

ОЦІНКА РІВНЯ ТЕХНОГЕННО-ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НАФТОПРОВІДІВ

Гомеля М.Д.¹, Степова О.В.²

¹Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
пр. Перемоги, 37, 03056, м. Київ

²Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка
пр. Першотравневий, 24, 36011, м. Полтава
alenastepovaja@gmail.com

У роботі проаналізовано основні показники, що оцінюють техногенно-екологічний ризик експлуатації нафтопроводів, запропоновано використання параметра потоку відмов як показника, що оцінює рівень техногенно-екологічної безпеки експлуатації нафтопроводів. Перевагою даної розробки є можливість визначення найбільш ненадійних та екологічно небезпечних ділянок нафтопроводів, що дасть змогу попередити аварійні ситуації, отримати соціальний, економічний та екологічний ефекти від зменшення навантаження на компоненти навколишнього середовища. *Ключові слова:* сталевий нафтопровід, техногенно-екологічна безпека, надійність, відмова, параметр потоку відмов.

Оценка уровня техногенно-экологической безопасности эксплуатации нефтепроводов. Гомеля Н.Д., Степова Е.В. В работе проанализированы основные показатели, оценивающие техногенно-экологический риск эксплуатации нефтепроводов, предложено использование параметра потока отказов как показателя, оценивающего уровень техногенно-экологической безопасности эксплуатации нефтепроводов. Преимуществом данной разработки является возможность определения ненадежных и экологически опасных участков нефтепроводов, что позволит предупредить аварийные ситуации, получить социальный, экономический и экологический эффекты от уменьшения нагрузки на компоненты окружающей среды. *Ключевые слова:* стальной нефтепровод, техногенно-экологическая безопасность, надежность, отказ, параметр потока отказов.

Evaluation of technological and environmental safety level of opportunity of oilways. Gomelya M.D., Stepova O.V. In this work the main indicators assessing the technogenic and ecological risk of operation of oil pipelines are analyzed, the use of the parameter of the flow of failures as an indicator, which evaluates the level of technogenic and ecological safety of exploitation of oil pipelines, is proposed. The advantage of this development is the ability to identify the most unreliable and environmentally hazardous areas of oil pipelines, which will prevent the emergence of emergencies and obtain social, economic and environmental effects from reducing the load on the components of the environment. *Key words:* steel oil pipeline, technogenic-ecological safety, reliability, failure, failure flow parameter.

Постановка проблеми. Серед основних екологічних проблем, пов'язаних із функціонуванням нафтогазової галузі, автори [1] виділяють транспортування нафти й газу та вирішення проблеми екологічної безпеки під час експлуатаційних робіт. Із поняттям екологічної безпеки пов'язане поняття екологічного ризику. Загальна категорія ризику розглядається як імовірність настання небажаних подій та наслідків [2].

Екологічний ризик є важливою ознакою екологічної небезпеки, оскільки відображає її об'єктивну сутність – імовірність настання цього явища [3].

Функціональною особливістю екологічного ризику є його здатність до прояву своїх властивостей протягом усього періоду існування конструкцій – від виникнення через розвиток, зміну до припинення.

Ризик передбачає ймовірність настання небажаного результату внаслідок впливу на стабільну позитивну ситуацію зовнішніх або внутрішніх чинників, ступінь екологічного ризику можна визначити як

категорію, яка характеризує важливість екологічного ризику, ймовірність відвернення можливих негативних наслідків навколишньому природному середовищу та здоров'ю людини [4].

Дослідження показників, що оцінюють ступінь техногенно-екологічного ризику експлуатації сталевих нафтопроводів, є необхідною передумовою забезпечення екологічної безпеки держави шляхом зменшення впливу магістральних нафтопроводів на довкілля.

