

## ТЕПЛОГАЗОПОСТАЧАННЯ ТА ВЕНТИЛЯЦІЯ

УДК 696.2.046

Грицина О. О., к.т.н., доцент (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

### АНАЛІЗ ФАКТОРІВ РИЗИКІВ АВАРІЙНОСТІ РОЗПОДІЛЬНИХ ГАЗОПРОВІДІВ ІЗ ПОЛІЕТИЛЕНОВИХ ТРУБ

Розроблена ієрархічна структура по прогнозуванню факторів ризиків аварійності розподільних газопроводів із поліетиленових труб. Запропонована класифікація ризиків аварій та встановлені причини їх виникнення.

**Ключові слова:** розподільний газопровід із поліетиленових труб, аварійність, потік відмов, надійність.

Рівень газифікації населених пунктів України природним газом лишається низьким. В період з 2009 по 2012 рік за рахунок нового будівництва та розширення існуючих мереж протяжність вуличних газових мереж в міській та сільській місцевості збільшилася на 13579 км [1]. Рівень газифікації міських населених пунктів природним та зрідженим газом в 2012 році склав 67,4%, селищ міського типу – 53%, сільських населених пунктів – 38,9% [1]. Загальна протяжність поліетиленових трубопроводів на балансі підприємств може значно зрости враховуючи, що близько 80% нового будівництва систем газопостачання здійснюється із поліетиленових труб [2].

Таким чином, **актуальним** є дослідження факторів ризиків та причин аварійності на розподільних газопроводах із поліетиленових труб.

Варто зазначити, що багато досліджень факторів ризиків аварійності проводились для магістральних та розподільних газопроводів із сталевих труб [3, 4]. Однак отримані методики і результати досліджень магістральних газопроводів не можна переносити на розподільні системи газопостачання, оскільки фактори ризиків і характер аварій та умови експлуатації суттєво відрізняються [5]. Крім того, розподільні газопроводи із поліетиленових труб мають суттєві відмінності порівняно з металевими.

**Відповідно до життєвого циклу** систем газопостачання запропоновано розділити структуру по прогнозуванню факторів ризиків аварійності розподільних газопроводів із поліетиленових труб на чотири групи (A, B, C, D). Група ризику, в свою чергу, відповідно до основних етапів поділяється на ряд підгруп ( $A_{ij}$ ,  $B_{ij}$ ,  $C_{ij}$ ,  $D_{ij}$ ). В кожній підгрупі встановлені основні причини (фактори ризику –  $f(K)_{ij}$ ), які можуть призвести до відмов під час експлуатації розподільного газопроводу (таблиця).

Відмова – повна або часткова втрата об'єктом працездатності, для

відновлення якої необхідний ремонт з відключенням елемента з системи [3]. Аналіз факторів ризиків аварійності розподільних газопроводів із поліетиленових труб дозволив розробити їх ієрархічну структуру наведену в таблиці. Відповідно до таблиці ризику відмов під час експлуатації розподільного газопроводу складають чотири основні відмови, що призводять до втрат працездатності системи:

$P_1$  – порушення механічної міцності матеріалу газопроводу: повільне та швидке поширення тріщин; перевищення радіусів пружного вигину; температурних перепадів;

$P_2$  – механічні пошкодження розподільної ПЕ труби (міхури, тріщини, раковини, сторонні вклучення, сліди усадки, пошкодження в результаті будівельно-монтажних робіт біля траси газопроводу);

$P_3$  – дефекти зварних з'єднань: крихке і пластичне руйнування зварних з'єднань; зовнішні дефекти з'єднань; внутрішні дефекти з'єднань;

$P_4$  – нещільності роз'ємних з'єднань поліетиленової і сталевий труби, металевої запірної арматури та ПЕ кранів.

