

УДК 504.61

## ПРОГНОЗУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ ПРИ АВАРІЇ НА ДІЛЬНИЦІ МАГІСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДУ ( НА ПРИКЛАДІ БОГОРОДЧАНСЬКОГО РАЙОНУ )

**О. М. Мандрик**

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна, ief@nung.edu.ua тел.(03422) 4-21-83

Проведено дослідження екологічного стану приземного шару повітря Богородчанського району на основі побудованих карт розповсюдження концентрацій шкідливих речовин, коефіцієнтів концентрації, коефіцієнтів екологічної небезпечності та карти сумарного показника забруднення. Створена загальна схема екологічного ризик-аналізу об'єктів транспортування природного газу. Розглянуто методику розрахунку зони детонації та дальності розповсюдження хмари вибухонебезпечної суміші при аварії на магістральному газопроводі. Проведені розрахунки зони детонації і відстані розповсюдження хмари вибухонебезпечної суміші за різних швидкостей вітру. Зона можливого розповсюдження вибухонебезпечної суміші зображена на топографічних картах та зроблено висновки.

**Ключові слова:** екологічний ризик, газопровід, зона детонації, вибухонебезпечна суміш, карти.

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ПРИ АВАРИИ НА УЧАСТКЕ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ (НА ПРИМЕРЕ БОГОРОДЧАНСКОГО РАЙОНА)

**О. М. Мандрюк**

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
вул. Карпатська, 15, г. Івано-Франківськ, 76019, Україна, ief@nung.edu.ua тел. (03422) 4-21-83

Проведені дослідження екологічного стану приземного шару повітря Богородчанського району на основі побудованих карт розповсюдження концентрацій шкідливих речовин, коефіцієнтів концентрації, коефіцієнтів екологічної небезпечності та карти сумарного показника забруднення. Створена загальна схема екологічного ризик-аналізу об'єктів транспортування природного газу. Розглянуто методику розрахунку зони детонації та дальності розповсюдження хмари вибухонебезпечної суміші при аварії на магістральному газопроводі. Проведені розрахунки зони детонації і відстані розповсюдження хмари вибухонебезпечної суміші за різних швидкостей вітру. Зона можливого розповсюдження вибухонебезпечної суміші зображена на топографічних картах та зроблено висновки.

**Ключевые слова:** экологический риск, газопровод, зона детонации, взрывоопасная смесь, карты.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** 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 використання природного газу і, по-друге, – організація постійного екологічного контролю на об'єктах транспорту та використання газу.

Газотранспортна система України є другою за розмірами в Європі після Росії, що складається з мережі газопроводів загальною довжиною понад 38,5 тис. км (діаметр труб 1020–1420 мм), 73 компресорних станцій і 13 підземних сховищ газу з активним об'ємом газу 32 млрд. м<sup>3</sup>. Пропускна спроможність системи на вході становить 290 млрд. м<sup>3</sup> газу на рік, а на виході – 176 млрд. м<sup>3</sup> на рік.

Суттєвий розвиток трубопровідна система України отримала в Івано-Франківській області. Зокрема, на території області прокладені і транспортують газ великі магістральні газопроводи «Союз», «Прогрес», «Уренгой – Помари – Ужгород», «Ананьів – Чернівці – Богородчани», «Торжок – Долина» та інші. Вищезгадані газопроводи мають високий рівень зносу, тому існує велика небезпека виникнення аварійних

ситуацій. Одним із важливих газотранспортних вузлів на Прикарпатті є Богородчанський.

Богородчанський газотранспортний вузол обраний не випадково, а через те, що на порівняно невеликій території (Богородчанського, північна частина Надвірнянського, незначні частини Калузького, Тисменицького та Рожнятівського адміністративних районів Івано-Франківської області) функціонують всі технологічні складові системи магістральних газопроводів: компресорні станції, газорозподільні станції, підземне сховище природного газу та розгалужена мережа лінійних магістральних трубопроводів. Тому технічний комплекс Богородчанського газотранспортного вузла взаємодіє з геоекосистемами Прикарпаття, утворюючи складну природно-антропогенну геоекосистему. Досліджуючи динаміку розвитку цієї системи, можна моделювати та прогнозувати різні варіанти функціонування геоекосистем у зонах впливу небезпечних техногенних об'єктів, визначати їх негативний екологічний вплив, ситуацію та ризики, регулюючи безпеку і межі екологічних та економічних параметрів, які забезпечать сталий розвиток унікальних геоекосистем Прикарпаття та України загалом.

