

УДК 622.691.4

## ОСНОВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ КОНЦЕПЦІЇ НАДІЙНОСТІ МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВОДІВ

*Р.М. Говдяк*  
ВАТ "Укргазпроект", Київ

*Я.М. Семчук, Д.Ф. Тимків*  
ІФНТУНГ, 76019 м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15

*Рассмотрены основные направления концепции уменьшения влияния магистральных газопроводов на окружающую среду. Приведены методические указания по обеспечению надежности линейной части нефтегазопроводов.*

*The main trends of diminution conceptions of the influence of gas-mains on environment have been examine. The methodical instructions on insurance of safety of the line part of oil and gas pipelines have been tested.*

Одним із напрямків перспективного розвитку газового комплексу України є впровадження науково-технічних розробок і певного досвіду забезпечення надійності трубопровідного транспорту газу з метою зменшення кількості їх відмов.

Проблему забезпечення безпеки експлуатації магістральних газопроводів неможливо розглянути окремо від процесів реформування суспільства загалом, а також від змін соціально-економічних умов країни.

Прагнення України вступити в Раду Європи, прийняття Декларації прав людини, а також впровадження цілої низки законів у напрямку технологічної і екологічної безпеки вимагають підвищеної відповідальності від підприємств нафтогазової галузі у питаннях, що пов'язані із забезпеченням і компенсацією шкоди при аваріях на газопроводах.

Практика проектування магістральних нафтогазопроводів, з точки зору безпеки, зужується лише до формального додержання нормативних розривів між трасою і іншими об'єктами інфраструктури регіону. Але, як показав аналіз крупномасштабних аварій на трубопровідних системах, за останнє десятиріччя суворе дотримання так званих "протипожежних" розривів згідно з нормативних документам [1] не завжди забезпечує безпеку.

Питання управління безпекою має базуватися лише на кількісному вимірюванні небезпеки з використанням критеріїв екологічної небезпеки методології ризику. Ймовірність аварій, об'єднана з можливими наслідками, і складає величину ризику. Ця величина надалі може бути вивчена за своєю структурою або

співставлена з іншими ризиками, існуючими в суспільстві, для вироблення оптимальної стратегії із забезпечення охорони навколишнього середовища та безпеки людей.

Важливо відзначити, що небезпека за своєю суттю є потенційна, тоді критерії екологічної небезпеки та ризику мають лише конкретний зміст. А тому оцінка і їх аналіз повинні виконуватися з урахуванням конкретного просторово-тимчасового розподілу по території факторів потенційної небезпеки, а також інженерно-геологічних природнокліматичних, географічних та інших регіональних особливостей.

В інституті ВАТ "Укргазпроект" розробляються напрямки розвитку концепції надійності трубопровідного транспорту нафти і газу та енергозбереження не лише на стадії його проектування, але й на час експлуатації [2, 3].

Основні напрямки концепції, що зменшують вплив газопроводів на довкілля, знижують величину ризику, мають спрямовуватись на:

- загальні зниження частоти реалізації відмов на перегоні або в цілому регіоні;
- зменшення граничних розмірів тріщини у тілі труби (зварювальних швах);
- зменшення впливу природних факторів на трубопроводи;
- виключення можливостей механічного впливу на трубопроводи сторонніми особами;
- обмеження загальних обсягів витоку газу та нафтопродуктів із трубопроводу;
- енергозбереження на об'єктах транспорту газу і нафти України.

Одним із важливих заходів, що зменшують негативний вплив відмов газопроводів на довкілля, є енергозбереження. Власне, в інсти-

туті розробляються і частково реалізуються в житті основні шляхи енергозбереження:

- заміна морально- і фізичнозастарілих газоперекачувальних агрегатів на агрегати з покращеними енергетичними і екологічними показниками;

- утилізація теплових вторинних енерго-ресурсів на компресорних станціях з газотурбінними, поршневіми та електроприводними агрегатами;

- утилізація надлишкового тиску природного газу на компресорних газорозподільних станціях та газорегулюючих пунктах;

- утилізація паливних вторинних енерго-ресурсів при продувці пиловоловлювачів, при запуску та зупинці газотранспортуючих агрегатів.