Варто зазначити, що характер відмов  $P_1 - P_4$  повинен проявитися або в період  $C_8, C_9$  або в період  $D_1$  (таблиця). Саме ці періоди є періодами припрацювання системи, коли відмовляють ті елементи, що мали дефекти. Проте можливий прояв цих відмов і в період експлуатації ( $D_{2,3}$  – нормальна робота) в зв'язку з:

- антропогенними факторами:
  1. Тенденціями до зниження кваліфікації, навиків, інтересу працівників до роботи та виробництва, будівництва та експлуатації;
  2. Скорочення нагляду та контролю на етапах:
    - виготовлення ПЕ труб та з'єднувальних деталей: стійкість до швидкого та повільного поширення тріщин (не рідше одного разу на дванадцять місяців на одному діаметрі);
    - будівництво розподільних газопроводів із поліетиленових труб: 1% зварних стиків механічними методами випробовувань; 0,25-2% трубопроводів зовнішнім оглядом; 24 год. пневматичних випробовувань на герметичність газопроводу при проектній тривалості експлуатації більше 400 тис. год.;
    - експлуатації розподільних газопроводів із поліетиленових труб: періодичність огляду трас підземних газопроводів із поліетилену 0,125-1 раз на тиждень за допомогою приладів та візуального контролю;
    - інструментальними факторами: 1. Технічний стан пристроїв та обладнання; 2. Відповідність пристроїв технологічним процесам (виробництва та будівництва) [11].

Проведений аналіз факторів ризиків аварійності розподільних газопроводів із поліетиленових труб дозволив:

Таблиця

## Ієрархічна структура по прогнозуванню потоку відмов на розподільних газопроводах із поліетиленових труб

| Група ризику                                     | Найменування етапу  | Фактори ризику ( $f$ ), причини відмов   | Контроль  | Ризики відмов під час експлуатації розподільного газопроводу ( $P$ )   |
|--|---|--|---|--|
| А. Виготовлення ПЕ труб та з'єднувальних деталей | $A_1$ – сировина  | $f(A)_1$ – якість гранул ПЕ різних класів і модифікацій [6]  | ДСТУ Б.В.2.7-151:2008<br>«Технічне свідоцтво придатності будівельних виробів»         | $P_1$ – порушення механічної міцності матеріалу газопроводу  |
|  | $A_2$ – технологія виготовлення ПЕ труб та з'єднувальних деталей  | $f(A)_{21}$ – кваліфікація оператора та дотримання технології виготовлення [7];<br>$f(A)_{22}$ – технічний стан та клас обладнання для виготовлення продукції певного типорозміру [7]. | ДСТУ Б.В.2.7-151:2008,<br>ДСТУ Б.В.2.7-73-98  | $P_1$ – порушення механічної міцності матеріалу газопроводу  |
|  | $A_3$ – випробовування партії продукції                           | $f(A)_{31}$ – кваліфікація лабораторного персоналу [8];<br>$f(A)_{32}$ – технічний стан та клас обладнання [8].  | ДСТУ Б.В.2.7-151:2008,<br>ДСТУ Б.В.2.7-73-98<br>«Технічне свідоцтво»                  | $P_1$ – порушення механічної міцності матеріалу газопроводу;   |
|  | $A_4$ – транспортування до будівельно-монтажної організації (БМО) | $f(A)_{41}$ – кваліфікація водія;<br>$f(A)_{42}$ – технічний стан та відповідність автомобіля;<br>$f(A)_{43}$ – завантаження та розвантаження партії продукції.                        | Вхідний контроль труб та з'єднувальних деталей інженерно-технічними працівниками БМО. | $P_2$ – механічні пошкодження розподільної ПЕ труби (проколи, глибокі вм'ятини, поперечні і поздовжні тріщини) |

| Група ризику  | Найменування етапу  | Фактори ризику ( $f$ ), причини відмов   | Контроль                                 | продовження таблиці<br>Ризики відмов під час експлуатації розподільного газопроводу  |
|---|---|--|--|--|
| В. Робочий проект газопостачання                                | $B_1$ – траса газопроводу   | $f(B)_{11}$ – склад ґрунтів;<br>$f(B)_{12}$ – навантаження та впливи, що діють на газопровід;<br>$f(B)_{13}$ – штучні та природні перешкоди.   | ДБН В.2.5-20-2001,<br>ДБН В.2.5-41:2009  | $P_1$ – порушення механічної міцності матеріалу газопроводу (силові, деформаційні навантаження, сейсмічні впливи);<br>$P_2$ – механічні пошкодження розподільної ПЕ труби. |
|   | $B_2$ – проектні рішення  | $f(B)_{21}$ – вибір технічних параметрів роботи газопроводу;<br>$f(B)_{22}$ – кваліфікація проектувальника;<br>$f(B)_{23}$ – проектні умови експлуатації.  | ДБН В.2.5-20-2001,<br>ДБН В.2.5-41:2009  | $P_1$ – порушення механічної міцності матеріалу газопроводу;<br>$P_2$ – механічні пошкодження розподільної ПЕ труби.   |
| С. Будівництво розподільного газопроводу із поліетиленових труб | $C_1$ – вхідний контроль труб та з'єднувальних деталей                  | $f(C)_{11}$ – кваліфікація інженерно-технічного працівника БМО   | ДБН В.2.5-41:2009 п. 9.1,<br>ДБН А.3.1-5 | $P_2$ – механічні пошкодження розподільної ПЕ труби (міхури, тріщини, раковини, сторонні вклучення, сліди усадки)  |
|   | $C_2$ – транспортування та зберігання труб і з'єднувальних деталей з ПЕ | $f(C)_{21}$ – кваліфікація водія;<br>$f(C)_{22}$ – технічний стан та відповідність автомобіля;<br>$f(C)_{23}$ – завантаження та розвантаження партії продукції;<br>$f(C)_{24}$ – кваліфікація інженерно-технічного працівника БМО. | ДБН В.2.5-41:2009, п. 9.2                | $P_2$ – механічні пошкодження розподільної ПЕ труби (проколи, глибокі вм'ятини, поперечні і повздовжні тріщини)  |

