



Прийнято 10.06.2025. Прорецензовано 13.06.2025. Опубліковано 20.06.2025.

УДК 622.691

DOI: 10.31471/1993-9868-2025-1(43)-117-125

ДО ПИТАННЯ ПРО МОЖЛИВІСТЬ СКОРОЧЕННЯ ОХОРОННИХ ЗОН ЛІНІЙНОЇ ЧАСТИНИ ГАЗОТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

Володимир Грудз

Доктор технічних наук, професор
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-1182-2512>
e-mail: volodymyr.hrudz@nung.edu.ua

Ярослав Грудз

Доктор технічних наук, професор
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна
<https://orcid.org/0009-0004-0529-376X>
e-mail: yaroslav.hrudz@nung.edu.ua

Василь Запукхляк*

Доктор технічних наук, професор
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-2502-3896>
e-mail: vasyi.zapukhliak@nung.edu.ua

Андрій Дзюбик

Кандидат технічних наук, доцент
Національний університет «Львівська Політехніка»
вул. Степана Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-2091-171X>
e-mail: dar.lviv@gmail.com

Роман Малютін

Генеральний директор
АТ «Укртрансгаз»
Кловський узвіз, 9/1, м. Київ, 01021, Україна
<https://orcid.org/0009-0001-6816-8956>
e-mail: forletter@utg.ua

Анотація. Роботу присвячено встановленню закономірностей процесу старіння лінійної частини магістральних газопроводів у період їх тривалої експлуатації, оцінки показників надійності і прогнозування інтенсивності аварійних відмов на майбутній термін їх функціонування, на основі отриманої інформації оцінки можливості

Запропоноване посилання: Грудз, В., Грудз, Я., Запукхляк, В., Дзюбик, А., & Малютін, Р. (2025). До питання про можливість скорочення охоронних зон лінійної частини газотранспортних систем. Нафтогазова енергетика, 1(43), 117-125. doi: 10.31471/1993-9868-2025-1(43)-117-125.

* Відповідальний автор



Copyright © The Author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

скорочення території охоронних зон лінійної частини та заходів безпеки подальшої роботи. На основі фактичної інформації про передісторію експлуатації газопроводу Братерство створено стохастичну модель дослідження залежності інтенсивності аварійних відмов лінійної частини від терміну експлуатації, в основу якої покладено розподіл Вейбулла. Поліноміальна апроксимація встановленої залежності в період старіння лінійної частини газопроводу дозволяє прогнозувати інтенсивність аварійних відмов газопроводу на майбутній термін функціонування, що дає змогу встановити економічні та екологічні збитки в майбутньому на площах території охоронних зон. Однак застосування апроксимуючих функцій має поряд із перевагами серйозний недолік, оскільки прогнозування стану об'єкта з застосуванням відповідних формул ускладнює процес прогнозування. Тому після вибору і обчислення коефіцієнтів будь-якого апроксимуючого виразу його слід перетворити у визначену функцію, для якої розробляється апарат прогнозування. Це єдиний шлях використання широкого класу апроксимуючих виразів за відносно негроздкого математичного забезпечення прогнозування. З іншого боку, скорочення території охоронних зон дозволить використати їх площі в народному господарстві, що принесе в майбутньому певний прибуток державі. Таким чином, сформульовано оптимізаційну задачу визначення раціональних розмірів охоронної зони при забезпеченні надійної експлуатації газопроводу. Наведено метод побудови функції мети на основі створеної стохастичної моделі та алгоритм її реалізації в конкретних умовах експлуатації газопроводу. Підкреслюється, що за необхідності скорочення площі охоронної зони в конкретному випадку необхідно провести детальні обстеження технічного стану газопроводу і прийняти міри для забезпечення показників надійності його експлуатації на належному рівні. Запропоновано на основі результатів досліджень принцип оптимізації території охоронних зон газотранспортної системи в умовах тривалого експлуатаційного періоду за критерієм мінімальних витрат на транспорт газу при максимальному рівні надійності газопостачання.