Важливим напрямком концепції, яка розробляється в інституті, є використання горючих стиснутих природних газів на автотранспорті України [4, 5]. Цей захід значно зменшить вплив нафтопродуктів на довкілля при їх транспортуванні.

Одним із найвагоміших факторів є зменшення екологічної небезпеки, керування ризиком та забезпечення надійності лінійної частини трубопроводів на основі зарубіжного та вітчизняного досвіду. Це дало змогу сформулювати вимоги щодо механічних і в'язкісних властивостей труб, конструкцій труб, їх геометричних параметрів.

Для забезпечення надійності лінійної частини нафтогазопроводів необхідно застосувати труби, які характеризуються такими важливими механічними властивостями, як:

- тимчасовий опір розриву менше 500 МПа;
- межа текучості не менше 300 МПа;
- відносне видовження не менше 16%;
- ударна в'язкість при 30°C не менше 40 кДж/м<sup>2</sup>;
- мінімальне звуження при розриві для трубних сталей - 0,5 (50%).

Метал труби має достатній опір зародженню тріщин не менше 200 кДж/м<sup>2</sup> при -60°C. Усі труби повинні піддаватися гідровипробуванням і проходити 100% неруйнівний контроль фізичними методами.

Для запобігання крихкого руйнування трубопроводів необхідно 75 -85% волокнистої складової у матеріалі труб при температурі експлуатації нафтогазопроводів.

Внаслідок оптимізації показників якості поздовжніх зварювальних швів, з врахуванням вимог споживачів і можливостей виготувачів, рекомендується передбачувати у проекті радіус

переходу від зварного шва до основного металу, який має становити не менше 0,35 мм [6].

Припустимі поодинокі дефекти поздовжнього зварного шва труб для транспортування газу є:

- пори круглової форми ( $\alpha \approx b \approx c$ );
- припустимі розміри  $\alpha \leq 0,3\delta$ ;

- витагнуті пори ( $\alpha \approx b < c$ ); припустимі розміри  $0,1\delta \leq \alpha \leq 0,15\delta$ ,  $c < \delta$ ;

- шлакові включення: 1. ( $\alpha < b < c$ );

- 2. ( $\alpha > b > c$ );

- припустимі розміри: 1.  $0,3b \leq \alpha \leq b$ ;  
 $b \geq 0,5\delta$ ;  $c \leq 5b$

- 2.  $\alpha \leq 5b$ ;  $b \leq 0,1\delta$ ;  $c \leq 5b$

де  $\alpha$  - розмір дефекту у тангенціальному напрямі;

$b$  - розмір дефекту по товщині шва;

$c$  - розмір дефекту по осі шва;

$\delta$  - товщина стінки труби.

Відомо, що процес розгерметизації труб розпочинається у момент досягнення поверхневого дефекту критичних розмірів, а тому на стадії проектування, при виборі трубних сталей, необхідно визначити критичні розміри поверхневого дефекту, що характерні для вибраної труби.

Для оцінки розмірів поверхневого дефекту доцільно застосовувати метод Кіфнера [7], в якому використовується силовий критерій механіки руйнування  $K_c$ , або критичний коефіцієнт інтенсивності напружень, що визначає в'язкість металу. Він характеризує граничну інтенсивність напружень при переході тріщини у нестабільний стан. Якщо велике значення  $K_c$ , то вища опірність трубної сталі до розвитку руйнування. Для наскрізної тріщини величина  $K_c$  має мати такий вигляд:

$$K_c = \sqrt{\frac{8c\bar{G}^2}{\pi} \ln \sec\left(\frac{\pi}{2} \frac{M_T G}{\bar{G}}\right)}, \quad (1)$$

