

шахтных печей / [Жигач С.И., Никольский В.Е., И.Н. Белоглазов, И.Н., Голубев В.О.] // Черные металлы. – 2006. – июль–август. – С. 28–33.

10. Никольский В.Е. Математические модели в практике разработки высокоэффективных шахтных печей для обжига карбонатных пород / В.Е. Никольский, С.И. Жигач, И.Н. Белоглазов, В.О. Голубев // Сб. тр. конф. «Промышленные печи и высокотемпературные реакторы». – СПб: «Руда и металлы», 2006. – С. 73–75.

11. Сэвидж С. Гравитационное течение несвязных гранулированных материалов в лотках и каналах / С. Сэвидж // Механика гранулированных сред: Теория быстрых движений. – М.: Мир, 1985. – С. 86–146.

12. Табунщиков Н.П. Производство извести / Н.П. Табунщиков. – М: Химия, 1974. – 239 с.

13. Ткач Г.А. Производство соды по малоотходной технологии / Г.А. Ткач, В.П. Шапорев, В.М. Титов. – Харьков: ХГПУ, 1998. – 429 с.

14. Gordon Y.M. New Technology and shaft furnace for high quality metallurgical lime production./ Gordon Y.M., Blank M.E., Madison V.V., Abovian P.R. // Proceedings of Asia Steel International Conference – 2003., April 9–12, 2003. – Jamshedpur, India, 2003. – Volume-1. – P.P. 1.b.1.1–1.b.1.6.

15. MAERZ, The Parallel Flow Regenerative Lime Kiln (PR-Kiln). – Zurich, Switzerland: Zement–Kalk–Gipsum, 1965. – 394 p.p.

*Поступила в редакцию 8 травня 2012 р.*

УДК 502/504

**Мандрик О.М.**

*Івано-Франківський національний технічний  
університет нафти і газу*

## **ЕКОЛОГІЧНІ ТА ЕКОНОМІЧНІ НАСЛІДКИ АВАРІЙ НА МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВОДАХ**

У роботі проведена оцінка екологічних та економічних наслідків аварій на магістральних газопроводах. Обґрунтовані характер і зони негативної екологічної дії вражаючих факторів аварій. Запропонована методика оцінки екологічних та економічних збитків при аваріях на магістральних газопроводах.

**Ключові слова:** екологічні наслідки, економічні збитки, газопроводи.

В работе проведена оценка экологических и экономических последствий аварий на магистральных газопроводах. Обоснованы характер и зоны отрицательного экологического воздействия поражающих факторов аварий. Предложена методика оценки экологических и экономических убытков при авариях на магистральных газопроводах.

**Ключевые слова:** экологические последствия, экономические убытки, газопроводы.

In this paper we evaluated environmental and economic consequences of accidents on pipelines. Grounded in nature and the zone of negative environmental factors spectacular crashes. The estimation of environmental and economic damage in accidents on the pipeline.

**Keywords:** environmental impacts, economic loss, gas.

**Актуальність проблеми.** Для забезпечення еколого-енергетичної безпеки України в умовах глобалізації світової економіки вкрай необхідним є розвиток екологічного контролю в індустрії використання природного газу. Перш за все – це запровадження системи екологічного моніторингу в галузі видобування і транспортування природного газу і, по-друге, організація постійного екологічного аудиту на об'єктах видобування, транспорту і використання газу.

© Мандрик О.М., 2013

Система газопостачання в Україні являє собою складну енергетичну систему, яка характеризується великою довжиною, значною потужністю, складною структурою, різним віком і станом магістральних газопроводів. Старіння газопроводів, велике число аварій, відмов та ушкоджені на лінійній частині ускладнюють процес технічної експлуатації газотранспортної системи (ГТС) та збільшують матеріальні витрати.

У цих умовах актуальним є питання підвищення безпеки та надійності функціонування газотранспортних систем з метою запобігання аварій, безперебійного постачання природного газу, зниження втрат та негативного впливу на навколошнє середовище. Причому екологічні проблеми та безпека при транспортуванні газу вимагають особливої уваги з обліком можливих катастрофічних наслідків аварій та несправностей.

**Виділення невирішених задач.** На території України розташовані штучно створені трубопровідні споруди, які знаходяться у складному взаємозв'язку із навколошнім середовищем. Як правило, взаємозв'язок трубопровідних комплексів та природного середовища 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.