**МАТЕРІАЛІ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** Аналіз екологічного стану приземного шару повітря Богородчанського району проводився на

основі побудованих карт розповсюдження концентрацій шкідливих речовин, коефіцієнтів концентрації, коефіцієнтів екологічної небезпечності та карти сумарного показника забруднення. Найкращим показником для оцінки екологічного стану атмосферного повітря є опади у вигляді снігу, тому нами під керівництвом професора Адаменка О.М. проведено аналіз розповсюдження важких металів у сніговому покриві та отримано комплексну карту сучасної екологічної ситуації (рис. 1).



Рисунок 1 – Комплексна карта сучасної екологічної ситуації Богородчанського вузла

Аналізуючи стан атмосферного повітря взагалом можна зробити висновки, що:

- відсотковий вміст кисню в повітрі магістральних газопроводів зменшився, у деяких місцях до 20,175 %. Особливо таке зменшення спостерігається у західній частині району дослідження, де найбільш густа мережа газопроводів. Найбільший вміст кисню в атмосферному повітрі у південно-західній та північно-східній частинах, тому що вони віддалені від трубопроводів;

- вміст чадного газу найбільший в місцях, де найменша концентрація кисню, і в цих же ділянках виявлено дещо вищий вміст вуглекислого газу, а найбільша його концентрація на заході – в районі с. Міжгір'я;

- $\text{NO}_x$  і  $\text{SO}_x$  мають взаємопосилуючу дію;

- найбільш забруднене повітря виявлено вздовж магістральних газопроводів, особливо у західній частині території вузла, де найбільш густа мережа їх прокладання. Межі ділянок з аномальними значеннями майже співпадають, тому сніговий покрив найбільш забруднений в таких місцях: у західній частині біля с. Ловаги, на півдні – у с. Старуня та її околицях, на сході – с. Липівка. Особливо значне забруднення атмосферного шару виявлено між смт. Богородчани і с. Похівка на території управління магістральними газопроводами.

У сніговому покриві нами були виявлені закономірності розповсюдження таких важких металів, як мідь, цинк, свинець. Ділянки з

концентраціями, що відмінні від нуля, виявлені в місцях із пересіченою місцевістю на заході в с. Ловаги – це одночасно пояснює і забруднення важкими металами в цій точці – результат транскордонних переносів. Крім важких металів, що виявлені в сніговому покриві, які потрапили з атмосферного повітря, проводився аналіз розповсюдження інших сполук: вуглекислого газу, чадного газу, оксидів азоту та сірки, пилу, бензину, ацетону та кисню. Ареали розповсюдження цих забруднювачів співпадають з розсю вітрів для досліджуваної території. Виявлено також основну закономірність досліджень – високі концентрації забруднювачів на ділянках із густою мережею автодоріг, котельень та поблизу об'єктів транспортування природного газу.

Відомо, що природний газ метан також негативно впливає на життєдіяльність людини, оскільки має наркотичну і токсичну дію. У рамках проблеми, яку ми розглядаємо, певний інтерес становить вплив рівня загазованості внаслідок руйнування магістрального газопроводу. Розрахунки [1, 2] показали, що максимальні розміри забруднення зон атмосферного повітря не перевищують 250–300 м. Дана відстань може збільшуватись залежно від діаметра газопроводу та напрямку витікання струменя газу при його розгерметизації. Майже у половині випадків при цьому відбувається спалахування газу на місці пошкодження, тоді масштаби загазованості атмосферного повітря зменшуються.

Отже, трубопровідний транспорт негативно впливає на середовище його прокладання. Тому головне завдання щодо захисту навколишнього середовища зводиться до зменшення техногенного впливу під час будівництва і експлуатації газопроводів, а, з іншого боку, – необхідно зменшити негативний вплив природних чинників на їх безпеку та надійність. Для вирішення поставленої задачі використано методи екологічного ризик-аналізу [3, 4].

Загальну схему екологічного ризик-аналізу об'єктів транспортування газу можна подати у такому вигляді:

- ідентифікація ризику;
- виявлення джерела ризику;
- визначення факторів екологічного ризику;
- визначення реципієнтів ризику;
- управління ризиком.

Основні фактори екологічного ризику аварій на газопроводах можна поділити на дві групи – техногенні та природні. До техногенних відносять дефекти труб, помилки монтажу, недотримання профілю і плану траншеї для прокладання газопроводу, різні пошкодження під час земляних робіт та ін. Для зменшення таких факторів необхідно суворо дотримуватись технологічної дисципліни та вчасно проводити контролюючі діагностичні заходи.