Ключові слова: газотранспортна система; охоронні зони; інтенсивність відмов; надійність функціонування; економічні та екологічні збитки; функція мети; оптимізація.

Вступ

Магістральні газопроводи, як складова частина системи транспортування газу, являють собою об'єкти підвищеної небезпеки стосовно їх впливу на довкілля як з екологічної, так і з економічної точок зору. Тому з метою обмеження їх шкідливого впливу вводяться експлуатаційні обмеження, обумовлені відповідними керівними документами і правилами. До таких обмежень на лінійній частині газопроводів відносяться охоронні зони, ширина яких обумовлена відповідними стандартами, залежить від класу газопроводу, умов і термінів експлуатації, всередині яких заборонено проведення відповідних робіт, не пов'язаних з експлуатацією газотранспортної системи.

Газотранспортна система України включає комплекс газопроводів загальною довжиною 34,8 тис. км, в тому числі магістральних – протяжністю 12,5 тис. км. Для їх безпечної експлуатації сумарна площа охоронних зон складає значну територію, на якій заборонено проведення господарських робіт, в тому числі будівельних, сільськогосподарських та ін. Скорочення площ заборонних зон дозволить ширше використати природні резерви, що приведе до зростання прибутку держави. З іншого боку, підвищена небезпека в охоронних зонах призведе до суттєвих економічних і екологічних втрат у випадку аварійних ситуацій на лінійній частині газопроводів. Тому задача вибору ширини охоронних зон з метою збільшення прибутку держави від ефективного ви-

користання виділених територій і мінімізації економічних та екологічних втрат при аварійних ситуаціях газотранспортної системи відноситься до класу оптимізаційних процедур.

Аналіз літературних джерел

Основні відомості про безпеку спорудження та експлуатації трубопровідних систем зібрано і систематизовано в [1]. Зокрема, подано науково-технічні основи безпеки захисту від аварій та катастроф на об'єктах систем трубопровідного транспорту, конструктивної надійності трубопровідних систем, а також наведено нормативну базу їх безпеки. Показано вплив вдосконалення технології ремонтних робіт на лінійній частині газопроводів на експлуатаційну надійність. Технічні засоби і технологія відновлювальних робіт на лінійній частині газопроводів наведена в [2]. Екологічні аспекти раціональної експлуатації газонафтопроводів в складних умовах наведено в [3], а ефекти забезпечення міцності трубопроводів викладено в [4]. Автори звертають особливу увагу на відведення охоронних зон і їх роль в забезпеченні надійної і безпечної експлуатації систем трубопровідного транспорту енергоносіїв. Однак в наведених літературних джерелах відсутня інформація що до методики встановлення габаритів охоронних зон з точки зору безпечної експлуатації об'єктів трубопровідних магістралей.

Висвітлення невирішених раніше частин загальної проблеми

Аналіз науково-технічних джерел засвідчує, що питання конструктивної надійності, технології ремонтних робіт та загальні принципи безпеки експлуатації магістральних трубопроводів висвітлені досить повно. Існуюча нормативна база регламентує необхідність встановлення охоронних зон як ключового елемента запобігання аваріям та мінімізації їх наслідків.

Проте, незважаючи на значну кількість праць у суміжних галузях, питання наукового обґрунтування габаритів цих зон залишається практично невирішеним. Аналіз показує, що наявні стандарти встановлюють ширину охоронних зон переважно на основі статичних параметрів (діаметр труби, клас газопроводу), не враховуючи динаміку зміни технічного стану та надійності конкретної ділянки в процесі її тривалої експлуатації та неминучого старіння.

Зокрема, невирішеними залишаються такі аспекти загальної проблеми, як:

- відсутність методики динамічного визначення розмірів охоронних зон;
- несформульованість оптимізаційної задачі вибору розмірів охоронної зони;
- брак адекватного математичного апарату для прогнозування.

Таким чином, головною невирішеною частиною загальної проблеми є відсутність науково-технічного обґрунтування та методики для визначення оптимальних, економічно доцільних та технічно обґрунтованих розмірів охоронних зон з урахуванням реального технічного стану і прогнозованої надійності магістральних газопроводів на тривалу перспективу.

