

## АНАЛІЗ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВОДІВ

**Р. Т. Мартинюк, В. В. Тирлич**

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;  
76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15;  
тел. 72-71-38; e-mail: snp@nupq.edu.ua*

*Трубопроводи – найекономічніший спосіб транспортування нафти, нафтопродуктів і газу з місць видобутку та первинної підготовки на великі відстані найкоротшим шляхом з найменшими втратами до районів їх використання і переробки.*

*Значні терміни експлуатації та експлуатаційні чинники (вібраційне, статичне та динамічне навантаження, пошкодження ізоляційного покриття, просідання ґрунту, виникнення розмитих ділянок) викликають втомні та корозійно-втомні пошкодження елементів трубопроводів, що, у свою чергу, призводить до їх руйнування, завдає значних економічних втрат та є небезпечним явищем з точки зору безпеки і екології.*

*Україна володіє розвиненою мережею трубопроводів для транспортування природного газу й нафти і продуктопроводів. Магістральні трубопроводи – наймасштабніші підземні споруди, робота яких залежить від особливостей взаємодії з навколишнім середовищем. Розташування трубопроводів у важкодоступних місцях ускладнює їх діагностування, що збільшує імовірність виникнення відмов [1]. Навіть незначні відхилення дійсних умов експлуатації від прийнятих за початкові можуть призвести всю систему трубопроводів до граничного стану.*

*Траси магістральних нафто- та газопроводів проходять через природні (озера, болота, ріки тощо) та штучні (залізничні колії, автошляхи тощо) перешкоди.*

*Трубопроводи в економічному плані – надійний та екологічно безпечний спосіб транспортування вуглеводнів. Їх переваги досягаються завдяки хорошим проектам, якісному обладнанню, матеріалам та дотриманням проектних параметрів під час будівництва та експлуатації. Однак ці складові не завжди витримуються в результаті чого відбуваються аварії й відмови на трубопроводах. Також аварійні ситуації пов'язують з їх терміном експлуатації.*

**Ключові слова:** *транспортування вуглеводнів, проектні параметри, відмови трубопроводів, аварійні ситуації, втомні пошкодження, діагностування, корозійно-втомні пошкодження, умови експлуатації, терміни експлуатації газопроводів.*

### Актуальність теми

Аналізуючи аварії, які відбулися на трубопроводах, можна зазначити, що їх основними причинами у більшості випадків є втомні та корозійно-втомні пошкодження. Щодо аварій морських трубопроводів, то більшість з них (75%) викликані дією хвиль та течій на їх розмитих ділянках. Вплив цих факторів є не тільки найнебезпечнішим, але і найменш прогнозованим. Під час експлуатації трубопроводів також спостерігаються пульсації тиску перекачуваного середовища. Їх дія призводить до збільшення впливу втомних та корозійно-втомних пошкоджень, і, як наслідок, до руйнування трубопроводу.

Оскільки трубопроводи експлуатуються переважно у постійному режимі, то для проведення поточних і капітальних ремонтів необхідно їх зупиняти, що не завжди можливо. Тому актуальним залишається питання прогнозування втомної та корозійно-втомної довговічності трубопроводів з врахуванням експлуатаційних факторів та розроблення заходів для подовження терміну їх експлуатації.

Структура газопроводів України за термінами експлуатації зображена на рисунку 1 [5].

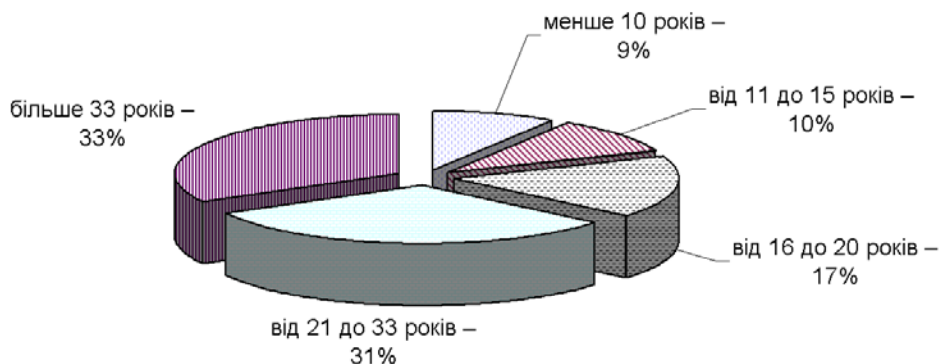


Рис. 1. Розподіл газопроводів за терміном експлуатації

Як видно з рис. 1 термін експлуатації газопроводів складає від 20 до 44 років. Більшість із них (90 %) відпрацювали свій амортизаційний період.