До природних факторів відносять корозія різних видів і механічна дія ґрунтів. Інтенсивність

цих процесів характеризується регіональними особливостями території. Найбільш важливі з них – температура і вологість ґрунту, які залежать від морфологічних характеристик рельєфу.

Лінійна частина газопроводів є потенційно небезпечним об'єктом і має значний енергетичний потенціал, здатний негативно впливати на навколишнє середовище. Тому значення має вирішення проблеми щодо зонування території в межах проходження траси та прогнозування параметрів небезпечних зон для населення і територій [5]. При виборі методів оцінки ризику виникнення аварій на магістральних газопроводах необхідно звернути увагу на картографічні та модельні. Імітаційне моделювання дозволяє не тільки оперативного прогнозувати, але й розробляти рекомендації щодо зменшення ризику та ліквідації наслідків надзвичайних аварійних ситуацій [2, 3].

Розглянемо методику розрахунку зони детонації та відстані розповсюдження хмари вибухонебезпечної суміші під час аварії на магістральному газопроводі. Необхідно врахувати, що аварії при розгерметизації газопроводів супроводжуються процесами витікання газу до спрацювання запірної арматури, закриття запірної арматури, витікання газу з аварійної ділянки газопроводу, яка відсічена арматурою. У місцях пошкодження відбувається витік газу під високим тиском в навколишнє середовище (рис. 2).



Рисунок 2 – Місце ліквідації аварії магістрального газопроводу Долина – БільчеВолиця

Внаслідок розгерметизації газопроводу метан піднімається в атмосферу, а інші гази та їх суміші осідають в приземному шарі. Змішуючись з повітрям гази утворюють хмару вибухонебезпечної суміші. Як свідчить статистика, майже 80 % аварій супроводжуються пожежами та вибухами. Пожежовибухова небезпека виникає уже тоді, коли концентрація метану в повітрі перевищує 5 % за об'ємом. Вибухове горіння під час аварій на газопроводах відбувається за одним із двох режимів – дефлеграційним або детонаційним. Під час оперативного прогнозування приймається, що процес розвивається у детонаційному режимі [6].

Відстань, на яку розповсюджується хмара вибухонебезпечної суміші в напрямку вітру, визначається за емпіричною формулою [7]:

$$L = 25\sqrt{M/V}, \quad (1)$$

де  $M$  – масовий секундний розхід газу, кг/с; 25 – коефіцієнт пропорційності;  $V$  – швидкість вітру, м/с.

При цьому межа зони детонації радіусом  $r_0$  у результаті витоку газу у випадку розгерметизації газопроводу визначається як:

$$r_0 = 12,5\sqrt{M/V}. \quad (2)$$

Масовий секундний розхід газу  $M$  із газопроводу для критичного режиму витоку, коли основні його параметри (витрата та швидкість витоку) залежать тільки від параметрів розгерметизованого трубопроводу, розраховується за виразом:

$$M = \psi \cdot F \cdot \mu \sqrt{P_r/V_r}, \quad (3)$$

де  $\psi$  – коефіцієнт, який враховує розхід газу від стану витоку (для звукової швидкості витоку  $\psi = 0,7$ );  $F$  – площа отвору витоку, яка приймається рівною площі січення трубопроводу, м<sup>2</sup>;  $\mu$  – коефіцієнт розходу газу, який враховує форму отвору (для розрахунків приймається рівним 0,8);  $P_r$  – тиск газу в газопроводі, Па;  $V_r$  – питомий об'єм транспортованого газу, який визначається з рівняння:

$$V_r = R_0 \frac{T}{P_r}, \quad (4)$$

де  $T$  – температура транспортованого газу, К;  $R_0$  – питома газова стала, яка визначається за даними часткового вмісту газу  $q_k$  і молярних мас компонентів суміші із співвідношення:

$$R_0 = 8314 \sum_{k=1}^n \frac{q_k}{m_k}, \quad (5)$$

де 8314 – універсальна газова стала, Дж/(кмоль · К);  $m_k$  – молярна маса компонентів, кг/кмоль;  $n$  – кількість компонентів.