Мета дослідження – науково-технічне обґрунтування вибору габаритів охоронних зон систем транспортування газу та розробка методики визначення оптимальних їх розмірів для безпечної експлуатації об'єктів трубопроводного транспорту енергоносіїв.

Дослідження

Безпеку функціонування лінійної частини магістральних газопроводів оцінюють показниками міцності трубопроводу та тенденціями їх зміни в процесі тривалої експлуатації, які залежать від багатьох технічних і природних чинників. Тому достовірне прогнозування характеру тренду технічного стану лінійної частини трубопроводів аналітичними методами, що базуються на створенні і реалізації матема-

тичних моделей, не є можливим. В такому випадку єдиними заходами дослідження стають стохастичні моделі, що базуються на законах теорії ймовірності і математичної статистики, а вихідною інформацією служать дані про передісторію експлуатації об'єкта.

Як відомо [5,6,7], характер зміни технічного стану газопроводу в процесі експлуатації, як і будь-якого технічного об'єкта, оцінюється інтенсивністю аварійних відмов. Якщо за період часу експлуатації T відбулося n аварійних відмов, то їх інтенсивність за цей період складає

$$\lambda(t) = n / T. \quad (1)$$

Лінійна частина магістрального газопроводу від початку до кінця експлуатації проходить три найбільш характерні періоди, які відображає розподіл Вейбулла [5].

$$f(t, \lambda, k) = \frac{k}{\lambda} e^{-\left(\frac{t}{\lambda}\right)^k}, \quad (2)$$

де $k > 0$ визначає форму графіку, а $\lambda > 0$ – калу розподілу.

Період припрацювання характеризується високою інтенсивністю відмов, викликаних відхиленням від вимог конструкторсько-технологічної документації, що розподіляються за законом розподілу Вейбулла й усуваються за рахунок введення технологічного припрацювання [6,7,8].

Період нормальної експлуатації характеризується мінімальною і постійною інтенсивностями відмов. Ці відмови вважаються раптовими, мають випадковий характер і розподіляються, як правило, за експоненціальним законом розподілу; інтенсивність відмов залишається приблизно однаковою.

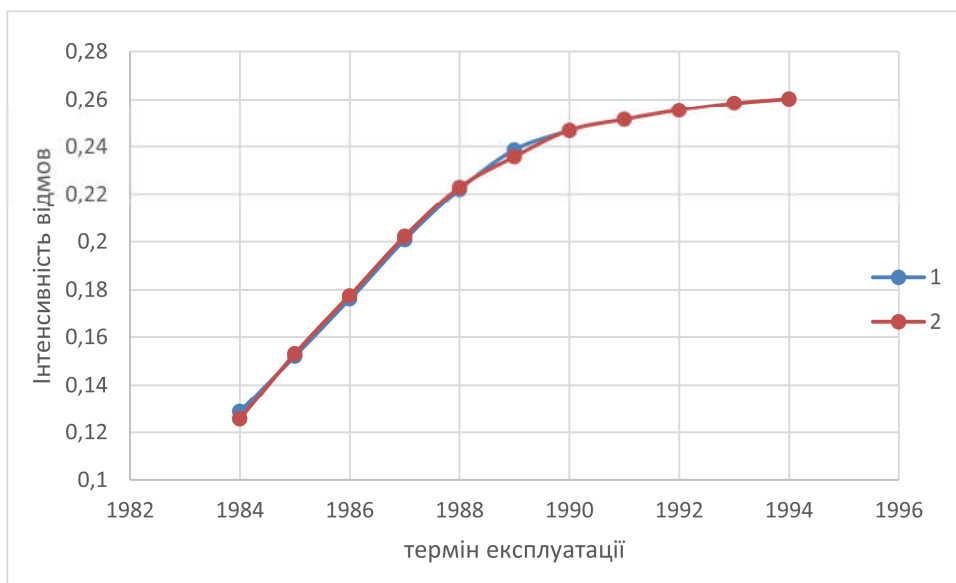
Період старіння характеризується різким збільшенням інтенсивності відмов, що розподіляються за нормальним законом розподілу; інтенсивність відмов постійно зростає.

