МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра екології та природозахисних технологій

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ Леонід ПЛЯЦУК
(підпис)
____ _____ 20___ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня магістр

зі спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища» освітньо-професійної програми «Технології захисту навколишнього середовища»
на тему:

РЕАЛІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЙ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ РЕМОНТНИХ КОНСТРУКЦІЙ (МУФТ) ПРИ ВИКОНАННІ РЕМОНТНИХ РОБІТ НА МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВОДАХ ПІД ТИСКОМ

Здобувача групи ТС.м – 31/1 Гулого Сергія Миколайовича

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ Сергій ГУЛИЙ
(підпис)

Керівник – ст.викладач кафедри екології
та природозахисних технологій,
кандидат технічних наук

_____ Олена ЯХНЕНКО
(підпис)

Суми – 2024

Сумський державний університет
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра екології та природозахисних технологій
Спеціальність 183 Технології захисту навколишнього середовища

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Зав. кафедрою _____
_____
“_____” _____ 20____ р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА
Гулого Сергія Миколайовича

1. Тема проекту (роботи) Реалізація технологій захисту навколишнього середовища за рахунок використання ремонтних конструкцій (муфт) при виконанні ремонтних робіт на магістральних газопроводах під тиском затверджена наказом по університету від “14” _жовтня_ 2024 р. № 1048-VI
2. Термін здачі студентом закінченого проекту (роботи)_ 9 грудня 2024 року_____
3. Вихідні дані до проєкту (роботи)_ ГБН (Галузеві Будівельні Норми), ВБН, ВСН (Відомчі Будівельні Норми), патентна база України.
4. Зміст розрахунково–пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)

розкрити особливості впливу при будівництві і експлуатації ГТС України на довкілля;
розглянути особливості функціонування газотранспортної системи України на 2024 рік;
дослідити основні чинники виходу з ладу конструкцій ГТС України, методи ремонту і критерії вибору ремонтних робіт;
обґрунтувати можливість реалізації технології захисту довкілля при виконанні ремонтних робіт на магістральних газопроводах за рахунок використання ремонтних конструкцій (муфт);
навести розрахунки екологічної доцільності застосування ремонту на лінійній частині газопроводу за рахунок недопущення стравлювання природного газу в довкілля

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень)

Вплив на ґрунтове середовище при будівництві, експлуатації та реконструкції газопроводів, Вплив на атмосферне повітря при будівництва, експлуатації та реконструкції газопроводів, Наслідки аварійних ситуацій на газопроводах, Карта ГТСУ і основні напрямки руху газу, Вибір методів і способів ремонту ділянок ГТС Украіни, Реалізація технології захисту довкілля при проведенні ремонтних робіт на газопроводі під тиском в умовах експлуатації, на прикладі Сумського ЛВУМГ за допомогою муфт

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Визначення основних завдань роботи	Вересень 2024 р.	
2	Робота з науковими джерелами	Вересень 2024 р.	
3	Написання 1-2 розділів	Жовтень 2024 р.	
4	Написання 3 розділу	Листопад 2024 р.	
5	Написання 4 розділу	Листопад 2024 р.	
6	Робота над розділом «Охорона праці та захист у надзвичайних ситуаціях»	Листопад 2024 р.	
8	Оформлення роботи	Грудень 2024 р.	

5. Дата видачі завдання – 21.10.2024 року.

Студент _____ С.М. Гулий

Керівник проекту _____ О.М Яхненко

АНОТАЦІЯ

Структура та обсяг випускної кваліфікаційної роботи магістра

Робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку джерел посилань, який містить 21 найменувань, додатку до роботи. Загальний обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 64 сторінок, у тому числі 7 таблиць, 19 рисунків, список джерел посилань на 3 сторінках. Додатки містять 2 таблиці на 5 сторінках.

Мета роботи: реалізація технологій захисту навколишнього середовища при використанні ремонтних конструкцій (муфт) для виконання ремонтних робіт на магістральних газопроводах під тиском

Відповідно до поставленої мети було вирішено такі *завдання*: розкрити особливості впливу при будівництві і експлуатації ГТС України на довкілля; розглянути особливості функціонування ГТС України; дослідити основні чинники виходу з ладу конструкцій ГТС України, методи ремонту і критерії вибору ремонтних робіт; обґрунтувати можливість реалізації технології захисту довкілля при виконанні ремонтних робіт на магістральних газопроводах за рахунок використання ремонтних конструкцій (муфт); навести розрахунки екологічної доцільності застосування ремонту на лінійній частині газопроводу за рахунок недопущення стравлювання природного газу в довкілля.

Об'єкт дослідження – виконання ремонтних робіт на магістральних газопроводах

Предмет дослідження – реалізація технології захисту довкілля при виконанні ремонтних робіт на магістральних газопроводах за рахунок використання ремонтних конструкцій (муфт).

Ключові слова: ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ, РЕМОНТНІ РОБОТИ НА МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВОДАХ, МУФТИ

ЗМІСТ

	стор
Вступ	5
Розділ 1 Вплив прокладання та експлуатації газотранспортних систем на навколишнє середовище……	10
1.1Вплив на ґрунтове середовище при будівництві, експлуатації та реконструкції газопроводів……..	11
1.2 Вплив на атмосферне повітря при будівництва, експлуатації та реконструкції газопроводів……..	14
1.3 Вплив на довкілля при аварійних ситуаціях на газопроводах……	16
1.4 Екологічна політика ГТС України, спрямована на зменшення негативного впливу на довкілля……	20
Розділ 2 Загальна характеристика газотранспортної системи України ……	24
2.1 Сучасний стан галузі та роботи ГТС України……..	24
2.2 Проблемні питання експлуатації ГТС……	28
Розділ 3 Основні технології ремонтних робіт на ГТС……	33
3.1 Чинників, що призводять до аварії на об’єктах ГТС……	33
3.2 Методи ремонту газотранспортних систем та критерії вибору методів.	35
Розділ 4 Основні способи та методи при ремонті газопроводів під тиском в умовах експлуатації без стравлювання газу, що забезпечують захист довкілля……..	40
4.1 Спосіб ремонту дефектів магістральних трубопроводів методом безвогневого врізування відводів та байпасної лінії……..	42
4.2 Способи ремонту дефектів магістральних трубопроводів, які виконуються з застосуванням процесу зварювання……	43
4.3 Способи ремонту дефектів магістральних трубопроводів, які використовують металеві ремонтні конструкції, що не приварюються до тіла труби……	47
4.4 Способи ремонту дефектів магістральних трубопроводів, які застосовують композитні матеріали ……	49
4.5 Реалізація технології захисту довкілля при проведенні ремонтних робіт на газопроводі під тиском в умовах експлуатації на прикладі Сумського ЛВУМГ за допомогою муфт……..	51
Розділ 5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях…….	55
5.1 Об’єкти небезпеки при роботі на ГТС…….	55
5.2 Вимоги безпеки під час виконання вогневих робіт на ГТС ……..	57
Висновки…….	61
Перелік джерел посилань……..	62
Додатки……	65

Підп. і дата | Інв.№дубл. | Взаєм.інв.№ | Підп. і дата | Інв.№подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат	ТС 23510201		
Розроб.		Гулий С.М.			Реалізація технологій захисту навколишнього середовища за рахунок використання ремонтних конструкцій (муфт) при виконанні ремонтних робіт на магістральних газопроводах під тиском	Літ.	Аркуш 4 / Аркушів 71
Перев.		Яхненко О.М.					
Н.Контр		Батальцев Є.В				СумДУ, ф–т ТеСЕТ гр. ТС.м–31/1	
Затв.		Пляцук Л.Д					

ВСТУП

Проблема забруднення атмосферного повітря парниковими газами, особливо метаном, є важливою для багатьох галузей промисловості, включаючи газотранспортну систему України. Метан, маючи в 25 разів більший потенціал глобального потепління (GWP) порівняно з вуглекислим газом, відіграє значну роль у посиленні парникового ефекту. Зниження його викидів стало важливим завданням як для України, так і для світу, адже ефективна боротьба з метаном є одним із найшвидших способів уповільнення кліматичних змін.

Особливу увагу цій проблемі приділяють і у контексті експлуатації магістральних газопроводів, де ризики викиду метану під час експлуатації обладнання можуть бути значними [1].

При прокладанні і ремонті газотранспортних шляхів значного впливу зазнає і ґрунтове середовище, особливо верхній найродючіший шар грунту. Експлуатацію ГЗТ системи проводять з врахуванням необхідності запобігання виникненню несприятливих змін в ландшафтах і ґрунтовому середовищі.

Газотранспортна система України є важливим елементом енергетичної інфраструктури та однією з найбільших у світі. Вона складається з мережі газопроводів загальною довжиною 35,6 тис. км, 73 компресорних станцій потужністю 5 492 МВт, 13 підземних сховищ газу з активною місткістю понад 32,0 млрд м³ та інших об'єктів.

Проектна пропускна спроможність ГТС на вході становить 292 млрд м³ на рік, а на виході – 176 млрд м³. Технологічно система інтегрована з газопроводами росії, Білорусі, Румунії, Молдови, Угорщини, Словаччини та Польщі а через них з газопроводами європейського континенту. Однак значна частина інфраструктури має зношений стан, адже понад 42% трубопроводів експлуатуються 16–42 роки, а 17,3 тис. км – понад 50 років. Це значно підвищує ризики аварій та витоків газу [2].

Тривала експлуатація газопроводів сприяє утворенню дефектів, таких як корозійні тріщини, деформації трубопроводів, тощо. Це призводить до витоків природного газу в атмосферу, ґрунту та водойми, що завдає значної шкоди довкіллю. У 10% випадків аварій відбувається повне руйнування труб, а у 90% – утворення свищів, через які викидається метан.

Особливу небезпеку становлять випадки загорання газу, які супроводжуються термічним впливом на навколишнє середовище та викидами оксидів азоту й вуглецю. Це значно збільшує екологічні збитки, а також спричиняє економічні втрати через втрату газу, зниження довіри до України як транзитера та можливі штрафи за невиконання міжнародних зобов'язань [1].

Україна впроваджує сучасні технології для мінімізації ризиків та зменшення викидів метану. Зокрема, використовуються лазерні сенсори, дрони та супутники для моніторингу витоків на віддалених ділянках, а також програмне забезпечення на основі штучного інтелекту для прогнозування аварій. Завдяки цим заходам у період 2019–2021 років вдалося зменшити неконтрольовані витоки метану з 42% до 28% у загальному обсязі емісій. Крім того, розробляються природоохоронні програми, які включають щорічний капітальний ремонт та реконструкцію трубопроводів для запобігання аваріям.

Україна також активно інтегрує свою газотранспортну систему до європейських стандартів у межах Енергетичного співтовариства. Це передбачає модернізацію інфраструктури, впровадження екологічно чистих технологій, а також адаптацію до транспортування альтернативних джерел енергії, таких як водень та біометан.

Співпраця з міжнародними організаціями, такими як Світовий банк, ЄБРР та Програма ООН з навколишнього середовища, сприяє впровадженню найкращих практик у сфері екологічного транспортування газу.