Актуальність дослідження. Перші збудовані нафтопроводи працюють понад 48 років [5; 6] середній термін експлуатації яких становить понад 35 років. Термін експлуатації системи сталевих нафтопроводів України здебільшого наближається до планового. Виявлені численні корозійні пошкодження зовнішніх та внутрішніх поверхонь труб загострюють проблему подальшої надійної та екологічно безпечної експлуатації. Зі збільшенням термінів їх експлуатації все актуальнішою стає проблема

оцінки рівня безпечної експлуатації магістральних нафтопроводів.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Тема відповідає актуальним напрямкам науково-технічної політики України в галузі дослідження технічного стану будівель і споруд, що експлуатуються, які висвітлено у Постанові Кабінету Міністрів України «Про забезпечення надійності і безпечної експлуатації будівель, споруд та інженерних мереж» № 409 від 5 травня 1997 р. та Рішенні Міжвідомчої комісії з питань науково-технологічної безпеки при Раді національної безпеки та оборони України «Про технічний стан і залишковий ресурс конструкцій та споруд основних галузей господарства України» від 14 лютого 2002 р. Дослідження виконані в межах держбюджетної науково-дослідної роботи Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка «Ефективні конструктивно-технологічні рішення об'єктів транспортування та зберігання нафти і нафтопродуктів у складних інженерно-геологічних умовах».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням безпечної експлуатації нафтопроводів і оцінки рівня їхньої екологічної безпеки присвячено праці багатьох учених. Експерти-дослідники П.П. Бородавкін, Р.М. Говдяк, В.Я. Грудз, Б.І. Кім, Ю.О. Кузьменко, А.Г. Телегін, Я.М. Семчук, Л.С. Шлапак виділяють цілу низку причин відмов трубопроводів, що створюють техногенно-екологічний ризик.

Незважаючи на важливість надійної та безаварійної експлуатації магістральних нафтопроводів, проблемі оцінювання техногенно-екологічних ризиків приділено недостатню увагу [7].

Основний ризик аварій та надзвичайних ситуацій на магістральних нафтопроводах пов'язаний з аваріями на лінійних ділянках [8]. Найбільший ризик аварій виникає на ділянках, що мають тріщини, підводні переходи, перетини з іншими трубопроводами, автомобільними та залізничними дорогами, лініями електропередач тощо.

Як зазначено у [9–11], рівень екологічної безпеки визначається величиною ризику від можливих техногенних катастроф. Аналіз ризиків пов'язаний з аналізом загроз, які визначають рівень безпеки. Основою оцінки ризиків є теорія надійності, відповідно до якої аварійні ситуації доцільно розглядати як відмови елементів системи, що призводять до порушення їх стійкості [12].

Доцільнорозглядатиу взаємозв'язку техногенно-екологічні ризики експлуатації нафтопроводів із прогнозуванням екологічних наслідків у разі виникнення аварійної ситуації, тому проблема оцінки техногенно-екологічного ризику експлуатації нафтопроводів, безсумнівно, залишається актуальною й своєчасною.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. У процесі проектування та експлуата-

ції нафтопроводів недостатньо враховується їхній вплив на довкілля й оцінюється екологічна безпека експлуатації нафтопроводів. Аналіз причин відмов трубопроводів показує, що понад 60% усіх відмов відбулися з причин корозії металу труб.

Метою даної роботи є розроблення залежностей для кількісної оцінки техногенно-екологічного ризику при експлуатації нафтопроводів України.

Методологічне або загальнонаукове значення. Результати даної наукової роботи в комплексі з іншими дослідженнями дадуть змогу визначити потенційні корозійно-небезпечні підземні нафтоводи, попередити виникнення аварійних ситуацій та негативних впливів на довкілля шляхом вчасного вжиття необхідних заходів.

Виклад основного матеріалу. Відмова – це подія, що полягає у втраті працездатності нафтопроводу або його ділянки, яка передбачає терміновий ремонт та відключення ділянки. Відповідно, у технологічному процесі транспортування нафти відмова конструкції може викликати перерву подачі нафти споживачам чи зниження величини подачі нафти.

