4. – С. 54-57.
8. Седых А. Д. Анализ рисков при проектировании продуктопроводных систем повышенной опасности / А. Д. Седых // Газовая промышленность. – 2000. – № 4. – С. 53-57.
9. Gas pipeline incidents. 8th Report of the European Gas Pipeline Incident Data Group / D. van den Brand, R. Kenter. – Groningen: EGIG, 2011 – 43 p.
10. Pipeline safety: Pipeline integrity management in high consequence areas (gas transmission pipelines) // Federal Register. Pt II. – Department of Transportation. 2003. 68, N 18. P. 4315.

Поступила в редакцію 5 січня 2015 р.

УДК 502.17

**Зорін Д.О., Мацевич Х.О.,
Мекаме Нсо Мба Марлене Флор,
Палійчук Г. В., Редько А.І.,
Смоляк В. В., Сенюк Ю.В.**

*Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу*

ЕКОЛОГІЧНІ ВИМОГИ ПРИ РОЗВІДЦІ ТА ВИДОБУВАННІ «СЛАНЦЕВИХ ГАЗІВ» НА ПРИКАРПАТТІ

У статті розглянуті проблеми проектованої розвідки і розробки сланцевих газів на Олескій площі та запропоновані екологічні обмеження для безпечного видобування газів.

Ключові слова: екологічний аудит, водні ресурси, екологічний моніторинг, свердловина, громадські слухання, сталий розвиток.

В статье рассмотрены проблемы проектируемых разведки и разработки сланцевых газов на Олесской площади и предложены экологические органичения для безопасной дабычи газав.

© Зорін Д.О., Мацевич Х.О., Мекаме Нсо Мба Марлене Флор, Палійчук Г. В., Редько А.І.,
Смоляк В. В., Сенюк Ю.В., 2015