Пріоритетними цілями розвитку газотранспортної системи України є підвищення ефективності, екологічності, надійності та безпеки транспортування природного газу. Використовуючи сучасні технології,

інтегруючись до європейських стандартів та зосереджуючи увагу на зниженні викидів метану, Україна може закласти основу для стабільного розвитку галузі та збереження навколишнього середовища. ТОВ "Оператор ГТС України", яке відповідає за управління та експлуатацію газотранспортної системи країни, стоїть перед завданням забезпечення надійності, безпеки та ефективності транспортування природного газу.

Після повномасштабного вторгнення Росії на територію України ситуація з транспортуванням газу ускладнилася. Станом на 19 листопада 2024 року газотранспортна система України продовжує виконувати свої зобов'язання перед споживачами газу у повному обсязі.

Актуальність теми Збереження стабільної роботи газопроводів є одним із ключових факторів забезпечення екологічної, енергетичної безпеки держави та стабільності постачань енергоресурсів для внутрішніх і зовнішніх споживачів

Одним із ключових напрямків діяльності підприємств газотранспортної галузі є підтримка технічного стану магістральних газопроводів, включаючи виконання ремонтних робіт без перерви у транспортуванні газу. Це завдання вирішується шляхом впровадження сучасних технологій та матеріалів, які дозволяють забезпечувати безпечність, ефективність і екологічність ремонтних процесів.

Використання ремонтних конструкцій має низку суттєвих переваг:

Мінімізація впливу на ґрунт та ландшафт. Сучасні методи дозволяють уникнути масштабного відкриття ґрунту, що значно зменшує екологічні ризики, пов'язані із забрудненням навколишнього середовища.

Зменшення викидів метану в атмосферу. Виконання ремонту на діючих газопроводах, що перебувають під тиском, дозволяє уникати втрат газу та знижує обсяги викидів парникових газів.

Безперервність постачання газу. Технології ремонту під тиском забезпечують безперебійне транспортування газу до споживачів, що є критично важливим для промислових і побутових споживачів.

Економія часу та ресурсів. Завдяки зниженню трудомісткості та скороченню термінів виконання ремонтів досягається оптимізація витрат підприємства.

Підвищення безпеки. Інноваційні матеріали та методи зменшують ризики для персоналу і знижують ймовірність аварійних ситуацій.

Серед інноваційних рішень, які застосовуються для ремонту магістральних газопроводів, особливе місце займають ремонтні конструкції різних типів (КТР-1, КТР-2, КТР-3 а інші), композитні муфти, ущільнювачі, спеціальні затвори тощо. Ці технології дають можливість швидко усувати дефекти трубопроводів, мінімізуючи вплив на довкілля та забезпечуючи безперебійність постачання газу.

Ремонтні конструкції зроблені з металу та передбачають виконання зварювальних робіт. Вони дозволяють оперативно усувати дефекти трубопроводів без зупинки транспортування газу. Монтаж таких конструкцій виконується персоналом підприємств без залучення сторонніх організацій, що забезпечує високу оперативність та підвищує рівень безпеки виконання робіт.

Композитні муфти, виготовлені з сучасних полімерних матеріалів, вирізняються високою міцністю, стійкістю до корозії та довговічністю. Вони забезпечують герметичність і відновлення міцності труб без використання зварювальних робіт.

Їх переваги включають високу адгезію до металу та надійність у експлуатації. Однак при значних пошкодженнях труби вартість таких ремонтів може зрости через необхідність залучення спеціалізованих організацій, що обмежує їх застосування в окремих випадках.

Впровадження сучасних ремонтних технологій сприяє зміцненню інфраструктури країни, підвищенню її енергетичної безпеки та незалежності. Надійність газотранспортної системи є стратегічно важливою в умовах політичної та економічної нестабільності, а також з огляду на складну ситуацію, що склалася внаслідок воєнного стану в Україні[1].

Мета роботи*:* реалізація технологій захисту навколишнього середовища при використанні ремонтних конструкцій (муфт) для виконання ремонтних робіт

на магістральних газопроводах під тиском

Об'єкт дослідження – виконання ремонтних робіт на магістральних газопроводах

Предмет дослідження – реалізація технології захисту довкілля при виконанні ремонтних робіт на магістральних газопроводах за рахунок використання ремонтних конструкцій (муфт)

Завдання роботи

– Розкрити особливості впливу при будівництві і експлуатації ГТС України на довкілля

– Розглянути особливості функціонування газотранспортної системи України

– Дослідити основні чинники виходу з ладу конструкцій ГТС України, методи ремонту і критерії вибору ремонтних робіт

– Обґрунтувати можливість реалізації технології захисту довкілля при виконанні ремонтних робіт на магістральних газопроводах за рахунок використання ремонтних конструкцій (муфт)

– Навести розрахунки екологічної доцільності застосування ремонту на лінійній частині газопроводу за рахунок недопущення стравлювання природного газу в довкілля

Методи дослідження літературний пошук, теоретичний аналіз літературних даних, патентний пошук, системний аналіз, статистичний збір даних, обробка матеріалу.

Апробація Результати роботи були представлені на IIX Всеукраїнській науково-технічній конференції «Сучасні технології у промисловому виробництві». Суми, 19–22 квітня 2024 р та надруковані в вигляді тез «Реалізація технологій захисту НС за рахунок використання ремонтних конструкцій (муфт) при виконанні ремонтних робіт на магістральних газопроводах під тиском»

РОЗДІЛ 1
ВПЛИВ ПРОКЛАДАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ГАЗОТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

Система газопостачання України є складною енергетичною інфраструктурою, що охоплює значну територію країни. Вона характеризується великою довжиною магістральних газопроводів, високою пропускною здатністю та різноманітною структурою. Водночас стан газотранспортної системи (ГТС) є неоднорідним через значний вік багатьох ділянок, що створює суттєві виклики для їх технічної експлуатації. Старіння газопроводів, зростаюча кількість аварій, відмов та ушкоджень на лінійній частині системи ускладнюють її ефективну роботу та призводять до збільшення матеріальних і фінансових витрат.

В умовах значного фізичного зносу інфраструктури актуальним стає питання забезпечення безпеки та надійності функціонування газотранспортної системи. Основними завданнями є запобігання аваріям, забезпечення безперебійного постачання природного газу, зниження втрат і мінімізація негативного впливу на довкілля. Особливу увагу необхідно приділяти екологічним проблемам і безпеці транспортування газу, оскільки можливі аварії можуть мати катастрофічні наслідки як для населення, так і для екосистем.

Газотранспортна мережа України тягнеться через усю територію країни, перебуваючи у складному взаємозв'язку з навколишнім середовищем. У зв'язку з цим одним із найважливіших завдань є підвищення рівня екологічної безпеки. Це передбачає мінімізацію техногенного впливу ще на етапі будівництва трубопроводів, а також зниження негативного впливу природних факторів на їх експлуатацію. Зокрема, в період експлуатації особливо важливо враховувати вплив таких явищ, як зсуви, повені та сейсмічна активність, які можуть суттєво вплинути на безпеку трубопровідних систем.

Будівництво магістральних газопроводів на суходолі є складним

багатоступеневим процесом, який включає такі ключові етапи:

Інженерно-геологічні дослідження: Проведення комплексних пошуків для аналізу ґрунтів, оцінки можливих ризиків та вибору оптимальної траси трубопроводу.

Розчищення траси: Підготовка ділянки для прокладання трубопроводу, що включає видалення рослинності та усунення перешкод.

Риття траншей: Створення необхідної інфраструктури для укладання труб.

Укладання труб уздовж траси: Розташування труб згідно з проєктною документацією.

Гнуття та зварювання труб: Надання трубам необхідної форми для адаптації до рельєфу місцевості та їх з'єднання у суцільний трубопровід.

Захист від корозії: Нанесення полімерних стрічок та ізоляційних покриттів для запобігання корозії, а також встановлення систем катодного захисту.

Укладання труб у траншеї та засипка: Фінальний етап, який включає розміщення труб у підготовлених траншеях, їх засипання та відновлення ландшафту.

Ці процеси вимагають високої точності, сучасних матеріалів та відповідності екологічним стандартам. Зокрема, системи катодного захисту забезпечують тривалий термін експлуатації труб, знижуючи ризик руйнування через корозію. Полімерні покриття та ізоляційні матеріали сприяють підвищенню довговічності трубопроводів навіть у несприятливих кліматичних умовах.

1.1 Вплив на ґрунтове середовище при будівництві, експлуатації та реконструкції газопроводів

Газотранспортна діяльність, зокрема будівництво, експлуатація та реконструкція магістральних трубопроводів, чинить значний вплив на ґрунтове середовище. Найбільші зміни спостерігаються під час проведення будівельно-монтажних робіт, що супроводжуються такими негативними наслідками:

– Механічне порушення мікрорельєфу: Земляні роботи часто призводять до тимчасового руйнування природного рельєфу.

– Заміщення природного ґрунту: Відбувається вилучення частини родючого шару ґрунту в траншеї та заміна його піском або іншими матеріалами.

– Забруднення ґрунту: Будівельна техніка, нафтопродукти та побутові відходи можуть спричиняти локальне забруднення.

Рисунок 1.1 – Вплив на ґрунтове середовище під час укладання трубопроводів

До порушених земель належать ті, які втратили господарську цінність через утворення техногенного рельєфу, зміну гідрологічного режиму чи пошкодження родючого шару.

Будівництво газопроводів також може спричиняти втрату родючості, порушення землекористування та навіть переселення мешканців у деяких регіонах.

Експлуатація газопроводів може спричиняти додаткове забруднення ґрунту та вод через виникнення тріщин, розривів і витоків природного газу чи інших речовин.

Масштаб збитків залежить від типу аварії, обсягів витоків і характеру забруднення. Окрім цього, прокладання трубопроводів і будівництво доріг для технічного обслуговування змінюють природний дренаж, що може спричинити підвищення рівня ґрунтових вод, затоплення певних територій і порушення росту

рослинності. Особливо серйозний вплив відбувається у лісових масивах, де під час будівництва трубопроводів вирубуються просіки.

Нерідко зрубана рослинність залишається уздовж трас, створюючи пожежну небезпеку, поступово вона гниє, створюючи умови для розмноження шкідників.

Для зменшення негативного впливу на ґрунтове середовище після будівництва та реконструкції газопроводів обов'язково проводяться роботи з рекультивації. Рекультивація передбачає відновлення порушених земель, повернення їм господарської цінності та зниження екологічних ризиків.

Технічний етап рекультивації включає:

- Зняття родючого шару ґрунту: до початку земляних робіт родючий шар ґрунту знімається і тимчасово зберігається.

- Розробка траншеї: мінеральний ґрунт, вилучений під час копання, переміщується у відвал.

- Засипка траншеї: після завершення будівництва чи ремонту траншеї засипаються.

- Вирівнювання рельєфу: планування території з усуненням ям і улоговин.

- Прибирання відходів: Збір будівельних відходів і забрудненого ґрунту.

- Повернення родючого шару ґрунту: родючий ґрунт повертається на місце, після чого проводиться остаточне вирівнювання поверхні.