На основі фактичних даних про експлуатацію ділянки газопроводу «Братерство» (ДУД-2) на ділянці Долина-Россош за період 1975-1990 рр. [8, 9] побудовано залежність імовірності відмов від напрацювання на основі (1), яка наведена на рисунку 1.

Магістральні газопроводи газотранспортної системи України є тривало-експлуатованими об'єктами і знаходяться на стадії старіння, тому важливою характеристикою надійності є збільшення інтенсивності відмов, що розподіляються за нормальним законом; інтенсивність відмов постійно зростає. Залежність інтенсивності відмов, як приклад для лінійної частини газопроводу «Братерство» (ДУД-2) на



Рисуюнок 1 – Розподіл інтенсивності аварійних відмов лінійної частини газопроводу «Братерство»



1 – розподіл Вейбулла; 2 – апроксимація

Рисуюнок 2 – Залежність інтенсивності аварійних відмов лінійної частини газопроводу «Братерство» по роках експлуатації та її поліноміальна апроксимація

ділянки Долина-Россош за період 1984-1990, а також її апроксимацію поліномом четвертого степеня, наведено на рисунку 2.

Апроксимація статистичної залежності інтенсивності відмов від тривалості експлуатації лінійної частини газопроводу дозволяє зробити прогноз інтенсивності відмов на половинну часового інтервалу [9,10], що на основі (1) дає змогу зробити прогноз кількості аварійних ситуацій в майбутньому.

Статистика аварійних відмов дає інформацію про наслідки кожної з аварій і вартість відновлення системи. Якщо для i -тої аварії збитки з урахуванням затрат на відновлення склали S_i та при цьому тривалість процесу складала T_{ai} на території площею F_i , то питомі

збитки від відмови можна подати у вигляді [10,11].

$$Z_{pi} = S_i / T_{ai} F_i . \quad (3)$$

Середнє значення питомих збитків за мінутний період експлуатації газопроводу T_n , в якому спостерігалось N аварійних відмов, складають

$$Z_{pcp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Z_{pi} . \quad (4)$$

Тоді сумарні збитки від m аварійних відмов у майбутньому періоді експлуатації тривалістю T_m складуть [11,12].

$$S_m = m Z_{pcp} T_m F , \quad (5)$$

де F – площа території охоронних зон, пошкоджена в результаті аварій.