де:  $2c$  - довжина наскрізної тріщини, мм;  $G$  - руйнуюче напруження, МПа;  $\bar{G}$  - напруження текучості на вершині тріщини, МПа і визначається за формулою

$$\bar{G} = \frac{G_b + G_{0.2}}{2}, \quad (2)$$

$M_m$  - коефіцієнт Фолліса, що має вигляд [8]

$$M_T = \sqrt{1 + 1,255 \frac{c^2}{R \cdot t} - 0,0135 \frac{c^4}{R^2 \cdot t^2}}, \quad (3)$$

де:  $R$  - радіус труби, мм;  $t$  - товщина стінки труби, мм.

Зауважимо, що існуючі нормативні документи на труби не регламентують вищенаведені критерії механіки руйнування. Оцінку в'язкості руйнування металу труб малого і середнього діаметрів необхідно здійснювати на підставі результатів досліджень взірців Шарпі і Менаже (ГОСТ - 9454 - 78). Ударна в'язкість на взірцях Шарпі, що визначається при температурі, яка дорівнює мінімальній температурі стінки трубопроводу при експлуатації, дає змогу зробити оцінку опірності трубної сталі на стадії розвитку руйнування.

Ударна в'язкість на взірцях Менаже, що визначається при температурі будівництва, характеризує опірність металу труби зародженню і розвитку тріщини.

Зіставити значення  $K_c$  і результатів вищевказаних досліджень можна на основі кореляційної залежності

$$KCV = \frac{K_c^2}{E}, \quad (4)$$

де  $KCV$  - мінімальна величина ударної в'язкості за Шарпі.

Згідно з нормативним документом [1] для труб діаметром менше 500 мм і робочому тиску до 10 МПа мінімальна ударна в'язкість за Шарпі становить 24,5 Дж/см<sup>2</sup>. Результати розрахунків критичної довжини нарізної тріщини для ударної в'язкості наведені у таблиці 1.

При збільшенні різними способами критичного коефіцієнта інтенсивності напруження для даного розміру труб критична довжина наскрізної тріщини сягає граничної, максимальної величини. Подальше збільшення в'язкості не призводить до змін критичної довжини тріщини (табл. 2).

Таким чином, для даного розміру труби відповідного класу міцності критична довжина наскрізної тріщини буде перебувати в діапазоні 120 - 165 мм.

При оцінці розмірів поверхневого дефекту, що виявився під час експлуатації трубопроводів, згідно з роботою [8], можна використати частковий випадок виразу (1)

$$\frac{G}{G} = \frac{A_0 - A_q}{A_0 - \frac{A_q}{M_T}}, \quad (5)$$

де:  $A_q$  - площа поверхневого дефекту;  $A_0$  - площа наскрізного дефекту такої довжини як і поверхневий,  $A_0 = 2ct$ .

З виразу (5) одержимо

$$A_q = \frac{2ct \left( \frac{G}{G} - 1 \right)}{\frac{G}{GM_T} - 1}. \quad (7)$$

**Таблиця 1 - Критична довжина наскрізної тріщини труби діаметром 426 мм на робочий тиск 7,0 МПа**

Клас міцності сталі	K34	K38	K42	K50	K52	K54	K56
2с, мм	162	152	149	130	125	120	120

**Таблиця 2 - Розрахункові значення граничних довжин наскрізної тріщини труби діаметром 426 мм**

Клас міцності сталі	K34	K38	K42	K50	K52	K54	K56
$K_c$ , кгс/мм <sup>3/2</sup>	955	1141	1025	1748	1342	1560	1700
2с, мм	165	160	147	155	150	142	154

**Таблиця 3 - Допустима площа поверхневого дефекту труби при довжині 2с**

Клас міцності сталі	K34	K38	K42	K50	K52	K54	K56
2с, мм	160	150	148	128	123	122	122
$A_q$ , мм	1208	1023	895	701	648	596	592

Якщо відомий робочий тиск і критична довжина наскрізної тріщини, з'являється можливість оцінити ступінь небезпеки виявленого дефекту. Довжина поверхневого дефекту буде визначати сценарій розвитку можливого руйнування "витік" або "розрив".