Технічна рекультивація також передбачає заміну забрудненого ґрунту на чистий у разі забруднення нафтопродуктами або іншими шкідливими речовинами.

Після завершення технічної частини проводяться біологічні заходи, спрямовані на відновлення родючості земель:

– Основна та передпосівна обробка ґрунту.

– Внесення мінеральних і органічних добрив у підвищених дозах (у 1,5–2 рази більше, ніж для непорушених земель).

– Посів швидкорослих або багаторічних трав для стабілізації ґрунту.

– Проведення хімічної меліорації, якщо це необхідно.

Ці заходи дозволяють відновити аграрний потенціал земель, які були вилучені під час будівництва або ремонту трубопроводів. Відновлені землі передаються постійним землекористувачам, які продовжують їх використання за призначенням.

1.2 Вплив на атмосферне повітря при будівництва, експлуатації та реконструкції газопроводів

Роботи, пов’язані з будівництвом, експлуатацією та реконструкцією газопроводів, мають значний вплив на атмосферне повітря.

Перелік забруднюючих речовин, які будуть виділятися в атмосферне повітря на стадії реконструкції та експлуатації газопроводу наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Перелік забруднюючих речовин, які виділяються під час реконструкції газопроводу

Назва забруднюючої речовини	ГДК , ОБРВ, мг/м^3	Клас небезпеки
Оксид вуглецю	5	4
Оксиди азоту	0,085	2
Вуглеводні	1	4
Оксиди сірки	0,15	3
Оксиди заліза	0,04	2
Марганець та його оксиди	0,01	2
Етанол	1	4
Свинець	0,001	1

Джерела забруднення атмосферного повітря, які виникають під час

будівництва та реконструкції газопроводів, належать до категорії нерегулярних або залпових викидів. Ці джерела мають низку характерних особливостей:

Нерегулярність у часі: викиди забруднюючих речовин відбуваються з різною частотою, залежно від потреб виробництва або аварійних ситуацій.

Мала тривалість викидів: залпові викиди тривають короткий час, наприклад, під час конкретного технологічного процесу, такого як зварювання або стравлювання газу.

Локалізованість: забруднення концентрується в місцях проведення робіт і рідко поширюється на значні території.

До залпових джерел викидів під час будівництва належать зварювальні та фарбувальні роботи, а під час експлуатації, особливо в надзвичайних ситуаціях, – стравлювання природного газу через технологічні свічки (рисунок 1.2) [3].

Рисунок 1.2 – «Стравлювання» газу у навколишнє природне середовище

Основними джерелами забруднення є:

– Викиди забруднюючих речовин від будівельної техніки: робота двигунів внутрішнього згоряння будівельної техніки супроводжується виділенням вихлопних газів, які містять оксиди азоту, вуглекислий газ, сажу та інші забруднюючі речовини.

– Зварювальні роботи: виділення металевих оксидів, озону та інших шкідливих речовин, що утворюються під час зварювання труб газопроводу.

– Фарбувальні роботи: процес фарбування труб супроводжується

виділенням летких органічних сполук (ЛОС), які є токсичними для атмосфери та можуть спричиняти утворення фотохімічного смогу.

– Шумове забруднення: будівельна техніка створює значний шумовий фон, який впливає як на людей, так і на природне середовище.

1.3 Вплив на довкілля при аварійних ситуаціях на газопроводах

Газопроводи створюють значний техногенний вплив на довкілля, особливо в разі аварійних ситуацій. Однією з характерних особливостей такого впливу є термічний ефект, що виникає при загоранні газу внаслідок розгерметизації трубопроводу. Цей вплив супроводжується не лише тепловим ураженням навколишньої флори та фауни, але й значним порушенням ґрунтово-рослинного покриву.

Розмір зони, що зазнає повного ураження природного рослинного покриву внаслідок термічного впливу, визначається радіусом термічної дії (Rт), який варіюється в межах:

Мінімальний радіус: Rmin=30м

Максимальний радіус: Rmax=600м

Середній радіус термічної дії залежить від характеристик трубопроводу, типу газу, об’єму витоку та інших чинників. В умовах аварії газопроводу зона ураження може сягати сотень метрів, що робить такі випадки особливо небезпечними для екосистем.

Унаслідок аварій на магістральних газопроводах формується котлован, розміри якого залежать від масштабів витоку газу та енергетичного ефекту вибуху. Для діючих газопроводів максимальні розміри котловану становлять: 106×56×12 м. Ці значення вказують на значний масштаб руйнувань, які можуть охоплювати не лише ґрунтовий покрив, але й глибокі підґрунтові шари.

Для оцінки техногенного впливу газопроводів використовуються середні значення таких параметрів: середній радіус термічної дії (Rсер.), втрати газу під

час аварії ($Q2$), середній розмір котловану (а·в·с), всі ці показники представлені в таблиці 1.3

Таблиця 1.3 – Наслідки аварійних ситуацій на газопроводах

Діаметр газопроводу, D, мм	Середній радіус термічної дії, Rсер, м	Втрати газу, Q_2, млн. м^3	Розміри котловану (а × в × с), м
1420	188	13,9	65×40×10
1200	275	11	49×22×12
1020	244	7,3	160×30×12
820	240	1,8	60×15×4
720	195	2,3	35×12×5
530	250	2,2	28×15×4,5

Аварійні ситуації на магістральних газопроводах можуть мати значний негативний вплив на довкілля, зокрема через виникнення пожеж та вибухів. За статистикою, пожежі виникають у 50–60% випадків руйнування газопроводів. Джерелом загоряння зазвичай є іскри, які утворюються при зіткненні фрагментів труби або ударах частинок ґрунту об пошкоджений газопровід.

Основні фактори, що впливають на масштаби аварії:

Діаметр трубопроводу та робочий тиск газу: чим більший діаметр та тиск, тим вища енергія вибуху і більші масштаби ураження.

Густина ґрунту та властивості корінного масиву: тип ґрунту визначає характер пошкодження труби і наслідки витоку газу.

Взаємне положення осей кінців труб: зсув осей може впливати на напрямок і об'єм витоку газу.

На підземних газопроводах наслідки аварії визначаються стійкістю ґрунту, в якому пролягає газопровід, і енергією імпульсу, що вивільнюється під час руйнування.

Якщо газопровід прокладено у пухких ґрунтах (пісок, торф, супісок, болота), відбувається виривання труби з ґрунту не лише на місці пошкодження, але й на прилеглій території. У таких випадках відкриті кінці труби часто зміщуються, і витік газу відбувається у вигляді двох неконтактуючих струменів (рисунок 1.3).

Рисунок 1.3– Аварія газопроводу у пухкому грунті

Для твердих ґрунтів (глина, суглинок, глинисті сланці, галька) характерне "розвальцьовування" труби з викидом ґрунту над пошкодженою ділянкою. У таких умовах зсув осей труби відсутній, а газ витікає динамічно, утворюючи колонний шлейф, який зменшує швидкість викиду в атмосферу (рисунок 1.4).

Рисунок 1.4 – Аварія газопроводу у твердому ґрунті

Загорання газу може статися одразу після аварії або через деякий час.

У першому випадку характер горіння та вплив на довкілля визначаються умовами витоку газу.

У другому можливе формування "колонної" пожежі зі складною об’ємною

конфігурацією полум’я.

У разі перетину трубопроводів лісових масивів аварії можуть спричинити масштабні лісові пожежі. На степових чи сільськогосподарських територіях термічний вплив викликає вигорання посівів на площах у сотні гектарів, порушення ґрунтово-рослинного покриву, зниження його біологічної продуктивності, порушення водного та температурного режиму ґрунтів, їх зволоженості, розвиток ерозій та заболочення.

Основна частина екологічного збитку припадає на забруднення атмосферного повітря.

Під час факельного горіння природного газу в атмосферу виділяються такі шкідливі домішки (таблиця 1.4)

Максимальні розміри зон забруднення атмосферного повітря сягають 250–600 метрів. У випадках загоряння газу масштаби загазованості зменшуються, однак оксиди вуглецю та азоту, розсіюючись у вологому повітрі, можуть утворювати кислоти, що знищують рослинність і шкодять екосистемам.

Таблиця 1.4 – Забруднення атмосферного повітря природним газом при вибухах і пожежах

№	Шкідлива домішка	Емісія при факельному горінні природного газу, кг/1000 $м^3$ газу
1	Оксид вуглецю	15,3
2	Оксид азоту	2,3
3	Метан	0,4

Метан, як потужний парниковий газ, сприяє глобальному потеплінню: 1 кг метану за 20 років еквівалентний впливу 21 кг вуглекислого газу. Тому потрібно знати основні характеристики та фізико-хімічні властивості метану, які визначають характер і зону негативної екологічної дії вражаючих факторів аварій на газопроводах [4].

Метан (CH_4) — це простий органічний газ, який є основним компонентом природного газу. Його фізико-хімічні властивості роблять його з одного боку цінним енергоносієм, а з іншого — потенційно небезпечним у разі аварій на газопроводах (Додаток А, таблиця А 1) .

Витоки метану під час аварій значно забруднюють атмосферу. Утворення метанових шлейфів у повітрі може бути небезпечним для здоров'я населення через витіснення кисню. Під час горіння метану можуть утворюватися токсичні сполуки, такі як оксиди азоту (NO_x) і оксид вуглецю (CO), що підвищують забруднення атмосфери. У разі утворення суміші метану з повітрям у вибухонебезпечних концентраціях можливі сильні вибухи, які спричиняють значні пошкодження інфраструктури та ризики для людей.

Чим більший витік метану, тим ширша зона ураження. У разі великого витоку газу метановий шлейф може поширюватися на кілька сотень метрів.

Швидкість вітру та температура повітря впливають на розсіювання газу. У безвітряну погоду метан накопичується у вигляді шлейфу, збільшуючи ризик вибуху.

У щільних ґрунтах витік газу може накопичуватися, підвищуючи вибухонебезпечність. У болотистій місцевості витоки метану можуть спричиняти деградацію рослинного покриву. Іскри від електрообладнання, статична електрика або гарячі поверхні можуть спричинити займання метану.

Отже, метан, будучи основним компонентом природного газу, є високоефективним енергоносієм, але в разі аварій на газопроводах він створює значні ризики для довкілля, інфраструктури та здоров'я населення.

1.4 Екологічна політика ГТС України, спрямована на зменшення негативного впливу на довкілля

Газотранспортна система України належить до об'єктів підвищеної небезпеки, оскільки для неї характерна наявність широкого спектра техногенних

ризиків. Основними причинами аварій на об'єктах трубопровідного транспорту є дефекти зварних з'єднань, механічні пошкодження, корозія металу, а також помилки, допущені під час будівельно-монтажних робіт. Загалом близько 80% аварій пов’язані саме з цими факторами.

Україна не одноразово стикалася з низкою серйозних аварій на магістральних газопроводах. За даними ДСНС України, кількість надзвичайних ситуацій техногенного характеру щороку зростає із середньою інтенсивністю 25% на рік. Це обумовлено зношеністю газотранспортної інфраструктури, недостатнім фінансуванням на модернізацію та ремонт, а також збільшенням зовнішніх ризиків, таких як бойові дії.