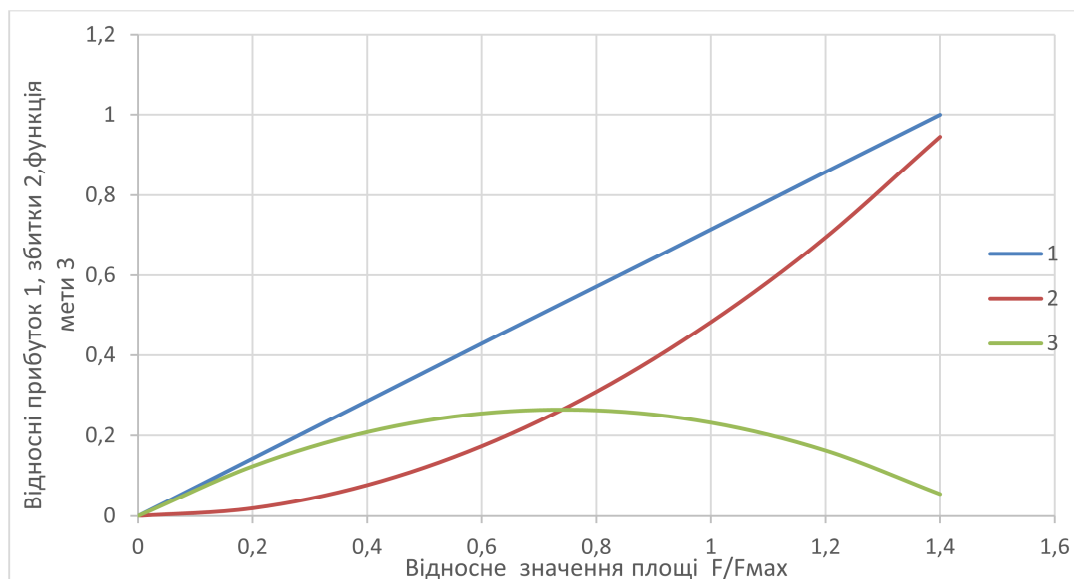


Рисунок 3 – Побудова функції мети

Очевидно, що зменшення площі території охоронних зон на величину ΔF призведе до зростання збитків від майбутніх аварій [11-14]. Однак, при цьому використання звільнених територій в народному господарстві принесе загальнодержавний прибуток

$$P = p\Delta F, \quad (6)$$

де p – питомий загальнодержавний прибуток з одиниці площі території.

Таким чином, скорочення площ охоронних зон дозволить ширше використати природні резерви, що приведе до зростання прибутку держави, з одного боку, а, з іншого, підвищена небезпека в охоронних зонах призведе у випадку аварій до зростання збитків, суттєвих у випадку аварійних ситуацій на лінійній частині газопроводів. Такий висновок дозволяє побудувати функцію мети, яка досягає екстремуму при оптимальному значенні площі території охоронних зон.

$$f = P - S_m = p\Delta F - mZ_{\text{ср}} T_m F. \quad (7)$$

Дослідження функції мети (7) на екстремум може проводитись різними методами. Зокрема, виразивши складові функції аналітичними їх залежностями [11,14], можна одержати рівняння для знаходження оптимальної площі території охоронних зон у вигляді

$$\frac{\partial f}{\partial F} = 0. \quad (8)$$

Однак, найбільш раціональним в даному випадку є метод конкуруючих варіантів, згідно з яким задаються рядом значень площі території охоронних зон, і для кожного з варіантів за (7) розраховують значення функції мети, використовуючи наведений алгоритм.

Обговорення результатів дослідження

На основі наведеного алгоритму розраховано для умов газопроводу «Братерство» за період 1984–1994 рр. прибуток від скорочення площі охоронних зон за (6), збитки від аварій як функцію площі території забруднення за (5) і функцію мети за (7). Слід зауважити, що внаслідок нестабільності цінової політики в країні на той період вихідні дані приймалися наближеними, і результати у відносних (відносно максимуму) величинах використані для ілюстрації прикладу застосування запропонованого алгоритму і не можуть служити основою для вибору площі території охоронних зон. Однак, як проілюстровано на рисунку 3, функція мети досягає максимуму при відносному значенні площі території охоронної зони $F/F_{\text{max}}=0,82$ (F_{max} – площа існуючої території охоронної зони). Це значить, що площу території охоронної зони слід скоротити на 18% для досягнення максимального прибутку від використання території. Проте цей висновок слід розглядати як теоретичний, оскільки площі територій в охоронній зоні можуть мати різну цінову привабливість і різний ефект від використання.

Очевидно, що за вказаним алгоритмом на основі існуючої достовірної інформації про надійність газопроводів, які знаходяться в експлуатації, можна провести розрахунки для побудови функції мети і на їх основі визначити оптимальні розміри охоронних зон для кожного газопроводу.

За необхідності скорочення розмірів охоронної зони в конкретному випадку необхідно провести детальні обстеження технічного ста-

ну газопроводу в даному регіоні і, за необхідності прийняти заходи щодо забезпечення надійності його експлуатації на належному рівні [15-18].

Висновки

Проведені дослідження технічного стану і показників надійності експлуатації лінійної частини магістральних газопроводів дозволяють встановити прогноз аварійних відмов системи на майбутній період їх функціонування, що в комплексі з аналізом збитків від пошкоджень дає змогу оцінити прийдешні економічні та екологічні втрати. На основі проведених досліджень побудовано алгоритм побудови залежності майбутніх збитків від площі тери-

торії охоронних зон з метою використання їх територій в народногосподарських заходах. При цьому зауважено, що при необхідності скорочення площі охоронної зони в конкретному випадку необхідно провести детальні обстеження технічного стану газопроводу і прийняти міри для забезпечення показників надійності його експлуатації на належному рівні.