Сучасні магістральні газопроводи діаметром до 1400 мм з робочим тиском до 10 МПа і довжиною в тисячі кілометрів є вибухопожежонебезпечними, руйнування яких пов'язані з великимасштабними екологічними збитками, в першу чергу через механічні та термічні пошкодження природного ландшафту.

Статистичний аналіз відмов та аварійних ситуацій [1–3], що відбуваються на магістральних трубопроводах, показав, що на газопроводах відбулося близько 10 %, а на нафтопроводах майже 18 % аварій із досить значними екологічними та економічними збитками. При цьому, найбільша екологічна небезпека притаманна трубопроводам великого діаметру 1000–1400 мм.

**Виклад основного матеріалу.** Характерною особливістю техногенного впливу газопроводу на навколошнє середовище є термічний вплив, який пов'язаний із загоранням газу, а також значне порушення ґрунтово-рослинного покриву. Радіус термічної дії, що визначає зону повного ураження природного рослинного покриву, складає [1]:

$$R_{\min} = 30 \text{ м} < R_t < R_{\max} = 600 \text{ м},$$

а котлован в момент аварії газопроводу набуває максимальних значень  $106 \times 56 \times 12$  м. Середні значення радіуса термічної дії  $R_{\text{сер.}}$ , втрати газу  $Q_2$  та розміру котловану ( $a \times b \times c$ ) для діючих газопроводів представліні в табл. 1.

Таблиця 1

#### Наслідки аварійних ситуацій на газопроводах

Діаметр газопроводу, D, мм	Середній радіус термічної дії, $R_{\text{сер.}}$ , м	Втрати газу, $Q_2$ , млн. м <sup>3</sup>	Розміри котловану ( $a \times b \times c$ ), м
1420	188	13,9	$65 \times 40 \times 10$
1200	275	11	$49 \times 22 \times 12$
1020	244	7,3	$160 \times 30 \times 12$
820	240	1,8	$60 \times 15 \times 4$
720	195	2,3	$35 \times 12 \times 5$
530	250	2,2	$28 \times 15 \times 4,5$

Під час руйнування магістральних газопроводів пожежі виникають у 50–60 % випадків. Джерелом загоряння газу є іскри, які виникають при зіткненні фрагментів труби або ударів по трубі твердих частинок ґрунту.

За даними [3], майже в половині випадків аварійного руйнування магістральних газопроводів загоряння газу відбувається безпосередньо на місці пошкодження. Масштаби впливу на навколошнє середовище і характер горіння газу залежать від таких основних чинників: діаметр трубопроводу та робочий тиск газу; густина ґрунту та властивості корінного масиву ґрунту; взаємне положення осей кінців труб.

На підземних газопроводах результат аварії та її вплив на навколишнє середовище залежить від двох основних факторів – стійкості ґрунту, в якому проходить газопровід, та імпульсу вивільної енергії і можливості спалаху газу.

Якщо газопровід прокладений у слабко несучому ґрунті (пісок, торф, супісок, болото), то при аварії може відбутися «виривання» газопроводу з ґрунту не лише на ділянці безпосереднього руйнування, але й у прилеглій території (рис.1).



**Рис. 1. Аварія газопроводу у слабко несучому ґрунті**

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 критичному режимі у вигляді двох струменів, що не взаємодіють.

Якщо газопровід прокладений у твердому ґрунті (глина, суглинок, глинисті сланці, галька), то при аварії відбувається ніби «розвальцовування» тіла труби на певній ділянці із викидом ґрунту над ним (рис. 2).



**Рис. 2. Аварія газопроводу у твердому ґрунті**

При цьому зсув осей непошкоджених ділянок газопроводу відсутній і витікання двох струменів газу відбувається уздовж траншеї (або котловану), що утворилися назустріч один одному. Струмені динамічно взаємодіють один з одним, витікаючи із звуковою швидкістю, внаслідок чого швидкість надходження природного газу в атмосферу значно зменшується і утворюється колонний шлейф газу.

Газ може спалахнути відразу після аварії або через деякий час.

У випадку запалювання газу відразу після розриву газопроводу характер горіння і негативний вплив на навколошнє середовище буде визначатися вищеописаними альтернативними руйнуваннями труби та витіканням газу.

У другому випадку ймовірна пожежа «колонного» типу з досить складною об'ємною конфігурацією полум'я.