Для вибраних сталей розрахункова допустима площа поверхневого дефекту довжиною 2с при  $K_{CV} = 24,5$  Дж/см наведена в табл.3.

Згідно з роботою [4] після виявлення і визначення розмірів поверхневого дефекту можна розрахувати його площу і порівняти її зі значенням  $A_q$ , оцінюючи ступінь небезпеки і, зокрема, якщо довжина поверхневого дефекту перевищує критичну довжину тріщини труби, то слід очікувати її розрив.

Наведені вище розрахунки можна застосувати для труб різного діаметра. При кінцевому виборі труб для будівництва трубопроводів слід здійснювати комплексні дослідження з метою експериментального визначення істинних властивостей металу труби і допустимих розмірів дефекту.

Зауважимо, що різноманітні методи обробки сталі, а саме рафінування, легування, термічна і термомеханічна обробка, дають можливість підвищити показники пластичності та в'язкості і таким чином збільшити її опір руйнуванню.

Параметр потоку відмови трубопроводу  $W_1$  як показник надійності конструкції в даному випадку, згідно [9], буде зменшуватися таким чином:

$$W_1 = W_2 \frac{[5\alpha_{G0} - 3(5 - \alpha_{G0})] \cdot (5 - \alpha_{G1})}{[5\alpha_{G1} - 3(5 - \alpha_{G1})] \cdot (5 - \alpha_{G0})}, \quad (7)$$

де:  $W_0$  - показник надійності трубопроводів до обробки сталі;  $\alpha_{G0}$  - коефіцієнт концентрації напруги до обробки сталі;  $\alpha_{G1}$  - коефіцієнт концентрації напруги після обробки сталі.

Зниження рівня екологічної небезпеки і ризику факторів досягається при збільшенні товщини стінки труб. Досвід відомої фірми "Брітш Газ" свідчить, що при збільшенні товщини стінки труб до 12 мм практично виключається ймовірність виникнення великомасштабних витоків через вплив антропогенних факторів (втручання сторонні х осіб). Практично виключається можливість пошкодження тіла труби стандартною землерийною технікою. Водночас, така труба має підвищену опірність до можливих природних стихійних лих.

За даними західних фірм частота аварійних відмов зменшується із збільшенням тов-

щини труб приблизно на  $1/A^{2,5}$ , де  $A$  - товщина стінки. Все це дає підстави прийти до висновку, що при збільшенні товщини стінки у два рази частота великомасштабних витоків зменшується у 5 - 6 разів.

Враховуючи, що при цьому спектр витоків зменшується в бік менших значень, показники екологічної небезпеки і ризику з цієї причини зменшуються ще у 2 - 3 рази. Загалом застосування труб підвищеної товщини і підвищеної якості призводить до зменшення відмов трубопроводу у 7 - 8 разів.

Зазначимо теж, що збільшення товщини стінки труб до 12 мм значно збільшить розмір критичної тріщини (масштаби поверхні дефекту), яка при розростанні всередину, тобто при розгерметизації труби, гальмуватиме подальший лавиноподібний інерційний розвиток розмірів тріщини.