Подяки

Відсутні.

Конфлікт інтересів

Відсутні.

Список використаних джерел

1. Singh R. Pipeline integrity handbook: Risk management and evaluation (2nd ed.). Gulf Professional Publishing. 2017. 317 p. ISBN: 978-0-12-813045-2.
2. Петровський Б.С., Лаус А.І., Савула С.Ф. та ін. Відновлення герметичності запірної арматури магістральних газопроводів. Тернопіль: Богдан, 2007. 170 с.
3. Клюк Б.О. Газонафтопроводи: оптимізація їх спорудження, експлуатації та захист природи. Харків: УкрНДІГаз, 2000. 186 с.
4. Осадчук В.А., Андрейків О.Є., Банахевич Ю.В. та ін. Залишкова міцність та довговічність ділянок нафтогазопроводів з дефектами. Львів: Львівська політехніка, 2014. 264 с.
5. Надійність сільськогосподарської техніки: Підручник / М.І. Черновол, В.Ю. Черкун, В.В. Аулін та ін.; За заг. ред. М.І. Черновола. Кіровоград: ТОВ «КОД», 2010. 320 с.
6. Карташов М. В. Імовірність, процеси, статистика. Київ : ВПЦ Київський університет, 2007. 504 с.
7. Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними: ДСТУ 3004-95.-К.: Держстандарт України, 1995. 51 с.
8. Степ'юк М. Д. Моделювання залежності кількості аварійних зупинок від напруження ГПА в умовах КС: збірник матеріалів Всеукраїнської науково-практичної конференції «Передовий науково-практичний досвід – 2009». Миколаїв: НУК, 2009. С. 159–164.
9. Revie R. W. Oil and gas pipelines: Integrity and safety handbook. John Wiley & Sons. 2015. XXXVI, 816 p.
10. Гнеденко Б. В. Курс теорії ймовірностей: підручник. К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2010. 464 с. ISBN 978-966-439-206-5
11. Ковалко М.П., Грудз В.Я., Михалків В.Б. та ін. Трубопровідний транспорт газу. Київ: АренаЕКО, 2002. 600 с.
12. Будзуляк Б.В. Методология повышения эффективности эксплуатации системы трубопроводного транспорта газа на стадии развития и реконструкции. Москва: Недра, 2003. 170 с.
13. Говдяк Р.М., Семчук Я.М., Чабанович Л.Б. та ін. Енергетична безпека нафтогазових об'єктів. Івано-Франківськ, Лілея НВ, 2007. 554 с.
14. Крижанівський Є.І., Гончарук М.І., Грудз В.Я. та ін. Енергетична безпека держави: високоефективні технології видобування, постачання і використання природного газу. Київ, Інтерпрес ЛТД, 2006. 283 с.
15. Francis K . Gip . New operation strategies in heavy crycle pipeline will increase profit margin. Oil & Gas journal. 2003. № 10. P. 60-64.
16. Янів П.П., Грабовський Р.С., Болонний В.Т., Ждек А.Я. Прогнозування параметрів надійності і довговічності роботи неізотермічних нафтопроводів на основі фактичних режимів транспортування нафти. Міжвузівський збірник "Наукові нотатки". 2010. № 29. С. 251 – 258.
17. Хрутьба В.О. Вайганг Г.О., Стегній О.М. Аналіз екологічних небезпек під час експлуатації та ремонту магістральних трубопроводів. Екологічна безпека. 2017. №2(24). С. 75 – 82.