У разі відмов магістральних нафтопроводів, що виникають під дією чинників природного та антропогенного походження, порушується природний режим ґрунтів і водних об'єктів, забруднюється атмосфера, що часто призводить до екологічного лиха. Потрапляючи на поверхню ґрунту, нафта просочується вглиб та змінює його фізико-хімічні властивості. В окремих випадках нафта потрапляє у поверхневі водоймища. Аварійні розливи нафти призводять до забруднення й підземних вод.

Критерій відмови – ознака чи сукупність ознак порушення працездатного стану нафтопроводу або його елементу, які встановлені у конструкторській або проектній документації. Критерій відмови повинен установлюватися кожного разу окремо для кожної ситуації, що аналізується, тобто обов'язково потрібно аналізувати наслідки відмови для споживача нафти. Показники надійності відновлюваних об'єктів, до яких відносять і нафтопроводи, наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Показники надійності

Безвідмовність	Ремонтпридатність	Довговічність
Функціональні характеристики		
$F(t)$ $\omega(t)$	$F_B(t)$	$F_D(t)$
Числові характеристики		
T $P(t)$ ω	T_B	T_D

де (t) – інтегральний закон розподілу тривалості безвідмовної роботи;

$F_B(t)$ – інтегральний закон розподілу тривалості відновлення працездатності;

$F_d(t)$ – інтегральний закон розподілу часу до граничного стану;

$P(t)$ – імовірність безвідмовної роботи за час t ;

$\omega(t)$ – параметр потоку відмов;

T – середнє напрацювання на відмову;

T_B – середній час відновлення працездатності;

T_γ – гама-відсотковий ресурс;

ω – середнє значення параметра потоку відмов.

Виділяють такі показники безвідмовності [13; 14]:

– ймовірність безвідмовної роботи – це ймовірність того, що протягом заданого відрізка часу відмова нафтопроводу або його ділянки не відбудеться;

– параметр потоку відмов – це відношення математичного сподівання кількості відмов нафтопроводу або його ділянки до напрацювання за досить малий відрізок часу;

– напрацювання на відмову – це випадковий час роботи нафтопроводу або його ділянки від відновлення після ремонту до наступної відмови.

Важливим завданням є вибір основних показників надійності з указаного переліку показників. У теорії надійності розроблено методику вибору основних показників надійності [15; 16]. Основою такого вибору є домінуючі чинники та наслідки, які виникають у разі відмови.

Кількісною мірою виникнення відмов для систем трубопровідного транспорту доцільно взяти ймовірність виникнення відмови $Q(t)$ протягом часу роботи t . Протилежна їй імовірність $P(t) = 1 - Q(t)$ – це ймовірність безвідмовної роботи нафтопроводів:

$$P(t) = P\{t \geq t_j\}, \quad (1)$$

де t_i – довільний відрізок часу.

Основним показником надійності повинна бути ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$ протягом часу t .

Залежність параметру відмов від строку експлуатації має три періоди (рис. 1):

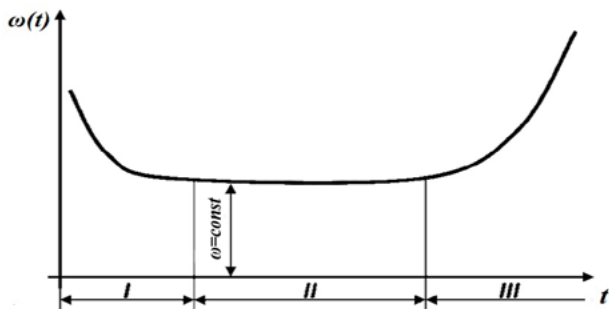


Рис. 1. Залежність параметру відмов від строку експлуатації

I – період початку експлуатації, параметр потоку відмов ω зменшується;

II – період стабільної роботи, параметр потоку відмов $\omega = \text{const}$;

III – період зносу, параметр потоку відмов ω збільшується.

Для розроблення математичної моделі безвідмовності лінійної частини нафтопроводів окремим елементом нафтопроводу прийнято 1 км трубопроводу. Із погляду надійності такий елемент є простим та відновлюваним, а в процесі роботи він може знаходитися лише в двох станах: працездатності та відмови.