До прикладу вибух на газопроводі "Уренгой–Помари–Ужгород" у 2007 році 7 травня 2007 року поблизу села Лука в Київській області стався вибух на цьому магістральному газопроводі, що призвело до пошкодження 30-метрової ділянки труби. Причиною аварії стала розгерметизація газопроводу.

Липень 2014 року – Вибух на магістральному газопроводі «Уренгой-Помари–Ужгород» через розгерметизацію труби, що призвело до пожежі.

Січень 2016 року – вибух на газопроводі «Союз».

Червень 2019 року – аварія, що загрожувала припиненням роботи технологічного обладнання через нестачу природного газу для потреб АТ «Укртрансгаз».

Вересень 2020 року – розгерметизація газопроводу «Київ-Західна Україна – 1».

Січень 2021 року – вибух на газопроводі «Уренгой-Помари–Ужгород».

Червень 2021 року – розгерметизація на газопроводі «Угерсько-Івано-Франківськ-Чернівці»

Вересень 2023 року в Полтавській області стався вибух на магістральному газопроводі, що призвело до розгерметизації підземного газопроводу високого тиску. Причиною аварії стала розгерметизація труби.

Аварії на газотранспортній системі призводять до значних матеріальних

збитків і загроз для навколишнього середовища. У 2019 році збитки від надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру в Україні становили 685,296 млн грн. Щорічно втрати через виробничий травматизм у світі сягають 3,4% глобального ВВП [8, 9].

В умовах сучасних викликів, зокрема повномасштабного вторгнення росії, ситуація з безпекою транспортування газу в Україні значно ускладнилася. До прикладу, у березні 2022 року внаслідок бойових дій було пошкоджено першу нитку газопроводу "Луганськ – Лисичанськ – Рубіжне" в районі відводу на газорозподільну станцію "Лисичанськ". Особливо важко здійснювати контроль у зонах бойових дій, таких як Харків, Херсон, Миколаїв, Дніпро та інших регіонах. Руйнування інфраструктури, обстріли та неможливість проведення профілактичних заходів значно підвищують ризик аварій.

Незважаючи на це Оператор газотранспортної системи України впроваджує Екологічну політику на 2020–2024 роки, спрямовану на зменшення негативного впливу на довкілля. Основні заходи включають: моніторинг стану трубопроводів, автоматизацію систем безпеки, рекультивацію земель, зниження викидів та навчання персоналу. Комплексний підхід до управління ризиками дозволяє мінімізувати наслідки аварій та забезпечити стале функціонування газотранспортної системи навіть у складних умовах.

Основні напрями та досягнення Екологічної політики ОГТСУ:

Зменшення викидів парникових газів: У 2020 році ОГТСУ скоротив викиди діоксиду вуглецю (CO_2) на 58% порівняно з попереднім роком. За перше півріччя 2020 року викиди CO_2 зменшилися на 62%, що стало можливим завдяки зниженню обсягів транспортування газу та впровадженню енергоефективних заходів. У 2020 році нарахування екологічних податків склало 30,5 млн грн.

Компанія отримала та переоформила 110 дозволів на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря та 8 дозволів на спеціальне водокористування для промислових майданчиків.

Навчання та підвищення кваліфікації: Співробітники ОГТСУ пройшли

навчання з впровадження системи моніторингу, звітності та верифікації викидів, а також з систем екологічного та енергетичного менеджменту для подальшого здійснення внутрішнього аудиту.

Впровадження системи екологічного менеджменту: ОГТСУ впровадив систему екологічного менеджменту відповідно до міжнародного стандарту ISO 14001:2015, що підтверджує зобов'язання компанії щодо постійного поліпшення екологічних показників.

Компанія працює над визначенням можливостей транспортування та зберігання відновлюваних газів, таких як біометан та водень, що є важливим кроком у напрямку декарбонізації економіки.

Завдяки впровадженню цих заходів ОГТСУ демонструє свою відданість екологічній відповідальності та сталому розвитку, сприяючи збереженню довкілля та підвищенню енергоефективності газотранспортної системи України [10].

РОЗДІЛ 2

ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКА ГАЗОТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ

2.1 Сучасний стан галузі та роботи ГТС України

Україна займає вигідне географічне положення на перехресті основних шляхів транспортування природного газу від газовидобувних регіонів Росії та Центральної Азії до країн Європи, які є одними з найбільших споживачів цього ресурсу. Завдяки цьому, українська газотранспортна система (ГТС) має стратегічне значення у забезпеченні енергетичних потреб Європи (рисунок 2. 1).

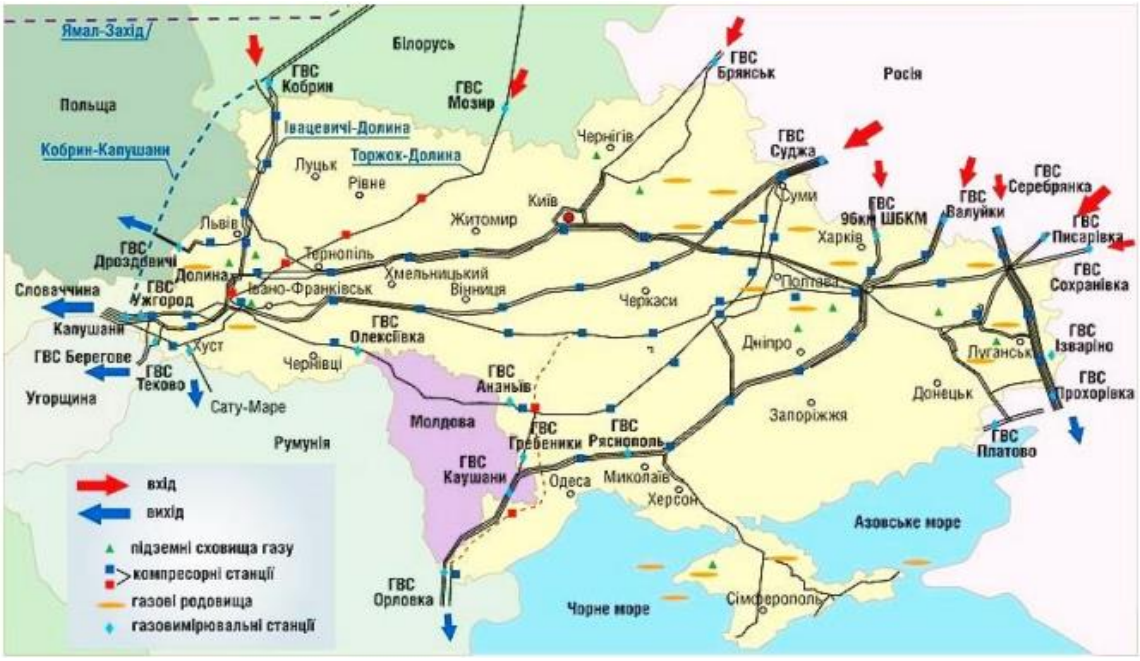


Рисунок 2. 1 – Карта газотранспортної системи України станом на 2022 рік

Газотранспортна система України включає кілька ключових магістральних газопроводів, які забезпечують транзит природного газу з території Росії до країн Європи. Ці газопроводи формують основу української ГТС і відіграють важливу роль у забезпеченні енергетичних потреб європейських країн (рисунок 2.2) .

Серед основних транзитних маршрутів можна виділити наступні:

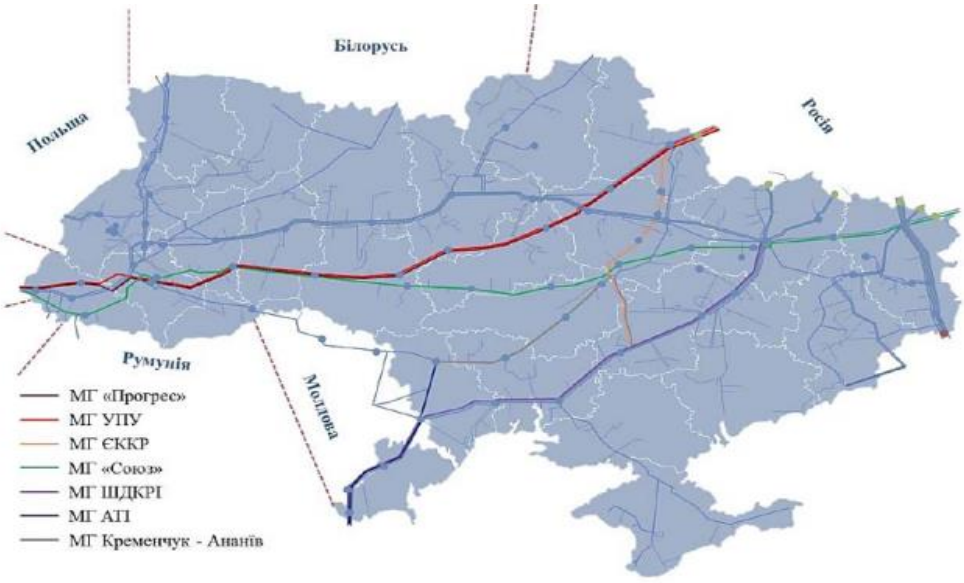


Рисунок 2.2 – Карта ГТСУ і основні напрямки руху газу

Уренгой – Помари – Ужгород – один із найбільших магістральних газопроводів, який є основним маршрутом для транспортування російського газу до Європи через Україну. Цей газопровід є частиною європейської системи постачання газу, сполучаючи газові родовища Сибіру з країнами Центральної та Західної Європи.

Прогрес — газопровід, що забезпечує транспортування газу з території Росії до країн Західної Європи. Використовується для підсилення транзитних можливостей ГТС України та оптимізації транспортування великих обсягів газу.

Союз – цей газопровід було збудовано для забезпечення транзиту газу до країн Східної та Центральної Європи. Він має стратегічне значення для стабільного забезпечення газопостачання в регіоні.

Єлець – Кременчук – Кривий Ріг – газопровід, який забезпечує транспортування газу до внутрішніх споживачів України, а також підтримує транзитні потоки до Європи.

Кременчук – Ананіїв – газопровід, який з'єднує центральну частину України з південними регіонами, забезпечуючи транспортування газу до портових зон.

Ананіїв – Тирасполь – Ізмаїл – маршрут, який забезпечує подачу газу до південних регіонів України та підтримує транзитні потоки до сусідніх країн.

Шебелинка – Диканька – Кривий Ріг – Ізмаїл – цей газопровід забезпечує транспортування газу з українських родовищ, а також підтримує транзитні потоки.

Роздільна – Ізмаїл – газопровід, що забезпечує постачання газу до південних регіонів та сприяє експорту до сусідніх країн через портові термінали.

Ці магістральні газопроводи відіграють важливу роль у забезпеченні стабільності транзиту газу до Європи. Їхня пропускна здатність дозволяє транспортувати великі обсяги газу, що є критично важливим для енергетичної безпеки Європи. Завдяки розгалуженій інфраструктурі українська ГТС залишається ключовим елементом у глобальній системі транспортування природного газу.