Магістральні трубопроводи прокладаються і по лісним масивам. У процесі будівництва в лісах прорубуються просіки, які при неминучих перетрасуваннях і уточненнях проектних рішень часто переміщаються. Зрубана рослинність нерідко залишається незібраною, розкиданою уздовж просік. Вона гніє, захламлює ліс, сприяє пожежам і розмноженню червиць. Велика ймовірність лісових пожеж виникає і при аваріях на газопроводах.

Якщо трубопроводи перетинають степову чи сільськогосподарську території, то аварії при термічному впливі горючого газу викликають вигорання посівів на площах у 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 згоряння при вибухах і пожежах (табл. 2). 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 навколошнього природного середовища і стягнення цього збору», виходячи з маси забруднюючих речовин, що розсіюються в атмосфері, причому всі аварійні викиди вважаються понадлімітними. Маси продуктів згоряння природного газу визначають розрахунковим шляхом в залежності від наступних питомих показників (табл. 2).

Таблиця 2

#### Забруднення атмосферного повітря природним газом при вибуках і пожежах

№	Шкідлива домішка	Емісія при факельному горінні природного газу, кг/1000 м <sup>3</sup> газу
1	оксид вуглецю	15,3
2	оксид азоту	2,3
3	метан	0,4

Максимальні розміри забруднених зон атмосферного повітря не перевищують 250–600 м. Проте, майже в половині випадків під час витікання газу за відмови магістральних газопроводів відбувається загоряння газу на місці пошкодження, при цьому масштаби загазованості атмосферного повітря зменшуються. Але якщо оксиди вуглецю чи азоту розсіюються вітром з надмірною вологістю повітря, то можуть утворюватись кислоти, які випадаючи на землю, знищують рослинність та інші живі організми.

При аваріях на магістральних трубопроводах виділяється метан, який є парниковим газом і може впливати на глобальне потепління. Так, 1 кг метану на часовому горизонті в 20 років еквівалентний потенціалу глобального потепління від 21 кг вуглекислого газу. Тому необхідно знати основні характеристики та фізико-хімічні властивості природного газу, які визначають характер і зону негативної екологічної дії вражаючих факторів аварій на газопроводах (табл. 3) [4].

Отже, оцінку екологічних та економічних 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. Для оцінки збитків використовуються інформаційні матеріали фінансового характеру.

Таблиця 3

## Характеристики природного газу

№ з/п	Параметр	Характеристика параметра
1.	Назва речовини (суміші) <i>хімічна торгова</i>	Газ природний (метан – вище 90 % об.) Газ природний
2.	Формула	$\text{CH}_4$ +сліди $\text{C}_2\text{H}_6$ , $\text{C}_3\text{H}_8$ , $\text{CO}_2$ , $\text{N}_2$
3.	Склад, % - основний продукт - домішки	Метан 98-99 Етан 0,07-0,4 Пропан 0,07-0,1 $\text{CO}_2$ 0,02-0,29 Азот 0,74-1,28
4.	Загальні дані - молекулярна вага - температура кипіння, $^{\circ}\text{C}$ (при тиску 101 кПа) - щільність при $20^{\circ}\text{C}$ , $\text{кг}/\text{м}^3$	16,1 -160 0,677
5.	Дані про вибухопожежонебезпечність - температура спалаху - температура самозапалювання - межі вибуховості	- $537^{\circ}\text{C}$ (метан) 5–15 % (у суміші з повітрям)
6.	Дані про токсичну небезпеку - ГДК у повітрі робочої зони - ГДК в атмосферному повітрі - летальна токсодоза LD50 - порогова токсодоза PD50	Відноситься до 4-го класу небезпеки 300 $\text{мг}/\text{м}^3$ 50 $\text{мг}/\text{м}^3$ (ОБЗР) не регламентується -“-
7.	Реакційна здатність	У хімічні реакції в робочих умовах не вступає
8.	Запах	Не має запаху без одоранту
9.	Корозійний вплив	Корозійна активність низька
10.	Запобіжні заходи	На території компресорних цехів і на трасі газопроводу необхідно уникати джерел відкритого вогню, якщо тільки їхня наявність не пов’язана із проведенням дозволених вогневих робіт. У приміщеннях необхідно стежити за справністю систем вентиляції й газоаналізаторів.
11.	Ознаки впливу на людей	Головні небезпеки пов’язані: з можливим витоком і спалахом газу з подальшим впливом теплової радіації на людей; з можливою задухою при 15–16%-му зниженні вмісту кисню в повітрі
12.	Засоби захисту	Спеціальних індивідуальних засобів захисту в компресорному цеху й на трасі не потрібно
13.	Методи переходу речовини в нешкідливий стан	Враховуючи малотоксичність природного газу, хімічні методи не передбачені. За витоку газу в приміщеннях цехів вмикається аварійна вентиляція
14.	Заходи першої допомоги потерпілим від впливу речовини	У випадку задухи слід винести потерпілого на відкрите повітря, викликати медичного працівника. Давати з перервами (3-4 подушки в годину) кисень. При зупинці дихання необхідно негайно застосувати штучне дихання до відновлення природного.