Дослідженню впливу експлуатаційних навантажень на газопроводи приділялась значна увага, у результаті чого встановлено, що навантаження, які діють підземний газопровід.

Навантаження, що діють на підземний газопровід, змінюються за величиною, напрямом, частотою та інтенсивністю у широкому діапазоні. Одночасна їх дія можлива в найрізноманітніших комбінаціях. Деякі навантаження можуть бути визначені з достатньою точністю, але переважна більшість з них обчислюється надто наближено. Зокрема, це стосується навантажень, що залежать від зовнішніх впливів на газопровід,

і є непостійними навіть на дуже коротких ділянках траси. Перелічені навантаження та зовнішні впливи не вичерпують всієї сукупності взаємодії середовища з газопроводом. У процесі експлуатації проявляється така велика кількість статичних та динамічних силових чинників, зумовлених специфікою середовища та умовами роботи газопроводу, що прогнозування їх величини та діапазону зміни сучасними методами виявляється недостатньо достовірним. Так, важко передбачити фактичне спрацювання труб та зміну перерізу газопроводу по всій протяжності під час експлуатації. Крім того існує імовірність виникнення випадкових навантажень.

Конфігурація лінійної частини газопроводу у процесі експлуатації такі ж різноманітні, як профіль траси газопроводу. Такі умови експлуатації газопроводів призводять до послідовного накопичення дефектів у матеріалах труб та наступного їх руйнування.

Аварії та аварійні ситуації на газопроводах викликані тим, що в процесі експлуатації стан труб та обладнання з часом погіршується. На них діють корозія, ерозійний знос, в стінках труб від змінних напружень утворюються втомні тріщини. Через розвиток дефектів доводиться знижувати тиск транспортованого продукту в магістральних газопроводах, що призводить до зниження об'єму перекачуваних вуглеводнів. Дефекти можуть бути причиною аварії на газопроводах. Ці аварії пов'язані з великими збитками і часто з важкими наслідками, тому прогнозування технічного стану газопроводів є однією з першочергових проблем галузі.

Аварії газопроводів і обладнання є результатом не тільки фізичного зношування труб, але і недостатнього застосування ефективних засобів неруйнівного контролю. Аварії і зупинки магістральних газопроводів призводять до втрати перекачуваного продукту і потребують затрат на ремонтно-відновлювальні роботи. Збільшення діаметрів газопроводів і подовження трас вимагають більшого часу на ліквідацію аварії.

Руйнування газопроводів часто супроводжуються пожежами і вибухами, забрудненням водою, ґрунту і повітряного басейну, що згубно впливає на флору і фауну. Відмови газопроводів виникають під дією двох груп факторів пов'язаних зі:

- 1) зниженням експлуатаційної здатності газопроводу під дією дефектів локального характеру, які є концентраторами напружень, заводського браку – металургійних дефектів у тілі труби у вигляді розшарування, тріщин, дефектів зварювання, пошкодження стінки труби та порушення цілісності ізоляції при будівельно-монтажних роботах, корозії металу труби;

- 2) збільшенням зовнішніх навантажень та тиску внаслідок порушення режимів перекачування газопроводом, поздовжніх зусиль від

температурних коливань зовнішнього середовища, випадкових навантажень, які викликають місцевий згин газопроводу в ґрунті.

Вплив різних факторів на надійність лінійної частини магістрального газопроводу нерівноцінний (рис. 2).