продовження таблиці

| Група ризику  | Найменування етапу   | Фактори ризику ( $f$ ), причини відмов  | Контроль                              | Ризики відмов під час експлуатації розподільного газопроводу  |
|---|--|---|---------------------------------------|---|
| С. Будівництво розподільного газопроводу із поліетиленових труб | $C_3$ – зварювання газопроводів  | $f(C)_{31}$ – кваліфікація зварника;<br>$f(C)_{32}$ – технічний стан зварювальних пристроїв та іншого технологічного обладнання;<br>$f(C)_{33}$ – систематичний операційний контроль якості складування для зварювання і режимів зварювання;<br>$f(C)_{34}$ – дотримання технології зварювання;<br>$f(C)_{35}$ – температура зовнішнього повітря та атмосферні опади. | ДБН В.2.5-41:2009, п. 9.4, 10.2, 10.3 | $P_3$ – дефекти зварних з'єднань [9,10]: крихке і пластичне руйнування зварних з'єднань; зовнішні дефекти з'єднань; внутрішні дефекти з'єднань.<br>$P_1$ – порушення механічної міцності матеріалу газопроводу: повільне та швидке поширення тріщин [11,12]; перевищення радіусів пружного вигину; температурних перепадів. |
|   | $C_4$ – візуальний контроль зварних з'єднань, інструментальний контроль їх геометричних параметрів | $f(C)_{41}$ – кваліфікація зварника;<br>$f(C)_{42}$ – технічний стан контрольно-вимірювальних приладів  | ДБН В.2.5-41:2009 п. 10.3             | $P_3$ – дефекти зварних з'єднань: зовнішні дефекти з'єднань [9].  |
|   | $C_5$ – механічні випробовування зварних з'єднань  | $f(C)_{51}$ – кваліфікація лабораторного персоналу;<br>$f(C)_{52}$ – технічний стан та клас обладнання.   | ДБН В.2.5-41:2009, п. 10.3, 10.4      | $P_3$ – дефекти зварних з'єднань: крихке і пластичне руйнування зварних з'єднань [13].  |

продовження таблиці

| Група ризику  | Найменування етапу   | Фактори ризику ( $f$ ), причини відмов   | Контроль                                | Ризики відмов під час експлуатації розподільного газопроводу   |
|---|--|--|---|--|
| С. Будівництво розподільного газопроводу із поліетиленових труб | $C_6$ – проведення земляних робіт та укладання газопроводу | $f(C)_{61}$ – кваліфікація робітників БМО;<br>$f(C)_{62}$ – кваліфікація спеціалістів спеціалізованої організації;<br>$f(C)_{63}$ – кваліфікація замовника;<br>$f(C)_{64}$ – технічний стан техніки та обладнання;<br>$f(C)_{65}$ – температура зовнішнього повітря та атмосферні опади. | ДБН В.2.5-20-2001,<br>ДБН В.2.5-41:2009 | $P_2$ – механічні пошкодження розподільної ПЕ труби (проколи, глибокі вм'ятини, поперечні і по-вздовжні тріщини);      |
|   | $C_7$ – очищення внутрішньої поверхні газопроводів         | $f(C)_{71}$ – кваліфікація робітників;<br>$f(C)_{72}$ – технічний стан техніки та обладнання;  | ДБН В.2.5-41:2009                       | $P_3$ – дефекти зварних з'єднань: внутрішні дефекти з'єднань [9].  |
|   | $C_8$ - пневматичні випробовування газопроводів            | $f(C)_{81}$ – кваліфікація робітників БМО;<br>$f(C)_{82}$ – кваліфікація спеціалістів спеціалізованої організації (СО);<br>$f(C)_{83}$ – кваліфікація замовника;<br>$f(C)_{84}$ – технічний стан техніки та обладнання.  | ДБН В.2.5-20-2001,<br>ДБН В.2.5-41:2009 | $P_4$ – нещільності роз'ємних з'єднань поліетиленової і сталевий труби, металевий запірної арматури та ПЕ кранів [14]. |
|   | $C_9$ – задача об'єкта в експлуатацію                      | $f(C)_{81}$ – кваліфікація робітників;<br>$f(C)_{82}$ – кваліфікація спеціалістів СО;<br>$f(C)_{83}$ – кваліфікація інспектора.  | ДБН В.2.5-41:2009                       |  |