Для розрахунку середнього значення питомого параметра потоку відмов ω_{omid} використано формулу:

$$\omega_{\text{omid}} = \frac{n}{t \times \sum L}, \quad 1/\text{рік} \cdot \text{км} \text{ або } 1/\text{год} \cdot \text{км}, \quad (2)$$

де n – кількість відмов ділянок нафтопроводів; t – термін спостереження (роки або години); $\sum L$ – протяжність нафтопроводів, км; w_{0i} – питомий параметр потоку відмов ділянки нафтопроводу i -го діаметра та матеріалу труб, $1/\text{рік} \cdot \text{км}$.

Параметр потоку відмов ділянки нафтопроводу розраховується за формулою:

$$\omega_m = \omega_0 \times L. \quad (3)$$

Напрацювання на відмову нафтопроводу:

$$T = \frac{1}{\omega_m}, \quad \text{год}. \quad (4)$$

Імовірність безвідмовної роботи визначається за формулою:

$$P(t) = e^{-\omega t} \quad (5)$$

Розрахунок надійності нафтотранспортної системи здійснюється за напрямками від нафтоперекачувальної станції до диктувальних споживачів (НПЗ), а саме тих споживачів, які знаходяться в кінцевих вузлах нафтопроводу. Розрахунок виконуємо за такими формулами.

Питомий параметр потоку раптових відмов магистральних нафтопроводів за 10 років, із 2005 по

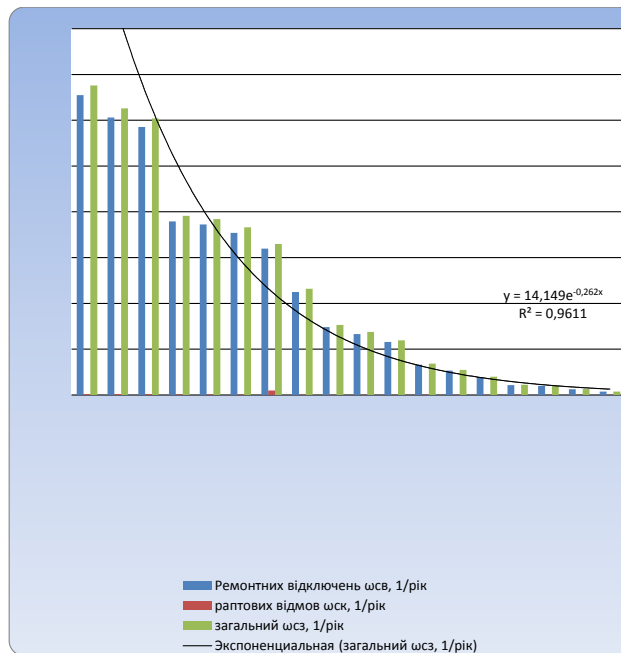


Рис. 2. Розподіл потоку відмов нафтопроводів за протяжністю

2015 р. (згідно зі звітними даними Міністерства надзвичайних ситуацій (МНС)):

$$\omega_{ок} = \frac{13}{10 \times 4767} = 0,00027 \text{ 1/рік} \cdot \text{км}$$

Середнє значення питомого параметра потоку відмов магістральних нафтопроводів України за 10 років, із 2005 по 2015 р. згідно з даними МНС:

$$\omega_{op} = \frac{430}{10 \times 4767} = 0,009 \text{ 1/рік} \cdot \text{км} = 9,0 \times 10^{-3} \text{ 1/рік} \cdot \text{км}$$

Середнє значення питомого параметра потоку ремонтних відключень та раптових відмов магістральних нафтопроводів України за відмовами за період 2005–2015 рр.:

$$\omega_{os} = \frac{443}{10 \times 4767} = 0,00929 \text{ 1/рік} \cdot \text{км} = 9,29 \times 10^{-3} \text{ 1/рік} \cdot \text{км}$$

Розподіл потоку відмов нафтопроводів наведено на рис. 2.