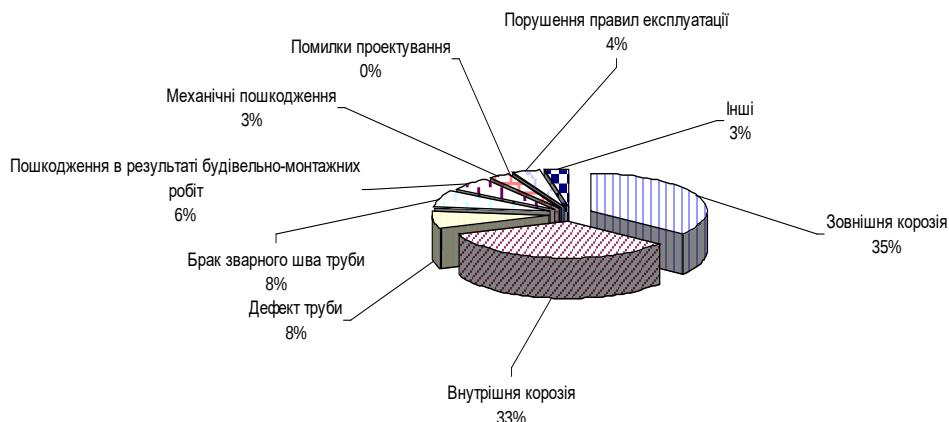


Рис. 2. Причини аварій та руйнувань лінійної частини магістральних газопроводів за 15 років експлуатації

Найчастіше до руйнування газопроводу призводить одночасна дія факторів обох груп. З досвіду експлуатації встановлено найбільш повторювані комбінації цих факторів:

- корозійне пошкодження металу стінки труби з подальшим виникненням та розвитком тріщин;
- зародження та розвиток тріщин під дією квазістатичного навантаження в місцях дефектів металу.

Причиною відмови можуть бути початкові дефекти, яких неможливо уникнути при високих вимогах до процесу виготовлення та монтажу. Аналогічно існують дефекти, що виникають в металі під дією навантажень під час експлуатації.

Розвиток корозії має специфічний характер: стінки газопроводу зазнають корозивної дії як з внутрішньої, так із зовнішньої сторони. Корозія внутрішніх стінок труби спостерігається переважно в газопроводах, прокладених під землею [3].

Внутрішня поверхня газопроводу піддається впливу корозійно-активних агентів, газоконденсату та газу.

Механічна обробка поверхні труб (наприклад, зачищення скребками) приводить до неоднорідності фізико-механічного стану поверхневого шару і викликає сильну електрохімічну гетерогенність поверхні, що сприяє розвитку значної локальної корозії.

Для того, щоби найбільш повно визначити шляхи забезпечення надійності магістральних газопроводів, проводять аналіз і систематиза-

цію фізичної природи надійності елементів і, в першу чергу, лінійної частини. Для визначення фізичної природи втрати роботоздатності проводять групування статистичних даних за факторними ознаками.

Слід зазначити, що систематизації даних по аваріях немає, тому нема можливості об'єктивно оцінити надійність роботи газопроводів різних країн з найбільш розвинутим трубопровідним транспортом.

Статистичні матеріали по аваріях мають дуже умовну розбивку по причинах їх виникнення. Так, навіть при аваріях на газопроводах, які відпрацювали від 20 до 30 років, вказуються причини “монтажно-будівельні”. Звичайно для вироблення ефективних заходів із забезпечення надійності необхідна класифікація відмов за їх походженням, але такої статистики немає. Тому дані, запозичені з офіційної статистики, певною мірою умовні. В Україні, так само як і у США та інших країнах, найбільша кількість відмов пов'язана з ґрунтовою корозією газопроводів. В останній час відсоток відмов, пов'язаних з корозією, трохи знизився, що можна пояснити загальним підвищенням рівня електрохімічного захисту і введення у експлуатацію засобів захисту, а також проведенням ремонтних робіт з ізоляції та посиленням засобів захисту.

Друге місце за кількістю відмов займає руйнування стиків трубопроводів.

На третьому місці є відмови, пов'язані з дефектами труб. Особливо часті руйнування з цієї причини в період передпускових випробувань (від 50 до 70 %).

Магістральні газопроводи перебувають у складній взаємодії з транспортованим продуктом і з навколишнім середовищем. Лінійна частина магістральних газопроводів постійно піддається навантаженням, що мають різну природу як за типом впливу, так і за походженням.

До сталих навантажень та впливів належать: маса (власна вага) газопроводу та пристроїв; впливу попереднього напруження (пружний згин тощо); тиск (вага) ґрунту.

До змінних тривалих навантажень належить: маса та внутрішній тиск; температурні впливи; впливи нерівномірних деформацій ґрунту для деяких типів магістральних газопроводів.