### Література

1. СНИП 2.05.06.85. Магистральные трубопроводы
2. Макара Р.М., Говдяк Р.М., Шелковський Б.І. Стан, шляхи та перспективи газопостачання України // Вісник Державного університету "Львівська політехніка". - Львів, -1998.
3. Макара Р.М., Говдяк Р.М., Шелковський Б.І. Газопостачання України. Проблеми і перспективи // Збірник наукових праць: Матеріали 5-ої Міжнародної конференції "Нафта - газ України" -98. Том 1. - Полтава. :УНГА, 1998.
4. Говдяк Р., Калапунь І, Чабанович А., Ефективне використання природного газу в теплоенергетичних установках з контактним тепломасообміном // Матеріали 6-ої Міжн. конф. Нафта і газ України - 2000. - Івано-Франківськ: УНГА, 2000. - С. 9-10.
5. Говдяк Р.М., Шелковський Б.Й., Калапунь І.М. Проблемы и пути расширения использования природного газа в качестве моторного топлива двигателей внутреннего сгорания // Матеріали научно-практической конференции: Экономические преимущества применения газа в качестве моторного топлива. - Харьков, 1999.
6. РД 39-30-1167-84. Методика оптимизации параметров комплектующих изделий магистрального нефтепровода по критерию надежности в эксплуатации. -Уфа.: ВНИИСПГ - нефть, Г 1978.-48с.
7. Kiefner J.F. In Forth Symposium on Line Pipe Research, American Gas Association, Catalogue No. L30075. Nov. 1969.

8. Folias E.S. The Stresses in a Cylindrical Shell Containing an Axial Crack. Aerospace Research Laboratories, Oct. 1964. - ARL. 64-174. 84-89.

9. Thomas J. O'Grady, Daniel T.H., Kiefner J.F. Pressure Calculation for Corroded Pipe Developed//Oil and Gas Journal, 1992, Oct. 19,-P.

УДК 504.054

## МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ВИЗНАЧЕННЯ РИЗИКУ, ІНДЕКСУ НЕБЕЗПЕКИ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВОДІВ

*Р.М. Говдяк*  
ВАТ “Укргазпроект”, Київ

*Я.М. Семчук*  
ІФНТУНГ, 76019 м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15,

*Рассмотрены методические аспекты определения риска при проектировании и эксплуатации магистральных газопроводов. Приведены индексы безопасности влияния природных факторов на магистральный газопровод Ананьев-Измаил.*

*The methodical aspect of risk determination when projecting and operating of gas-mains have been examined in the article. Safety indexes of influence of natural conditions on the gas-mains Ananiev-Izmail have been tested.*

При експлуатації продуктопроводів, нафтогазопроводів виникають непередбачувані аварії.

У проектних рішеннях ймовірність цих аварій разом з можливими негативними наслідками носить назву ризику. Ризик необхідний для вироблення оптимальної стратегії із забезпечення безпеки людей і охорони навколишнього середовища, тобто розрахунок і аналіз ризику є тим методичним інструментом, за допомогою якого потенційна небезпека може бути оцінена кількісно [1,2]. У багатьох випадках цей інструмент є за своєю суттю єдиною можливістю дослідження складних питань безпеки.

Слід відзначити, що в розвинутих країнах Європи та США ще на початку 80-х років минулого століття розроблена наукова методична база кількісної оцінки і аналізу ризику для різ-

них промислових підприємств [3 -5]. У Росії ще у 1994 році прийнятий Федеральний закон "О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера". За цим законом адміністративні органи зобов'язані інформувати населення про всі ризики, що пов'язані з техногенною діяльністю у регіонах, а також розробити комплекс заходів, спрямованих на забезпечення безпеки [6].

Основні небезпечні фактори, що виникають при відмові магістральних газопроводів і створюють певний рівень ризику, наведені в табл. 1.1.

При відмові магістральних газопроводів особливо небезпечно забруднення атмосферного повітря. Оскільки токсичне ураження людей на відкритих територіях мало ймовірно, то в середині закритих приміщень воно часто проявляється. У даному випадку виникає пожежно-вибухова небезпека.

**Таблиця 1.1 – Небезпечні фактори при відмові магістральних газопроводів**

№ п/п	Фактор впливу	Радіус впливу, м
1	Ударна хвиля	400
2	Термічний вплив	300
3	Токсичне забруднення атмосферного повітря	300
4	Розліт кусків металу та фрагментів труб	250
5	Підземна міграція газу	Залежно від інженерно-геологічних умов