Газотранспортна система України (ГТС) у 2022 році залишалася однією з найбільших і найважливіших енергетичних інфраструктур у світі, яка забезпечує як внутрішнє газопостачання, так і транзит природного газу до європейських країн. На цей період вона включала 37,9 тис. км магістральних газопроводів (за винятком тих, що знаходяться на тимчасово окупованих територіях), 73 компресорні станції з 705 газоперекачувальними агрегатами загальною потужністю 5496 МВт, понад 1472 газорозподільні станції та 12 підземних сховищ газу з активною ємністю 31 млрд м³ (за виключенням одного газосховища на тимчасово окупованих територіях (рисунок 2.3).

Щорічно, починаючи з 2016 року, територією України транспортувалося приблизно 85-90 млрд м³ транзитного природного газу. У 2020 році споживання природного газу в Україні становило близько 27,5 млрд м³ на рік. Станом на 28 жовтня 2022 року підтверджена номінація на транзит природного газу до країн Європи складала 42,4 млн м³ на добу. Транзит російського газу здійснювався через точку входу "Суджа" на північному кордоні України, технічна потужність якої становить 244 млн м³ на добу.

У 2020 році споживання природного газу в Україні склало 27,5 млрд м³ на рік, з яких 4,0–4,5 млрд м³ щорічно витрачалося оператором ГТС на виробничо-

технічні та технологічні потреби, включаючи роботу компресорних станцій [11].

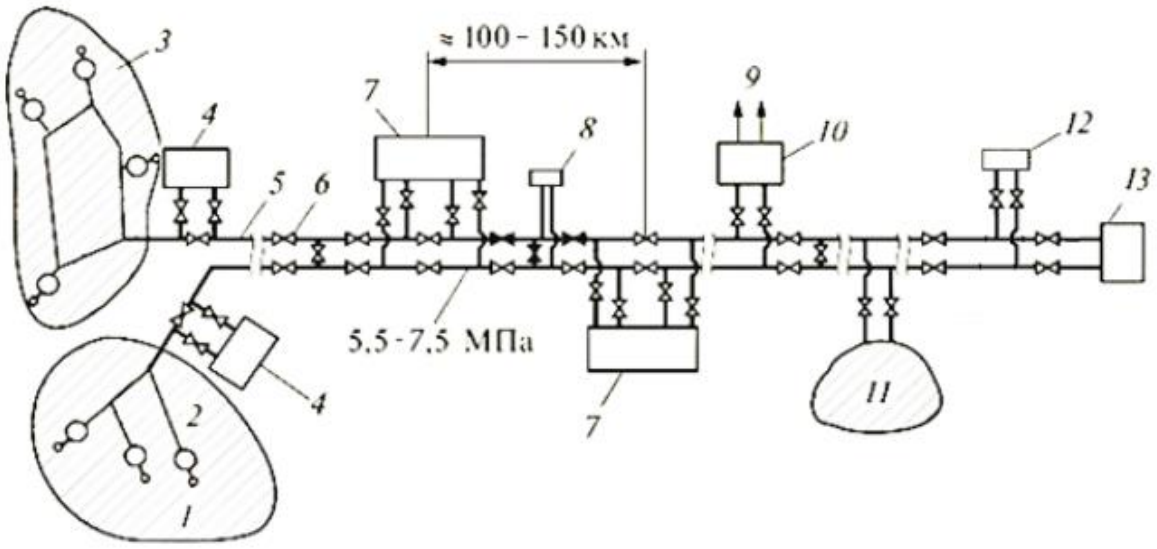
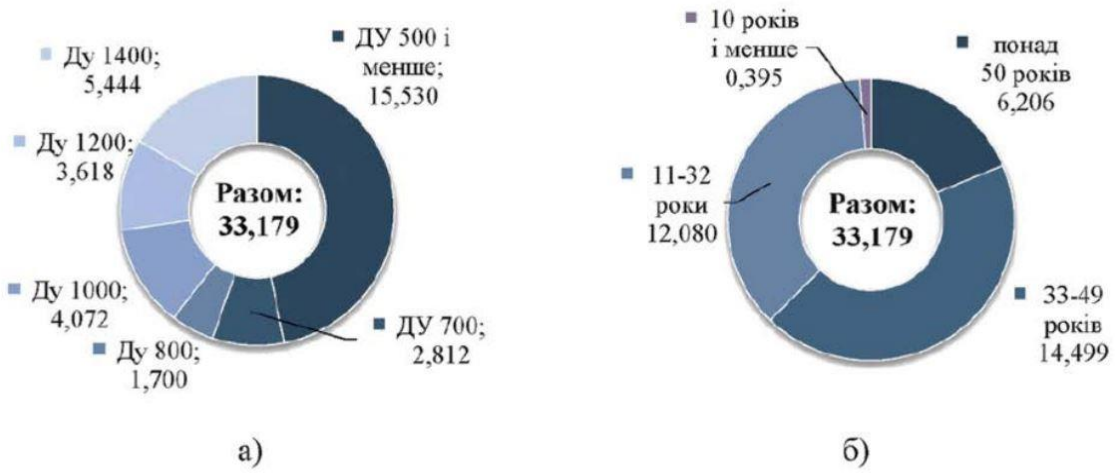


Рисунок 2.3 – Схема системи транспортування газу МГ:
1 – свердловини; 2 – установки комплексної підготовки газу; 3 – промислові газопроводи; 4 – промислова газорозподільна станція; 5 – магістральний газопровід; 6 – лінійна арматура; 7 – проміжна компресорна станція; 8 – мобільна компресорна станція; 9 – споживач (підприємство, населений пункт); 10 – газорозподільна станція; 11 – підземне сховище газу; 12 – об'єкт переробки газу; 13 – споживач (область, країна)

Таким чином, газотранспортна система України є критично важливою інфраструктурою, яка забезпечує енергетичну безпеку як країни, так і європейського регіону, сприяючи стабільному постачанню природного газу споживачам.

Газотранспортна система України (ГТС) перебуває у стані значної фізичної та моральної зношеності, що створює серйозні виклики для її ефективного функціонування. Близько 70% магістральних газопроводів (МГ) та 80% газоперекачувальних агрегатів (ГПА) компресорних станцій експлуатуються понад 20 років. Частина ГПА наближається до 50-річного терміну служби, а 10% транзитних газопроводів використовуються понад півстоліття. Технічний стан

більшості підземних сховищ газу, які функціонують від 20 до 49 років з моменту першого закачування газу, також не відповідає сучасним технічним та проєктним вимогам (рисунок 2.4)[18].



а) б)

Рисунок 2.4 – Структура магістральних газопроводів за:
а) діаметром; б) терміном експлуатації, тис. км

Зношеність інфраструктури ГТСУ з кожним роком збільшує витрати на її обслуговування та відновлення. Водночас останнім часом спостерігається тенденція до скорочення фінансування капітальних, поточних та планових ремонтів, що негативно впливає на надійність системи та її здатність забезпечувати стабільний транзит і внутрішнє газопостачання. Ця ситуація вимагає термінових заходів із модернізації та належного фінансування, щоб уникнути погіршення роботи ГТС і зберегти її стратегічну роль у забезпеченні енергетичної безпеки України та Європи.

2.2 Проблемні питання експлуатації ГТС

Газотранспортна система України (ГТСУ) стикається з багатьма проблемами, які значно ускладнюють її ефективну експлуатацію та створюють високий рівень техногенного ризику.

Для розуміння глибини проблем детально розглянемо кожен аспект:

– питома витрата паливно-енергетичних ресурсів на реальний привід газоперекачувального агрегату протягом багатьох років знижується у зв'язку з вимушеним розвантаженням газотранспортної системи та низьким коефіцієнтом корисної дії агрегатів;

– близько 70% магістральних газопроводів (МГ) та 80% газоперекачувальних агрегатів (ГПА) компресорних станцій експлуатуються понад 20 років, а 10% ГПА наближаються до 50-річного терміну служби. Тривала експлуатація призводить до деградації матеріалів трубопроводів, включаючи зниження їх фізико-механічних та електрохімічних характеристик. Це значно підвищує ризик аварій через корозію, тріщини та інші дефекти. Заміна зношених елементів вимагає великих інвестицій, які систематично не забезпечуються;

– основною причиною аварій є дефекти зварних швів, що виникають через недостатню якість зварювання під час будівництва та відсутність належного контролю. Корозійні процеси значно прискорюються у вологих і хімічно агресивних середовищах. З часом це може призводити до утворення тріщин та витоків, що створює загрозу вибухів і серйозних техногенних катастроф;

– труби, виготовлені ще за часів СРСР, мають суттєві недоліки: невисоку міцність та недосконалу геометрію. У деяких випадках для будівництва трубопроводів використовувалися труби з різними діаметрами, що спричиняє нерівномірний розподіл навантаження і підвищує ризик пошкоджень. Рентгенівські плівки, які використовувалися для перевірки якості зварних швів, часто були низької якості, що унеможливлювало виявлення багатьох будівельних дефектів;

– не всі магістральні газопроводи можуть бути діагностовані внутрішньотрубним методом через технічні обмеження. Це означає, що дефекти залишаються невиявленими, поки не спричинять серйозні проблеми. Відсутність сучасного діагностичного обладнання також ускладнює моніторинг стану трубопроводів;

– багато трубопроводів експлуатуються з пошкодженим або зношеним

ізоляційним покриттям, що сприяє корозії. Системи електрохімічного захисту, які повинні мінімізувати корозійні процеси, також є застарілими, через що їх ефективність значно знижена;

– об'єкти, побудовані за часів СРСР, здебільшого не оснащені сучасними системами автоматики. Це ускладнює моніторинг та управління газотранспортною системою, особливо в умовах аварійних ситуацій;

– щороку витрати на обслуговування та відновлення ГТСУ зростають, але фінансування капітальних та поточних ремонтів є недостатнім. Це призводить до накопичення проблем та зниження надійності всієї системи;

– зменшення кількості експлуатаційного персоналу створює значні труднощі у виконанні планових робіт. Брак висококваліфікованих спеціалістів пов'язаний із низьким рівнем заробітної плати та відсутністю сучасної системи професійно-технічного навчання. Це негативно впливає на якість робіт з обслуговування та ремонту;

– регулярні витоки газу через зношеність трубопроводів та недосконалі методи ремонту спричиняють значні втрати енергоресурсів. Метод «стравлювання газу», який використовується для ремонту, є екологічно шкідливим і небезпечним. Такі витоки також посилюють вплив на глобальне потепління через виділення метану – потужного парникового газу;

– діючі нормативні документи не відповідають сучасним технічним вимогам і міжнародним стандартам. Це ускладнює впровадження нових технологій та підходів до експлуатації газотранспортної системи;

Отже, газотранспортна система України перебуває у стані значного технічного та експлуатаційного ризику. Без комплексного підходу до модернізації, покращення технічного стану та впровадження нових методів управління існує висока ймовірність аварій, що матимуть серйозні економічні та екологічні наслідки. Залучення інвестицій, використання сучасних технологій та вдосконалення нормативної бази дозволить забезпечити надійну та безпечну роботу ГТСУ.