продовження таблиці

| Група ризику   | Найменування етапу   | Фактори ризику ( $f$ ), причини відмов  | Контроль   | Ризики відмов під час експлуатації розподільного газопроводу   |
|--|--|---|--|--|
| D. Експлуатація розподільного газопроводу із поліетиленових труб | $D_1$ – введення в експлуатацію (період припрацювання)                 | $f(D)_{11}$ – кваліфікація спеціалістів СО;<br>$(D)_{12}$ – технічний стан техніки та обладнання для проведення оглядів.  | ДБН В.2.5-41:2009,<br>НПАОП 0.00-1.20-98   | $P_2$ – механічні пошкодження розподільної ПЕ труби в період між здачею та введенням в експлуатацію газопроводу.   |
|  | $D_2$ – експлуатація системи газопостачання (період нормальної роботи) | $f(D)_{21}$ – кваліфікація спеціалістів СО;<br>$f(D)_{22}$ – технічний стан техніки та обладнання для проведення оглядів;<br>$f(D)_{23}$ – режими роботи газопроводу;<br>$f(D)_{24}$ – будівельно-монтажні роботи біля траси газопроводу. | ДБН В.2.5-41:2009,<br>НПАОП 0.00-1.20-98,<br>«Порядок технічного огляду, обстеження, оцінки та паспортизації технічного стану» | $P_2$ – механічні пошкодження розподільної ПЕ труби при виконанні будівельно-монтажних робіт біля траси газопроводу;<br>$P_4$ – нещільності роз'єдних з'єднань поліетиленової і сталевий труби, металевий запірної арматури та ПЕ кранів [14]. |
|  | $D_3$ – експлуатація системи газопостачання (період старіння)          | $f(D)_{31}$ – кваліфікація спеціалістів СО;<br>$f(D)_{32}$ – технічний стан техніки та обладнання для проведення оглядів;<br>$f(D)_{33}$ – режими роботи газопроводу.   | ДБН В.2.5-41:2009,<br>НПАОП 0.00-1.20-98   | $P_2$ – механічні пошкодження розподільної ПЕ труби при виконанні будівельно-монтажних робіт біля траси газопроводу.   |

- побудувати ієрархічну структура по прогнозуванню факторів ризиків аварійності розподільних газопроводів із поліетиленових труб;
- встановити характер основних відмов в період експлуатації газопроводу;
- провести аналіз можливих причин аварійності.

Згідно статистичних даних підприємства по експлуатації газового господарства за останні п'ять років кількість зафіксованих відмов показана на рисунку.

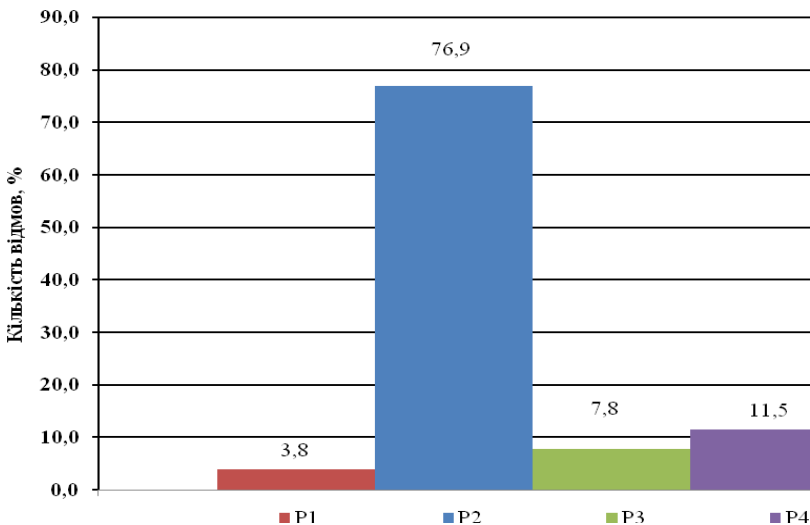


Рисунок. Залежність кількості відмов газопроводів із поліетилену в залежності від типу відмови