Структура збитків від аварій на магістральних газопроводах, зазвичай, включає: повні фінансові збитки організації, що експлуатує небезпечний виробничий об'єкт (ОПН), на якому відбулась аварія; витрати на ліквідацію аварії; соціально-економічні витрати, пов'язані із травмуванням і загибеллю людей (як персоналу так і третіх осіб); шкоду, завдану навколошньому природному середовищу; непрямий збиток і втрати держави внаслідок втрати ресурсів.

Загалом економічний збиток від аварій За (грн.) можна записати у вигляді формули (1):

$$\text{За} = \text{Зпр} + \text{Зп.а} + \text{Зсоц} + \text{Знепр} + \text{Зекол} + \text{Зв.т.р.}, \quad (1)$$

де Зпр. – прямі збитки організації, що експлуатує газопровід;

Зп.а. – витрати на локалізацію і розслідування аварії;

З соц. – соціально-економічні втрати внаслідок загибелі і травмування людей;

Знепр. – непрямий збиток;

Зекол. – екологічні збитки (шкода, нанесена навколошньому природному середовищу);

Зв.т.р. – збитки від вибуття трудових ресурсів внаслідок загибелі людей або втрати ними працевдатності.

При цьому екологічний збиток визначається за формулою (2):

$$\text{Зекол} = \text{За} + \text{Зв} + \text{Зз} + \text{Зб}, \quad (2)$$

де За. – збитки від забрудненої атмосфери;

Зв. – збитки від забруднення водних ресурсів;

Зз. – збитки від порушення земель;

Зб. – збитки, зумовлені знищеннем біологічних (у тому числі лісових) ресурсів.

Збиток від забруднення водних ресурсів найчастіше пов'язаний з аваріями на підводних переходах МГ – при аварійно-відбудовних роботах у водоймі може збільшитися мутність води, що несприятливо позначиться на гідробіонтах. При цьому збитки слід вважати рівними рибогосподарським збиткам від будівництва підводного переходу.

Збитки від руйнування земель рекомендується визначати на підставі відповідних нормативів для різних видів земельних угідь (рілля й багаторічні насадження, сіножаті чи пасовиська).

Збитки, завдані біоресурсам – це переважно площа вигорілих лісів і культурних насаджень. Тому обчислення виконують виходячи із прогнозованої площи лісової пожежі та коефіцієнтів продуктивності лісових угідь.

**Висновки.** Отже, оцінка екологічних та економічних наслідків аварій на магістральних газопроводах є основним підготовчим кроком до розрахунку показників екологічних ризиків.

### Література

1. Мазур И.И. Безопасность трубопроводных систем / И.И. Мазур, О.М. Иванцов. – М.: ИЦ «ЕЛИМА», 2004. – 1104 с.
2. Говдяк Р.М. Енергоекологічна безпека нафтогазових об'єктів / Р.М. Говдяк, Я.М. Семчук, Л.Б. Чабанович, Б.І. Шелковський, Г.М. Кривенко. – Івано-Франківськ: Лілея-НВ, 2007. – 554 с.
3. Маэр Н. Н. Конструктивная надежность и экономическая безопасность трубопроводов / Н.Н. Маэр, О.М. Иванцов, О.И. Молдаванов. – М.: Недра. – 263 с.
4. Говдяк Р. М. Кількісний аналіз аварійного ризику газотранспортних об'єктів підвищеної небезпеки / Р.М. Говдяк, Ю.М. Коснірев. – Львів, 2007. – 128 с.

*Поступила в редакцію 20 липня 2012 р.*

*Рекомендував до друку д.т.н. Я.М. Семчук*