Для підвищення ефективності ГТС необхідно впроваджувати інноваційні рішення, які дозволять зменшити витрати енергоресурсів, покращити управління системою та знизити рівень техногенних ризиків:

– використання систем моніторингу стану трубопроводів у реальному часі дозволить оперативно виявляти витоки, пошкодження або інші аномалії;

– автоматизація управління компресорними станціями зменшить залежність від людського фактору та підвищить точність операцій;

– використання сучасних матеріалів із підвищеною корозійною стійкістю для заміни пошкоджених труб.

ГТС значно впливає на навколишнє середовище через витоки газу та використання екологічно шкідливих методів ремонту. Для мінімізації цього впливу необхідно:

– відмовитися від методу "стравлювання газу" та впроваджувати технології, які дозволяють ремонтувати труби без викидів газу в атмосферу;

– створити системи збору та утилізації газу під час ремонтних робіт;

– використовувати енергоефективне обладнання для компресорних станцій, що зменшить обсяги викидів парникових газів.

Модернізація ГТС потребує значних інвестицій, які можуть бути забезпечені через:

– залучення міжнародних інвестицій та грантів від фінансових організацій, таких як Європейський банк реконструкції та розвитку (ЄБРР) або Світовий банк;

– співпраця з Європейським Союзом у межах енергетичних програм для отримання фінансової підтримки та впровадження сучасних стандартів;

Розробка довгострокових програм фінансування, які враховують як поточні потреби в ремонті, так і перспективні проєкти модернізації.

Системне управління ризиками є ключовим елементом для зменшення ймовірності аварій та забезпечення стабільної роботи ГТС.

Основні заходи включають:

– проведення регулярного аудиту стану системи та оцінка потенційних

ризиків;

– розробка планів дій у разі аварій, які дозволять мінімізувати шкоду;

– впровадження тренінгів для персоналу з реагування на надзвичайні ситуації;

– Україна повинна інтегрувати свої нормативні акти до європейських стандартів, зокрема EN та ISO, що сприятиме:

– підвищенню рівня безпеки об'єктів ГТС;

– покращенню співпраці з європейськими партнерами;.

– підвищенню інвестиційної привабливості системи.

Модернізація ГТС сприятиме не лише технічним, але й соціальним покращенням:

– створення нових робочих місць під час виконання ремонтних робіт та модернізації;

– підвищення рівня кваліфікації працівників через навчання новітнім технологіям;

– поліпшення умов праці та підвищення зарплат для залучення висококваліфікованих кадрів.

РОЗДІЛ 3
ОСНОВНІ ТЕХНОЛОГІЇ РЕМОНТНИХ РОБІТ НА ГТС

3.1 Чинники, що призводять до аварії на об’єктах ГТС

Магістральні газопроводи (МГ) є ключовою частиною газотранспортної системи України, але їх експлуатація пов’язана зі значними техногенними ризиками. Основним завданням технічної експлуатації є забезпечення герметичності трубопроводів, яка є критичною для запобігання аварій і мінімізації впливу на довкілля.

Магістральний газопровід є складним технологічним комплексом, що складається з трубопроводів, компресорних станцій, резервуарів, вузлів обліку, пунктів регулювання тиску та іншого обладнання. Ця система функціонує як єдиний технологічний процес і забезпечує транзит природного газу для внутрішніх і міжнародних споживачів. Відповідність об’єктів ГТС державним будівельним стандартам є обов’язковою умовою їхньої надійної роботи.

Основною загрозою є викиди природного газу, що можуть призводити до: вибуху з утворенням ударної хвилі, яка спричиняє руйнування навколишніх об’єктів, розльоту уламків трубопроводів, ґрунту та обладнання, які становлять загрозу для людей і споруд, інтенсивного теплового впливу полум’я, що викликає пожежі, виділення токсичних продуктів горіння, таких як оксиди вуглецю та азоту, які негативно впливають на здоров’я людей і навколишнє середовище.

Встановлено що найгірший сценарій аварії включає в себе послідовні події: → розгерметизація трубопроводу або компресорного обладнання → викид трубопроводу на поверхню ґрунту з утворенням котловану → вивільнення природного газу у вигляді вибухонебезпечної хмари → займання газу, вибух і розльот уламків → факельне горіння, яке викликає масштабні пошкодження → ураження персоналу та цивільного населення → забруднення навколишнього

середовища токсичними речовинами та згорілим газом.

Причини виникнення аварій на магістральних газопроводах можна умовно поділити на дві групи:

1 група – випадкові події: стихійні лиха: землетруси, паводки, урагани; несанкціоновані роботи в охоронних зонах газопроводів, що можуть пошкодити їхню цілісність; бойові дії та диверсії, які є актуальними в умовах військового конфлікту; терористичні акти, саботаж, вандалізм; падіння літальних апаратів, уламків ракет або дронів.

2 група – невипадкові події: порушення норм проєктування та будівництва, використання неякісних матеріалів, недотримання стандартів зварювання; корозія трубопроводів, спричинена відсутністю належного ізоляційного покриття; зношення матеріалів через довготривалу експлуатацію без оновлення; недотримання технологічних режимів: перевищення тиску, відхилення від допустимих параметрів; дефекти труб: мікротріщини, ушкодження геометрії, втомленість сталі, та інше (рисунок 3.1) [18].

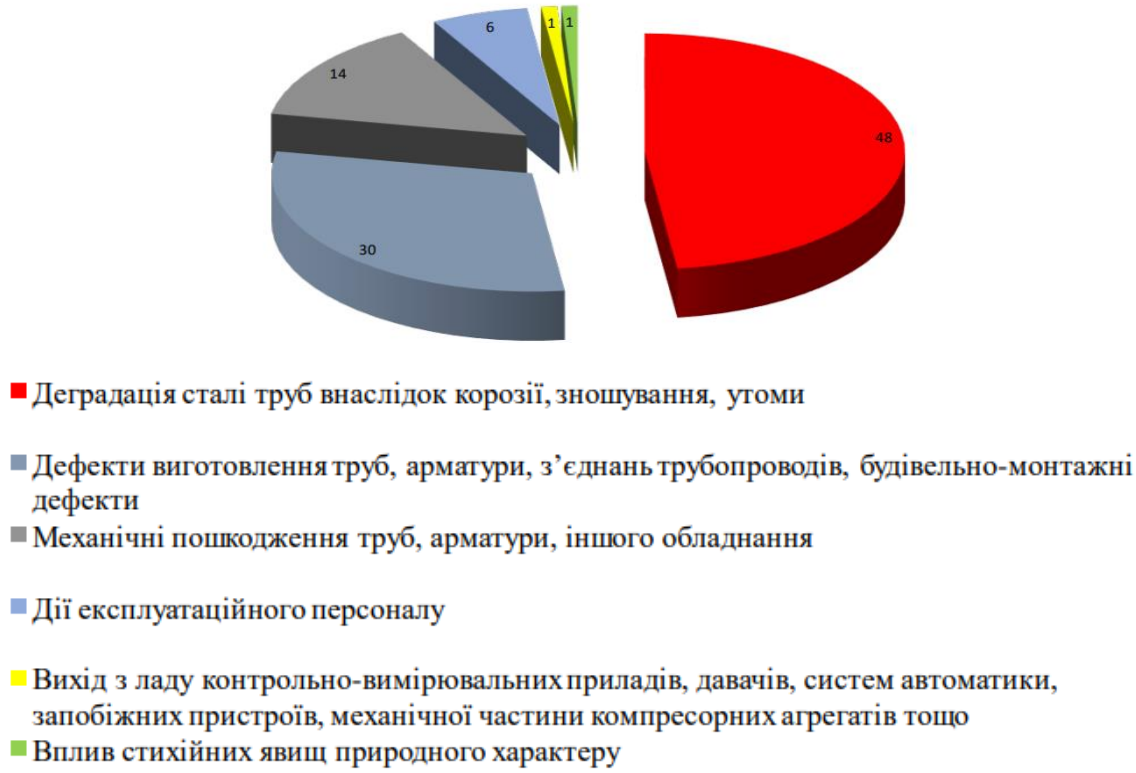


Рисунок 3.1 – Розподіл чинників, що призводять до аварії на об'єктах ГТС, за ступенем впливу, %

Найпоширенішими видами дефектів, які зустрічаються на магістральних трубопроводах і стають причиною їхньої відмови є:

1 Корозійні дефекти – експлуатаційні пошкодження, що виникають у результаті тривалого впливу корозійно-активних середовищ. Основними причинами є відсутність або пошкодження ізоляційного покриття, а також недостатній електрохімічний захист трубопроводу.

2 Дефекти зварних з'єднань можуть виникати як на етапі виробництва (заводські дефекти), так і під час монтажу трубопроводів (будівельні дефекти). Низька якість зварювання або контрольних перевірок може спричинити слабкість швів, яка з часом призводить до розгерметизації.

3 Комбіновані дефекти поєднання корозійних пошкоджень із дефектами зварних з'єднань або інших типів пошкоджень, що підвищує ризик аварій. Зазвичай такі дефекти вимагають більш складного підходу до діагностики та ремонту. Розвиток цих дефектів у часі, зумовлений впливом зовнішніх факторів (зміни температури, тиску, механічні навантаження), може стати причиною відмови магістрального газопроводу. Такі ситуації підвищують ризики аварій, що негативно впливають як на технічний стан трубопроводів, так і на безпеку експлуатації.

3.2 Методи ремонту газотранспортних систем та критерії вибору методів

Для запобігання відмовам необхідно своєчасно виявляти дефекти шляхом регулярної діагностики та забезпечувати оперативний ремонт.

На разі є методи ремонту які потребують зупинки транспортування продукту, та ті, які дозволяють виконувати роботи без зупинки процесу.

Вибір методу ремонту трубопроводів повинен визначатися залежно від характеру та геометричних параметрів пошкодження (дефекту). Сучасні методи ремонту магістральних газопроводів викладені в ВБН В.3.100013741-08:2008 [12], ВБН В.3.1-00013741-07:2007 [13] та ГБН В.3.1-00013741-12:2011 [14].

Відповідно до ГБН В.3.1-00013741-12:2011 вибір методу ремонту визначається наступними чинниками: техніко-економічних показників за видами і методами ремонту, характеру, геометричних параметрів та місця розташування дефекту, щільності розподілу корозійних дефектів по довжині трубопроводу, конкретних умов залягання трубопроводу, допустимого внутрішнього тиску в трубопроводі під час проведення ремонтних робіт.

Ремонт дефектів магістральних трубопроводів із зупинкою трубопроводу є одним із найнадійніших методів усунення пошкоджень.

Цей підхід передбачає повне перекриття транспортування продукту за допомогою лінійної запірної арматури з обох боків ремонтної ділянки, видалення залишкового продукту шляхом його спрацювання або часткового стравлювання. Після цього ізольована ділянка трубопроводу відключається від основної магістральної системи, що дозволяє безпечно розпочати ремонтні роботи.

Такий підхід забезпечує приведення об’єкта у відповідність до чинних технічних вимог і проєктних стандартів, гарантуючи його надійність та довговічність.