При прогнозуванні наслідків аварій на газопроводі зону детонації приймаємо з урахуванням напрямку вітру, що межа зони детонації розповсюджується від трубопроводу у напрямку вітру на відстань  $2r_0$ . У випадку завчасного прогнозування зона детонації розповсюджується у вигляді смуг вздовж трубопроводу шириною  $2r_0$  із кожного боку. Це пов'язано з тим, що хмара вибухонебезпечної суміші може розповсюджуватись у будь-який бік від трубопроводу, що залежить від напрямку вітру.

Для розрахунків температуру транспортуемого газу приймаємо 40°C. Вміст звичайного газу за відсутності даних може прийматися у співвідношенні: метан – 90 %, етан – 4 %, пропан – 2 %, Н-бутан – 2 %, ізопентан – 2 % [7].



Зону можливого розповсюдження вибухонебезпечної суміші на топографічних картах показують у вигляді кола, півкола або сектора. Центр кола, півкола або сектору збігається з місцем розгерметизації газопроводу (вибрано довільно):

1. За прогнозованої швидкості вітру 0,5 м/с зона детонації має вигляд кола радіусом  $r_0$ .

2. За прогнозованої швидкості вітру 0,6–1 м/с зона детонації має вигляд півкола. Кут ділянки дорівнює  $180^\circ$ , бісектриса кута збігається з віссю розповсюдження хмари і орієнтована у напрямку вітру.

3. За прогнозованої швидкості вітру більше 1 м/с зона детонації має вигляд сектора радіусом  $2r_0$ . За швидкості вітру 1,1–2 м/с кут сектора дорівнює  $90^\circ$ , а за швидкості більше 2 м/с –  $45^\circ$ .

Згідно з наведеною вище методикою були проведені розрахунки зони детонації і дальності розповсюдження хмари вибухонебезпечної суміші за різних швидкостей вітру, в результаті чого отримано:

- при 0,4 м/с:  $L= 4325$  м ;  $r_0= 2162,5$  м;
- при 0,8 м/с:  $L= 3075$  м ;  $r_0= 1537,5$  м;
- при 3 м/с:  $L= 1581$  м ;  $r_0= 787,5$  м.

Картографічне моделювання отриманих результатів проводилось із застосуванням програмного продукту MapInfo 85 Professional.

За допомогою програмного забезпечення на модельну ділянку були накладені хмари вибухонебезпечних сумішей, радіус яких були нами розраховані вище (рис. 3).

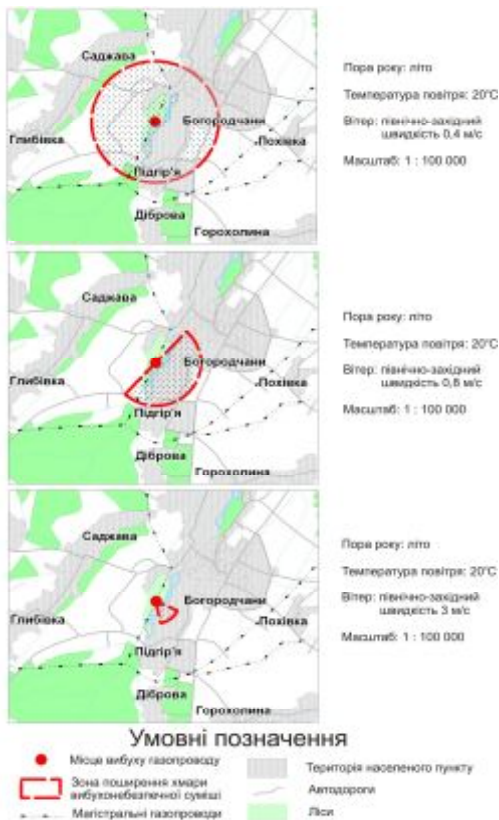


Рисунок 3 – Модельна ділянка розповсюдження хмари вибухонебезпечних сумішей

Для відтворення зони детонації для швидкості 0,4 м/с було намальоване коло радіусом  $r_0$ , для швидкості 3 м/с – сектор (кут  $45^\circ$ , радіус  $2r_0$ ), для швидкості 0,8 м/с – півколо радіусом середнього значення  $r_0$  і  $2r_0$ .

Проаналізувавши отримані результати, можна зробити висновок про те, що при даному напрямку вітру під час аварії на газопроводі до зони розповсюдження хмари вибухонебезпечної суміші потрапляє велика частина населеного пункту (м. Богородчани), в якому проживає близько 10 тис. жителів, а також транспортні автомагістралі.

Випадок завчасного прогнозування, в якому не враховується напрямок вітру відображений на рис. 4.