18. Entezari E., González-Velázquez J. L., Rivas López D., Zúñiga M. A. B., Szpunar J. A. Review of Current Developments on High Strength Pipeline Steels for HIC Inducing Service . *Fracture and Structural Integrity*, 2022. №16(61), P. 20–45. <https://doi.org/10.3221/IGF-ESIS.61.02>

References

1. Singh R. Pipeline integrity handbook: Risk management and evaluation (2nd ed.). Gulf Professional Publishing. 2017. 317 p. ISBN: 978-0-12-813045-2.
2. Petrovskyi B.S., Laus A.I., Savula S.F. et. al. Vidnovlennia hermetychnosti zapirnoi armatury mahistralnykh hazoprovodiv. Ternopil: Bohdan, 2007. 170 p. [in Ukrainian]
3. Kliuk B.O. Hazonaftoprovody: optymizatsiia yikh sporudzhennia, ekspluatatsii ta zakhyst pryrody. Kharkiv: UkrNDIHaz, 2000. 186 p. [in Ukrainian]
4. Osadchuk V.A., Andreikiv O.Ie., Banakhevych Yu.V. et. al. Zalyshkova mitsnist ta dovhovichnist dilianok naftohazoprovodiv z defektamy. Lviv: Lvivska politekhnika, 2014. 264 p. [in Ukrainian]
5. Nadiinist silskohospodarskoi tekhniki: Pidruchnyk / M.I. Chernovol, V.Iu. Cherkun, V.V. Aulin ta in.; Za zah. red. M.I. Chernovola. Kirovohrad: TOV «KOD», 2010. 320 p. [in Ukrainian]
6. Kartashov M. V. Imovirnist, protsesy, statystyka. Kyiv : VPTs Kyivskiy universytet, 2007. 504 p. [in Ukrainian]
7. Nadiinist tekhniki. Metody otsinky pokaznykiv nadiinosti za eksperymentalnymy danymy: DSTU 3004-95.-K.: Derzhstandart Ukrainy, 1995. 51 p. [in Ukrainian]
8. Stepiuk M. D. Modeliuvannia zalezhnosti kilkosti avariinykh zupynok vid napratsiuvannia HPA v umovakh KS: zbirnyk materialiv Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Peredovyi naukovo-praktychnyi dosvid – 2009». Mykolaiv: NUK, 2009. P. 159–164. [in Ukrainian]
9. Revie R. W. Oil and gas pipelines: Integrity and safety handbook. *John Wiley & Sons*. 2015. XXXVI, 816 p.
10. Hniedenko B. V. Kurs teorii ymovirnostei: pidruchnyk. K.: Vydavnycho-polihrafichnyi tsentr "Kyivskiy universytet", 2010. 464 p. ISBN 978-966-439-206-5 [in Ukrainian]
11. Kovalko M.P., Hrudz V.Ia., Mykhalkiv V.B. et. al. Truboprovodnyi transport hazu. Kyiv: ArenaEKO, 2002. 600 p. [in Ukrainian]
12. Budzuliak B.V. Metodolohiya povysheniya efektyvnosti ekspluatatsiy systemy truboprovodnoho transporta haza na stadii razvytiya y rekonstruktsiy. Moskva: Nedra, 2003. 170 p. [in Russian]
13. Hovdiak R.M., Semchuk Ya.M., Chabanovych L.B. et. al. Enerhekolohichna bezpeka naftohazovykh ob'ektiv. Ivano-Frankivsk, Lileia NV, 2007. 554 p. [in Ukrainian]
14. Kryzhanivskiy Ye.I., Honcharuk M.I., Hrudz V.Ia. et. al. Enerhetichna bezpeka derzhavy: vysokoefektyvni tekhnolohii vydobuvannia, postachannia i vykorystannia pryrodnoho hazu. Kyiv: Interpres LTD, 2006. 283 p. [in Ukrainian]
15. Francis K. . Gip . New operation strategies in heavy crycle pipeline will increase profit margin. *Oil & Gas journal*. 2003. No 10. P. 60-64.
16. Ianiv P.P., Hrabovskyi R.S., Bolonnyi V.T., Zhdek A. Ia. Prohnozuvannia parametriv nadiinosti i dovhovichnosti roboty neizotermichnykh naftoprovodiv na osnovi faktychnykh rezhymiv transportuvannia nafty. *Mizhvuzivskiy zbirnyk "Naukovi notatky"*. 2010. No 29. P. 251–258. [in Ukrainian]
17. Khrutba V.O. Vaihanh H.O., Stehni O.M. Analiz ekolohichnykh nebezpek pid chas ekspluatatsii ta remontu mahistralnykh truboprovodiv. *Ekolohichna bezpeka*. 2017. No 2(24). P. 75–82. [in Ukrainian]
18. Entezari E., González-Velázquez J. L., Rivas López D., Zúñiga M. A. B., Szpunar J. A. Review of Current Developments on High Strength Pipeline Steels for HIC Inducing Service . *Fracture and Structural Integrity*, 2022. No 16(61). P. 20–45. <https://doi.org/10.3221/IGF-ESIS.61.02>