Цей метод ремонту застосовується при наявності обширних дефектів на протяжних ділянках трубопроводу, які унеможливлюють безпечну експлуатацію.

Однак метод має надзвичайно суттєвий екологічний недолік через викиди метану. Тому необхідне вдосконалення технології за рахунок впровадження більш екологічних та ефективних рішень, які зменшать негативний вплив на довкілля.

Перед виконанням таких робіт для мінімізації викидів метану оператор газотранспортної системи України впроваджує метод «спрацювання газу на споживача».

Цей метод передбачає такі основні етапи: дефектна ділянка трубопроводу (довжиною 10–30 км) разом із прилеглими справними трубопроводами регіональної газотранспортної системи ізолюється, шляхом перекриття лінійної запірної арматури з обох боків. Прилеглі трубопроводи можуть мати загальну

довжину понад 100 км. Газ із локалізованої ділянки транспортується споживачам (промисловим підприємствам, населеним пунктам, регіонам) до досягнення нижньої межі тиску, встановленої газотранспортним підприємством. Спрацювання газу триває до моменту, коли тиск у системі знижується до рівня, придатного для проведення подальших ремонтних робіт.

Після завершення «спрацювання» газу дефектна ділянка магістрального газопроводу (10–30 км) відокремлюється від прилеглих трубопроводів шляхом перекриття арматури. Залишковий газ у відокремленій ділянці (обсяг до 1–14% від початкового) стравлюється в атмосферу через продувні свічки.

Перевагою даного методу є зменшення втрат газу та зменшення обсягів викидів метану в атмосферу.

До недоліків можна віднести часові витрати, процес «спрацювання» газу займає значний час, особливо на довгих ділянках трубопроводів.

На першому етапі проведення ремонту з заміною ділянки трубопроводу виконуються земляні роботи, для розкриття трубопроводу та підйому його на поверхню траншеї, що стає причиною порушення ґрунтового покриву та прилеглого ландшафту.

Після зняття захисного покриття проводиться очищення тіла труби, обстеження, діагностика та дефектування окремих труб, зварних з'єднань і деталей трубопроводу.

Далі виконуються основні ремонтні роботи, які можуть включати вирізання дефектних ділянок, усунення локальних пошкоджень методами заплавлення або шліфування. У разі необхідності встановлюються спеціальні ремонтні конструкції.

Усі відбраковані елементи трубопроводу замінюються на нові з параметрами, що відповідають проєктним вимогам. Після завершення ремонтних робіт на відновлену ділянку наноситься нове захисне покриття. Потім проводяться гідравлічні випробування трубопроводу під тиском для перевірки його герметичності та міцності.

У фінальній стадії ремонтована ділянка підключається до основної магістралі, після чого траншея засипається, а транспортування продукту відновлюється.

Отже, цей метод ремонту зазвичай застосовується для значно пошкоджених ділянок трубопроводу, що мають серйозні корозійні пошкодження, тріщини в металі труби або зварних з'єднаннях, а також механічні пошкодження, розміри яких перевищують припустимі будівельними нормами.

Основними перевагами такого підходу є повне відновлення ділянки трубопроводу до стану нового об'єкта, що значно підвищує надійність подальшої експлуатації та збільшує термін його служби.

До недоліків відносяться: значні фінансові витрати, стравлювання газу, виконанням великого обсягу земляних і будівельно-монтажних робіт. Довкіллю наноситься шкода через викид метану, що є шкідливим парниковим газом.

Крім того, метод є тривалим по часу у виконанні через необхідність ретельної підготовки, реалізації ремонтних робіт і проведення випробувань. Незважаючи на це, ремонт із зупинкою транспортування залишається незамінним у випадках серйозних пошкоджень, що становлять загрозу для безпеки експлуатації магістрального трубопроводу.

Ремонт дефектів магістральних трубопроводів які знаходяться під тиском без зупинки транспортування продукту.

Неможливість зупинки магістрального газопроводу для тривалого ремонту, особливо при виявленні локальних дефектів, пошук більш екологічно доцільних шляхів вирішення проблеми стала причиною розробки технологій ремонту газопроводів під тиском без виводу їх з експлуатації.

Дані роботи охоплюють широкий спектр заходів які включають: шліфування поверхневих дефектів, герметизацію технологічних отворів, заплавлення корозійних виразок, ремонт дефектних кільцевих стиків, ліквідацію наскрізних дефектів, приєднання відгалужень і лупінгів, застосування зварних і клеєварних муфт, поновлення несучої здатності труб із розшаруванням, підсилення ділянок з

корозійно-механічними пошкодженнями та ремонт вм'ятин.

Перевагами методів ремонту під тиском є безперервність транспортування продукту, економічна ефективність, екологічна безпека завдяки мінімізації викидів і оперативність виконання робіт. Такі підходи дозволяють уникнути значних витрат, пов'язаних із простоєм, забезпечуючи при цьому високу надійність та ефективність газотранспортної системи.

Основними методами ремонту під тиском є використання ремонтних муфт. Ці конструкції забезпечують локальне усунення дефектів, зміцнення та герметизацію пошкоджених ділянок.

В Додатку Б таблиця Б1 наведені схематичні зображення конструктивно технологічних рішень для ремонту дефектних ділянок трубопроводу в умовах експлуатації**.**

Звичайно, ремонт під тиском має певні обмеження: він здебільшого підходить для локальних дефектів і не забезпечує повного усунення зношення трубопроводу, як це робиться під час проведення традиційного ремонту з зупинкою газопроводу та заміною ділянки пошкодженої труби.

Таким чином, у сучасній практиці застосовуються обидва підходи, кожен із яких знаходить своє місце залежно від конкретної ситуації.

РОЗДІЛ 4

ОСНОВНІ СПОСОБИ ТА МЕТОДИ ПРИ РЕМОНТІ ГАЗОПРОВОДІВ ПІД ТИСКОМ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ БЕЗ СТРАВЛЮВАННЯ ГАЗУ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬ ЗАХИСТ ДОВКІЛЛЯ

Основні способи та методи ремонту магістральних газопроводів в умовах експлуатації (під тиском) наведені у ВБН В.3.1-00013741-08:2008 [12], де визначено базові підходи, такі як установка бандажів, використання ремонтних муфт, заповнення дефектів композитними матеріалами та виконання зварювальних робіт з особливими заходами безпеки.

Згодом, у ГБН В.3.1-00013741-12:2011 [14], цей перелік було переглянутий та доповненний сучасними технологіями, зокрема застосуванням полімерних матеріалів для герметизації, удосконаленими методами оцінки стану металу та швів, а також новими підходами до відновлення ізоляційного покриття. До ухвалення цих нормативів ремонт під тиском проводився за технологічними інструкціями, розробленими інститутом електрозварювання імені Патона О.Є., які забезпечували безпечне виконання робіт без зупинки транспортування газу, використання спеціалізованого обладнання та ефективні методи посилення дефектних ділянок.

Ці документи та інструкції сприяли підвищенню ефективності, безпеки та довговічності ремонтних робіт [19].

Даний підхід дозволяє усувати дефекти, не зупиняючи транспортування продукту. Це забезпечує безперервність експлуатації трубопроводу навіть під час проведення ремонтних робіт та усуває шкідливий екологічний вплив на довкілля через стравлювання газу перед ремонтними роботами.

Методи ремонту магістральних газопроводів в умовах експлуатації умовно діляться на:

– Спосіб безвогневого врізання відводів та байпасних ліній. Ця технологія

передбачає створення нових відгалужень або тимчасових обхідних ліній без використання зварювання. Метод є безпечним, оскільки виключає ризик виникнення пожежі або вибуху, і мінімізує ризики для персоналу та навколишнього середовища під час виконання робіт.

– Спосіб із застосуванням зварювання конструкцій з тілом труби. Цей метод включає роботи з приварювання ремонтних конструкцій до тіла труби. Зварювання може виконуватися безпосередньо на тілі труби або з використанням спеціальних ремонтних конструкцій, які забезпечують герметизацію та підсилення пошкодженої ділянки. Для додаткової міцності та герметизації простір під муфтою може заповнюватися клейовою сумішшю. Цей спосіб широко застосовується для усунення серйозних пошкоджень, але вимагає дотримання високих стандартів безпеки.

– Спосіб із застосуванням металевих ремонтних конструкцій без приварювання до тіла труби. Використання металевих ремонтних конструкцій дозволяє уникнути зварювальних робіт, що знижує ризики, пов'язані з роботою під тиском.

– Цей метод підходить для тимчасового або постійного усунення пошкоджень, забезпечуючи швидкий і ефективний ремонт із мінімальними затратами часу.

– Спосіб ремонту дефектів магістральних трубопроводів із використанням композитних матеріалів. Пошкоджені ділянки обгортаються матеріалами на основі композитів, які мають високу міцність, корозійну стійкість і довговічність. Композитні матеріали забезпечують надійну ізоляцію і підсилення, не вимагаючи складного монтажу чи використання зварювання. Цей метод є особливо ефективним для ремонту локальних дефектів і забезпечує тривалий термін експлуатації відремонтованої ділянки.

Кожен із цих методів має свої переваги та обмеження, і вибір конкретного способу залежить від характеру пошкоджень, умов експлуатації та вимог до швидкості і надійності ремонту.

4.1 Спосіб ремонту дефектів магістральних трубопроводів методом безвогневого врізування відводів та байпасної лінії

У ситуаціях, коли на магістральному трубопроводі виявлено великі ділянки з суттєвими пошкодженнями, що перевищують допустимі розміри згідно з будівельними нормами, доцільно здійснити повну заміну ділянки пошкодженої труби. Однак, якщо припинення транспортування продукту є неможливим через виробничі чи економічні обмеження, ремонтні роботи виконуються без зупинки трубопроводу.

У таких випадках застосовується метод встановлення байпасної лінії (рисунок 4.1), яка дозволяє обійти пошкоджену ділянку трубопроводу.

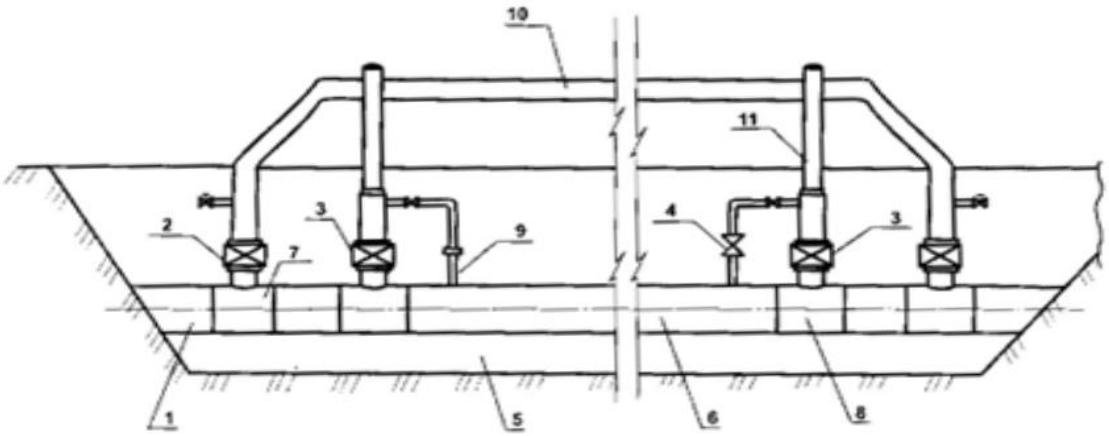


Рисунок 4.1 – Схема відключення ділянки трубопроводу яка підлягає ремонту та приєднанням байпасної лінії:

1 – магістральний трубопровід; 2 – запірна арматура байпасної лінії; 3 – запірна арматура запірного обладнання; 4 – запірна арматура перепускного патрубка; 5 – котлован; 6 – ділянка трубопроводу, що підлягає ремонту; 7 – трійник байпасної лінії; 8 – трійник запірного обладнання; 9 – перепускний патрубок; 10 – байпасна лінія; 11 – запірне обладнання

Байпасна лінія монтується методом безвогневого врізування безпосередньо в трубопровід (рисунок 4.2), що перебуває під тиском [20].