Для розрахунків надійності систем газопостачання із поліетиленових труб необхідно встановити параметри потоку відмов  $\omega$  для кожної з запропонованої відмови. Серед головних причин аварійності розподільних газопроводів із поліетиленових труб є механічні пошкодження ( $P_2$ ).

1. Статистичний бюлетень Державної служби статистики України «Про основні показники роботи газового господарства в Україні» за 2009-2012 рік.
2. Табак М. Системи газопостачання України: динаміка розвитку / М. Табак // Інженерні мережі з полімерних матеріалів (ИСПМ). – 2005. – № 4(14). – С. 12-15.
3. Ионин А. А. Газоснабжение / А. А. Ионин. – М. : Стройиздат, 1989. – 439 с.
4. Дейнеко С. В. Обеспечение надежности систем трубопроводного транспорта нефти и газа / С. В. Дейнеко. – М. : Издательство «Техника», ТУМА ГРУПП,



2011. – 176 с. **5.** Сухарев М. Г. Статистический анализ аварийности газораспределительных систем / М. Г. Сухарев, А. Г. Лапига, Э. В. Калинина // Территория нефтегаз. – 2010. – № 4. – С. 16-19. **6.** Осторожно – базовая марка или снова о натуральном полиэтилене // Полимерные трубы. – 2008. – № 2(7). – С. 30-33. **7.** Сезонов М. Быстрое распространение трещин в ПЭ трубах / М. Сезонов // Полимерные трубы. – 2007. – № 4(5). – С. 32-35. **8.** Шестопад А. Поліетиленові труби для подачі горючих газів / А. Шестопад, В. Гохфельд, О. Гурський // ИСПМ. – 2006. – № 2(16). – С. 10-13. **9.** Крупак І. Інженерні мережі з полімерів / І. Крупак. – Львів : ЕКОінформ, 2008. – 372 с. **10.** Семенец А. В. Внедренная система управления качеством / А. В. Семенец, В. И. Олофинский // Полимерные трубы. – 2008. – № 4(9). – С. 18-23. **11.** Кейт Моул Закупки оборудования / Моул Кейт // Полимерные трубы. – 2011. – № 4(21). – С. 24-30. **12.** Накоренек В. Брак стыка – возможна ошибка сварщика / В. Накоренек // Полимерные трубы. – 2009. – № 1(10). – С. 29-33. **13.** Кимельблат В. И. Оптимизация технологии контактной сварки встык / В. И. Кимельблат, И. В. Волков // Полимерные трубы. – 2010. – № 2(15). – С. 30-35. **14.** Фоменко А. Переходи «поліетилен-сталь»: особливості конструкції та застосування / А. Фоменко // ИСПМ. – 2007. – № 3(21). – С. 32-35.

Рецензент: д.т.н., проф. Гіроль М. М. (НУВГП)

---

### **Hrytsyna O. O., Candidate of Engineering, Associate Professor**

(National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne)

### **EMERGENCY RISK FACTORS ANALYSIS OF PE DISTRIBUTION GAS PIPELINES**

**The hierarchical structure of emergence risk factors forecast of PE distribution gas pipelines is developed. The classification of emergency risk is proposed and causes of its formation are determined.**

**Keywords: distribution PE gas pipelines, accident rate, failure flow, reliability.**

---

**Грицына А. А., к.т.н., доцент** (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

### **АНАЛИЗ ФАКТОРОВ РИСКОВ АВАРИЙНОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ ИЗ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБ**

**Разработана иерархическая структура по прогнозированию факторов рисков аварийности распределительных газопроводов из полиэтиленовых труб. Предложена классификация рисков аварий и установлены причины их возникновения.**

***Ключевые слова:* распределительный газопровод из полиэтиленовых труб, аварийность, поток отказов, надежность.**

---