ON THE QUESTION OF THE POSSIBILITY OF REDUCING PROTECTIVE ZONES OF THE LINEAR PART OF GAS TRANSPORTATION SYSTEMS

Volodymyr Hrudz

Dc of Technical Sciences, professor
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas
15, Karpatska Str., Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-1182-2512>
e-mail: volodymyr.hrudz@nung.edu.ua, srgg429@gmail.com

Yaroslav Hrudz

Dc of Technical Sciences, professor
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas
15, Karpatska Str., Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine
<https://orcid.org/0009-0004-0529-376X>
e-mail: yaroslav.hrudz@nung.edu.ua

Vasyl Zapukhliak

Dc of Technical Sciences, professor
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas
15, Karpatska Str., Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-2502-3896>
e-mail: vasyi.zapukhliak@nung.edu.ua

Andrii Dziubyk

Candidate of Technical Sciences, associate professor
Lviv Polytechnic National University
12, Stepan Bandera Str., Lviv, 79013, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-2091-171X>
e-mail: dar.lviv@gmail.com

Roman Maliutin

CEO
JSC «Ukrtransgaz»
9/1, Klovskiy Uzviz, Kyiv, 01021, Ukraine
<https://orcid.org/0009-0001-6816-8956>
e-mail: forletter@utg.ua

Abstract. The work is devoted to establishing the regularities of the aging process of the linear part of the main gas pipelines during their long-term operation, assessing reliability indicators and predicting the intensity of emergency failures for the future period of their operation, based on the information received, assessing the possibility of reducing the territory of the protection zones of the linear part and safety measures for further work. Based on actual information about the history of the operation of the Brotherhood gas pipeline, a stochastic model for studying the dependence of the intensity of emergency failures of the linear part on the period of operation was created, which is based on the Weibull distribution. Polynomial approximation of the established dependence during the aging period of the linear part of the gas pipeline allows predicting the intensity of emergency failures of the gas pipeline for the future period of operation, which makes it possible to establish economic and environmental losses in the future on the areas of the territory of the protection zones. However, the use of approximating functions has, along with its advantages, a serious drawback, since predicting the state of the object using the appropriate formulas complicates the forecasting process. Therefore, after selecting and calculating the coefficients of any approximating expression, it should be transformed into a specific function for which the forecasting apparatus is developed. This is the only way to use a wide class of approximating expressions with a relatively uncomplicated mathematical support for forecasting. On the other hand, reducing the territory of the protection zones will allow their areas to be used in the national economy, which will bring a certain profit to the state in the future. Thus, the optimization problem of determining the rational size of the protection zone while ensuring reliable operation of the gas pipeline is formulated. A method for constructing the objective function

based on the created stochastic model and an algorithm for its implementation in specific conditions of gas pipeline operation are presented. It is emphasized that if it is necessary to reduce the area of the protection zone in a specific case, it is necessary to conduct detailed inspections of the technical condition of the gas pipeline and take measures to ensure the reliability indicators of its operation at the proper level. Based on the research results, a principle for optimizing the territory of the protection zones of the gas transportation system in conditions of a long operating period is proposed according to the criterion of minimum costs for gas transportation with a maximum level of gas supply reliability.

Keywords: gas transportation system; protection zones; failure intensity; reliability of operation; economic and environmental losses; objective function; optimization.