До короточасних належать навантаження, що виникають під час проходження очисних або діагностичних пристроїв, при випробуваннях газопроводу, під час ремонту, що супроводжується підйомом або іншим переміщенням газопроводу тощо.

У процесі спорудження та експлуатації магістральних газопроводів істотно впливають на їх надійність динамічні процеси, що проявляються у вигляді навантажень, які виникають:

- під час транспортування до місця монтажу;
- під час навантаження та розвантаження;
- під час укладання;
- під час проходженні очисних пристроїв;

- під час взаємодії транспортованого продукту із трубопроводом [2].

На лінійну частину магістрального газопроводу також діють додаткові зовнішні навантаження, такі як гідравлічні удари, додаткові поздовжні зусилля, випадкові навантаження, які викликають місцевий згин трубопроводу під час експлуатації.

Великий вплив на надійність газопроводу чинять концентратори напруження:

- дефекти технологічного характеру: вм'ятина, включення, окалина, тріщина, міхур, розшарування, подряпина, ризики, підріз;

- дефекти механічного характеру: подряпини на зовнішній поверхні труби (ризики), задири, забоїни, вм'ятини, ерозійне пошкодження внутрішньої поверхні трубопроводу;

- дефекти корозійного характеру: природа та причини виникнення корозійних пошкоджень, швидкість їх розвитку й аналіз факторів, що сприяють збільшенню подібного дефектів;

- дефекти ерозійного характеру;

- дефекти зварних швів.

Конструктивні елементи магістральних газопроводів під час експлуатації, у тому числі й на лінійній частині, піддані такому явищу як старіння. Під старінням розуміється процес зміни фізичних і механічних властивостей металу в часі. Відомі три види старіння: природне, термічне та деформаційне. При старінні закономірно виникаючі під час експлуатації зміни приводять до накопичення зменшення стійкості функціонування газопроводу. У результаті описаних змін навіть незначні відхилення навантаження від номінальних можуть викликати незворотні структурні зміни та подальше руйнування трубопроводу. Опису процесу старіння об'єктів магістральних трубопроводів як найбільш загального фізичного механізму, що визначає, в остаточному підсумку, довговічність трубопроводу, присвячена робота.

Лінійна частина магістрального трубопроводу є об'єктом з розподіленими параметрами, що обумовлено її значною довжиною. У результаті технічний стан лінійної частини виявляється чутливим до змін зовнішніх умов (флуктуації температури, тиску перекачування продукту, концентрації хімічних реагентів корозії, електричних струмів тощо) і внутрішніх причин (флуктуації хімічного складу матеріалу труб, міцнісних властивостей, зістареності металу труб, виготовлення, спорудження, тощо).

На розвиток внутрішньої корозії великий вплив має якість підготовки перекачуваного продукту. Зниження швидкості перекачування приводить до того, що в найнижчих ділянках траси газопроводу збирається вода та різні відкладення, що також призводять до розвитку внутрішньої корозії.

Для забезпечення безаварійної роботи системи магістральних газопроводів, як правило, виконують заміну їх ділянок термін служби яких наближається до нормативного або вже вичерпаний. Але на відновлення тисяч кілометрів сталевих магістралей не вистачить засобів і технічних можливостей навіть у великій компанії.

Традиційні методи, що застосовувалися впродовж багатьох років для підвищення надійності та попередження аварійності вітчизняних магістральних газопроводів наступні:

- капітальний ремонт магістральних газопроводів;
- капітальний ремонт переходів магістральних газопроводів;
- заміна несправних трубопровідних арматур, трубопровідних деталей польового виготовлення;
- реконструкція камер пуску-приймання засобів діагностики та очисних споруд для газопроводів, тривалої експлуатації, вичерпують свої можливості.

Спорудження та капітальний ремонт засобів електрохімічного захисту та очищення внутрішньої порожнини магістральних газопроводів можуть лише частково вирішити питання подовження терміну служби трубопровідного транспорту.

Існує кілька шляхів визначення поточного стану ділянок газопроводів, в основі яких лежать:

- внутрішньотрубна діагностика. Однак близько 60 % газопроводів не пристосовано до проведення внутрішньотрубної діагностики (нерівнопрохідна запірні арматури тощо);
- зовнішні апаратні засоби діагностики, що переміщуються вздовж газопроводу. Проте використання подібних засобів досить обмежене через складні умови пролягання газопроводів і їх заглиблення в ґрунт;
- гідравлічні перевипробування. Цей метод приховує у собі небезпеку виникнення аварій, що в умовах дефіциту фінансів може призвести до тривалої зупинки процесу транспортування газу;
- методики експертної оцінки відносного ризику експлуатації лінійної частини газопроводів. Проте дані методики вимагають вичерпної інформації про технічний стан газопроводу.