#### Умовні позначення

- Місце вибуху газопроводу
- Територія населеного пункту
- Зона поширення хмари вибухонебезпечної суміші
- Автодороги
- Магістральні газопроводи
- Ліси

Рисунок 4 – Моделювання зони детонації за можливої розгерметизації газопроводу

Зона детонації визначається у вигляді буферної зони вздовж всього газопроводу шириною  $2r_0$  у кожен бік. У прогнозовану зону детонації, крім великої частини м. Богородчан, потрапляють села Похівка, Підгір'я, Саджава, Діброва та Глибівка.

**ВИСНОВКИ.** Використання картографічного та модельного методів оцінки впливу зони детонації і дальності розповсюдження хмари вибухонебезпечної суміші під час аварій на магістральних газопроводах дозволяє здійснювати прогноз й допомагає розробити рекомендації щодо зниження ризику виникнення небезпечних ситуацій. Це, в свою чергу, дасть змогу зменшити наслідки негативного впливу на навколишнє середовище, інфраструктуру, а також не допустити людські втрати.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Едигаров А.С. Математическое моделирование аварийного истечения и рассеивания природного газа // Математическое моделирование. – 1995. – Т.7, № 4. – С. 37–52.
2. Екологічна безпека нафтогазових об'єктів / Говдяк Р.М., Семчук Я.М., Чабанович Л.Б. и др. – 2007. – 554 с.
3. Екологічні ризики, збитки та раціональні межі використання надр в Україні / Довгий С.О.,

Коржнев М.М., Ляшенко О.І., Яковлев Є.О. 2012. – 316 с.

4. Седых А.Д. Анализ рисков при проектировании продуктопроводных систем повышенной опасности // Газовая промышленность. – 2000. – №4. – С. 53–57.

5. Бородавкин П.П. Механика грунтов в трубопроводе транспорте. – М.: 1986. – 62 с.

6. Hoff A.M. An Experimental Study of the Ignition of Natural Gas in a Simulated Pipeline Rupture // Combustion and Flame. –1993. –V. 49 – PP. 51–55.

7. Губський А.І. Цивільна оборона: Підручник для вищих учбових закладів. – К.: Міністерство освіти, 1995. – 216 с.

## FORECASTING ENVIRONMENTAL RISK OF ACCIDENT STATIONS OF GAS MAINS

### O. Mandryk

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

vul. Carpathian, 15, Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine. E-mail: ief@nung.edu.ua

The research of ecological condition of the ground layer of air is being done in Bogorodchani district on the basis of the constructed maps which represent distribution of harmful matters concentrations, its coefficients and also the coefficients of ecological danger, the map of total contaminating index. General chart of ecological risk is represented here. Analysis of objects for transporting gas is made particular. The method of area detonating calculation and distance of mixture explosive cloud distribution is considered during the damage at the main gas pipeline. Area detonating calculations and distance of mixture explosive cloud distribution are conducted at different wind speeds. The area of possible distribution of explosive mixture is represented on topographical maps and the conclusions are made.

**Keywords :** ecological risk, gas pipeline, area of detonation, explosive mixture, cards.

### REFERENCES

1. Edigarov A. Mathematical modeling of accidental discharge and dispersion of natural gas // Mathematical modeling. 1995. –v.7, № 4. – P.37–52. [in Russian]

2. Environmental safety of oil and gas facilities. Hovdyak R., Semchuk J., Chabanovich L., Shelkovsky B., Krivenko G. 2007. – 554 p. [in Ukrainian]

3. Environmental risks, damages and reasonable limits on the use of mineral resources in Ukraine. Long, S., Korzhnev MM, Liashenko A., Yakovlev, E. 2012. – 316 p. [in Ukrainian]

4. Sedyh A. Risk analysis in the design of product pipeline systems high risk. Sedyh A. // Gas industry. – 2000. – № 4. – P.53–57. [in Russian]

5. Borodavkin P. Soil Mechanics in pipeline transportation. Borodavkin P. – М.: 1986. –62. [in Russian]

6. Hoff A.M. An Experimental Study of the Ignition of Natural Gas in a Simulated Pipeline Rupture / Combustion and Flame. 1993. Y. 49 – P. 51–55.

7. Gubsky AI Civil defense:Textbook for universities / A. Gubsky. – К.: Ministry of Education, 1995. – 216 p. [in Ukrainian]

Стаття рекомендована до друку д.т.н., проф. Адаменком Я.О.