Найбільш небезпечними за показником потоку відмов є нафтопроводи: Мозир – Броди I, II черга; Броди – Держкордон I, II черга; Відвід на Угорщину км 0–21,4; Одеса – Броди.

Середній термін служіння нафтопроводів можна визначити як математичне сподівання напрацювання до відмови для невідновлюваного об'єкта незалежно від виду розподілу.

Перспективи використання результатів дослідження. Оцінка характеристики техногенно-екологічного ризику експлуатації нафтопроводів України дає можливість визначити найбільш ненадійні та екологічно небезпечні ділянки нафтопроводів, що дасть змогу попередити створення аварійних ситуацій та отримати соціальний, економічний та екологічний ефекти від зменшення навантаження на компоненти навколишнього середовища.

Оцінка техногенно-екологічного ризику експлуатації магістральних нафтопроводів дає можливість раціонально спланувати ремонтні роботи, прогнозувати реальні строки роботи конструкції, тим самим забезпечивши екологічно безпечне їх функціонування.

Література

1. Підвищення рівня екологічної безпеки трубопроводних мереж нафтогазового комплексу України / Л.Я. Побережний та ін. *Техногенно-екологічна безпека*. 2017. № 1. С. 24–31.
2. Толковый словарь по метрологии, измерительной технике и управлению качеством: Основные термины. Москва, 1990. С. 317.
3. Андрейцев В.І. Екологічний ризик в системі правовідносин екологічної безпеки: проблеми практичної теорії. *Право України*. 1999. № 1. С. 62–69.
4. Ярчак В. Про екологічний ризик джерел підвищеної екологічної небезпеки. *Вісник Львівського університету. Серія: юридична*. 2009. Вип. 48. С. 209–215.
5. Електрохімічний моніторинг магістральних трубопроводів на корозійно-небезпечних ділянках / С. Поляков та ін. *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. 2008. Спец. вип. № 7. Т. 2. С. 761–766.
6. Ждек А.Я., Грудз В.Я. Визначення залишкового ресурсу тривало експлуатованих нафтопроводів із врахуванням наявних корозійних дефектів та умов експлуатації. *Науковий вісник ІФНТУНГ*. 2012. № 2(32) С. 58–66.
7. URL: <http://nv.nung.edu.ua/sites/nv.nung.edu.ua/files/journals/032/12zaydue.pdf>.
8. Технічний та екологічний ризики при експлуатації магістральних трубопроводів / Я.М. Семчук та ін. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2001. № 1. С. 68–70.
9. Защита металлических сооружений от подземной коррозии : справочник / И.В. Стрижевский и др. ; 2-е изд., перераб. и доп. Москва : Недра, 1981, 293 с.
10. Іванюта С.П., Качинський А.Б. Екологічна та природно-техногенна безпека України: регіональний вимір загроз і ризиків : монографія. Київ : НІСД, 2012. 308 с.
11. Горбулін В.П., Качинський А.Б. Системно-концептуальні засади стратегії національної безпеки України. Київ : Євроатлантикінформ, 2007. 592 с.
12. Качинський А.Б. Безпека, загрози і ризик: наукові концепції та математичні методи. Київ : ІПНБ, НАСБУ, 2004. 472 с.
13. Качинський А.Б. Екологічна безпека України: системний аналіз перспектив покращення. Київ : НІСД, 2001. 312 с.
14. Голинкевич Т.А. Прикладная теория надежности. Москва : Высш. школа, 1977. 160 с.
15. Калинин В.М. Оценка безотказности и прогнозирование долговечности трубопроводов подземной прокладки. *Водоочистка*. 2006. № 11. С. 61–66. URL: http://twf.mpei.ac.ru/ОСНКОВ/Vodoochistka/Ochkov_11.pdf.
16. Методика выбора номенклатуры нормируемых показателей надежности технических устройств: МУ 3-69. Москва : Изд-во стандартов, 1970. 39 с.
17. Новохатній В.Г., Матяш О.В. Ремонтопридатність металевих водопровідних труб. *Науковий вісник будівництва*. 2015. № 2(80). С. 254–257.