З огляду на це зріс інтерес до методів прогнозування, які засновані на моделюванні процесу накопичення пошкодження у трубі під час її експлуатації [4].

**Висновок.** Аналіз причин виникнення корозійних дефектів показує, що розвитку зовнішньої корозії сприяють як технологічні (недоліки будівельно-монтажних робіт), так і природно-кліматичні фактори. Крім того, найважливішим фактором, що впливає на швидкість розвитку корозії, є стан електрохімічного захисту: недосконалість системи захисту від корозії знижує опірність труб і сприяє розвитку корозійних процесів.

*Література*

1. Дейнега Р.О., Івасів В.М., Михайлюк В.В., Фафлей О.Я. Дослідження впливу бандажу на дефектну ділянку трубопроводу. Восточно Европейский Научный Журнал. Технические науки. 2020. №54 (2). С. 55-63.
2. Дейнега Р.О., Артим В.І., Івасів О.В., Василюк В.М., Яновський С.Р., Басараб Р.М. Експериментальна оцінка підсилюючої здатності зварних муфт пошкоджених труб магістрального нафтопроводу. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. 2011. №3(40). С.70-75.
3. Говдяк Р. М., Івасів В. М. Дослідження впливу корозійних дефектів на довговічність магістральних нафтопроводів. Нафтогазова енергетика. 2020. № 2 (26). С. 67-74. [https://doi.org/10.31471/1993-9868-2020-2\(34\)-67-74](https://doi.org/10.31471/1993-9868-2020-2(34)-67-74).
4. Механіка руйнування і міцність матеріалів у 10 т. /Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України; [Під ред.З.Т. Назарчука]. Львів, 2001. (Серія «Неруйнівний контроль та технічна діагностика»). Т. 5. – 2001. – 1134 с. – ISBN 978-966-02-5275-2.

*Стаття надійшла до редакційної колегії 31.03.2025 р.*

**ANALYSIS OF OPERATING CONDITIONS OF MAIN PIPELINES**

**R. T. Martyniuk, V. V. Tyrlych**

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas;  
76019, Ivano-Frankivsk, str. Karpatska, 15; ph. 0342-72-71-38;  
e-mail: tzen@nunq.edu.ua*

*Pipelines are the most economical way of transporting oil, oil products and gas from the places of production and primary preparation over long distances by the shortest route with the least losses to the areas of their use and processing.*

*Significant service life and operational factors (vibration, static and dynamic load, damage to the insulating coating, subsidence of the soil, the occurrence of washed-out areas) cause fatigue and corrosion-fatigue damage to pipeline elements, which, in turn, leads to their destruction, causes significant economic losses and is a dangerous phenomenon from the point of view of safety and ecology.*

*Ukraine has a developed network of pipelines for the transportation of natural gas and oil and product pipelines. Main pipelines are the largest underground structures, the operation of which depends on the characteristics of interaction with the environment. The location of pipelines in hard-to-reach places complicates their diagnosis, which increases the probability of failure [1]. Even slight deviations of the actual operating conditions from*

*those assumed to be initial can bring the entire pipeline system to the limit state.*

*Routes of main oil and gas pipelines pass through natural (lakes, swamps, rivers, etc.) and artificial (railway tracks, highways, etc.) obstacles.*

*Routes of main oil and gas pipelines pass through natural (lakes, swamps, rivers, etc.) and artificial (railway tracks, highways, etc.) obstacles.*

*Economically, pipelines are a reliable and environmentally safe way of transporting hydrocarbons. Their advantages are achieved thanks to good projects, high-quality equipment, materials and compliance with design parameters during construction and operation. However, these components do not always withstand, as a result of which accidents and failures occur on pipelines. Also, emergency situations are associated with their service life.*

**Key words:** *transportation of hydrocarbons, design parameters, pipeline failures, emergency situations, fatigue damage, diagnostics, corrosion-fatigue damage, operating conditions, gas pipelines' service life.*