Це дає змогу забезпечити безперервність транспортування продукту, мінімізуючи витрати та час виконання робіт.

Встановлення байпасної лінії забезпечує можливість проведення ремонту пошкодженої ділянки без впливу на основний процес транспортування.

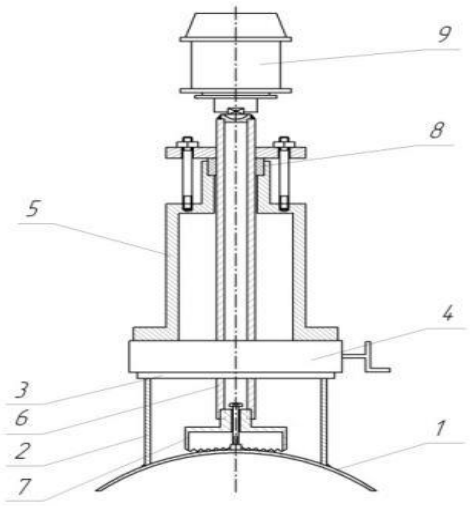


Рисунок 4.2 – Пристрій для безвогневого врізування:
1 – магістральний трубопровід; 2 – патрубок; 3 – фланець; 4 – засувка; 5 – пристрій для врізання; 6 – шпиндель; 7 – фреза; 8 – ущільнювач; 9 – електродвигун

4.2 Способи ремонту дефектів магістральних трубопроводів, які виконуються з застосуванням процесу зварювання до тіла труби

Ремонт із використанням зварювальних технологій вважається одним із дієвих методів для усунення локальних пошкоджень. Зварювальні роботи можуть виконуватися як безпосередньо на поверхні труби, так і з використанням спеціальних ремонтних елементів, що приварюються до ділянок із пошкодженнями.

У певних випадках, для підвищення герметичності та міцності, міжтрубний простір (або підмуфтовий простір) заповнюється спеціальним клеєм.

Якщо йдеться про невеликі корозійні пошкодження, їх усунення може здійснюватися методами шліфування (КТР1) або дуговим зварюванням (КТР3),

яке дозволяє відновити пошкоджені ділянки за допомогою заплавленням. Ці способи особливо ефективні для усунення незначних дефектів, розташованих на зовнішній поверхні трубопроводу.

Детальна технологія заплавлення дефектів наведена на рисунку 4.3

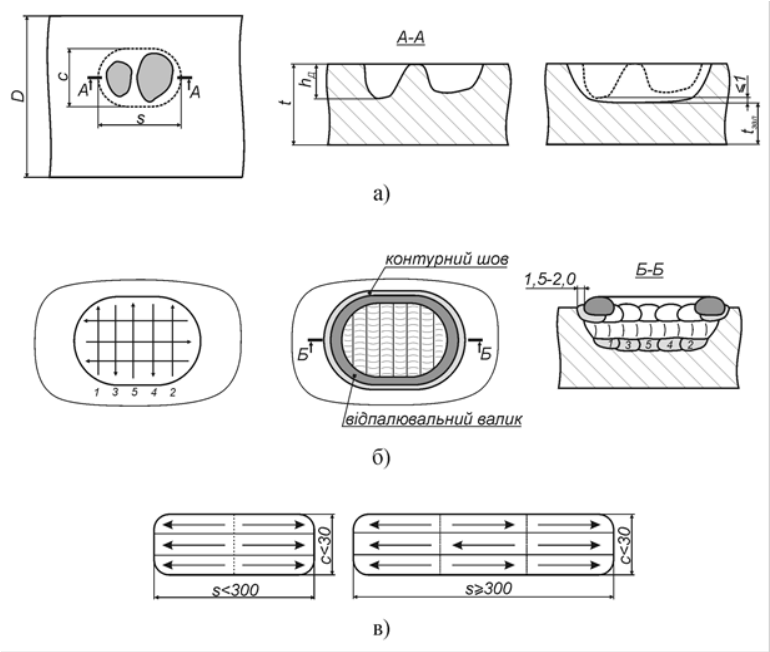


Рисунок 4.3 – Послідовність підготування та заплавлення корозійних пошкоджень:

D – діаметр трубопроводу; *s*, *c* – геометричні параметри розроблення; $h_Д$ – глибина дефекту; *t* – номінальна товщина стінки труби; $t_{зал}$ – залишкова товщина стінки труби під дном дефекту; 1, 2, 3, 4, 5 – черговість накладання валиків при заплавленні

Однією з головних переваг цього підходу є його економічна вигідність: роботи виконуються силами власного персоналу без необхідності залучення сторонніх підрядників. Також ремонтні роботи не потребують використання додаткових конструкцій, що значно спрощує їх реалізацію.

Разом із тим цей метод має певні обмеження.

Основним недоліком є те, що він ефективний лише для дефектів із визначеними розмірами та характеристиками. У випадках значних пошкоджень або складних дефектів цей спосіб може виявитися недостатньо ефективним, і тоді

необхідно використовувати інші методи ремонту.

Наступний спосіб ремонту згідно ГБН В.3.1-00013741-12:2011 за допомогою муфти (КТР5) він передбачає, що муфта герметична з розрізними кільцями монтується на ділянку трубопроводу з дефектами тіла труби, повздовжніх та спіральних зварних швів (рисунок 4.4).

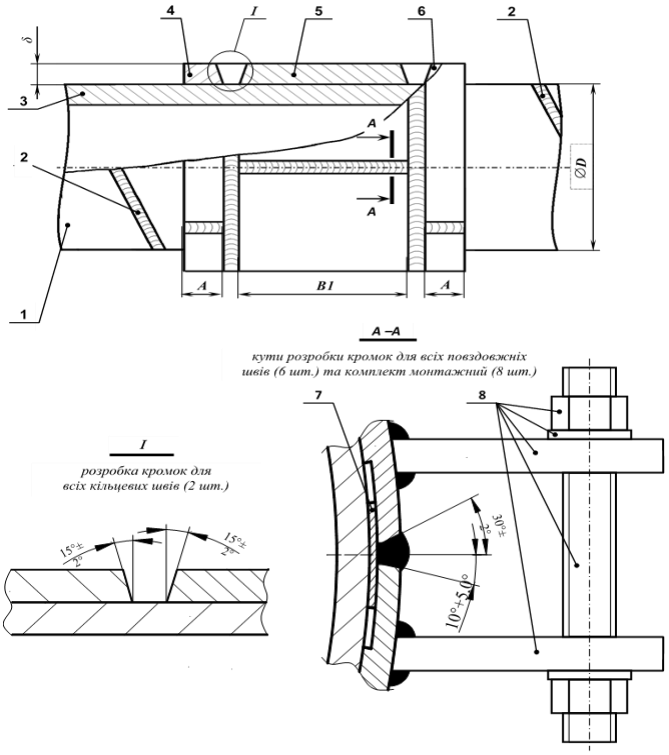


Рисунок 4.4 – Схема змонтованої на трубопровід муфти герметичної з розрізними кільцями:

1 – трубопровід; 2 – спіральні/повздовжні зварні шви трубопроводу; 3 – стінка труби трубопроводу; 4, 6 – стінки напівоболонок розрізних кілець, деталі гнуті; 5 – стінка напівоболонки муфти, деталь гнута; 7 – стрічка підкладна; 8 – комплект монтажний; А – ширина розрізних кілець; В1 – ширина муфти; δ – товщина стінки елементів муфти; D – зовнішній діаметр труби трубопроводу

Цей метод є ефективним і економічно вигідним, оскільки дозволяє оперативно усувати дефекти тіла труби, повздовжніх і спіральних зварних швів без значного збільшення витрат. Перевагами способу є відносно низька вартість проведення робіт, зменшені обсяги земляних і будівельно-монтажних заходів, а

також можливість виконання ремонту силами власного персоналу без залучення сторонніх організацій.

Недоліком цього методу є його обмеженість у застосуванні для ремонту дефектів, розташованих у зоні кільцевих зварних швів.

Спосіб ремонту згідно ГБН В.3.1-00013741-12:2011 за допомогою КТР14 передбачає монтаж на ділянку трубопроводу з локальними поодинокими дефектами тіла труби, латки муфти (рисунок 4.5).

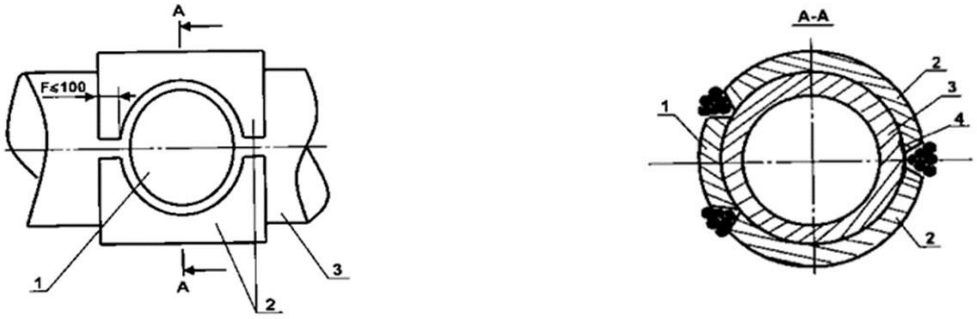


Рисунок 4.5 – Схема змонтованої на трубопровід латки-муфти:
1 – латка; 2 – технологічні елементи; 3 – трубопровід; 4 – металева підкладка

Перевагами способу є відносно низька вартість проведення робіт, зменшені обсяги земляних і будівельно-монтажних заходів. Недоліком способу є значні обмеження по геометричним розмірам та типам дефектів, які можливо усунуті даним способом.

Спосіб ремонту згідно ГБН В.3.1-00013741-12:2011 за допомогою КТР7 передбачає ремонт неприпустимих дефектів кільцевих зварних стиків (непроварів, ланцюжки пор та шлакових включень, несплавлення кромок), а також в прилеглій до нього зоні – корозійні пошкодження глибиною, що перевищує 40% від номінальної товщини стінки труби, розшарування в пришовній зоні кільцевого зварного стику, розшарування з випинанням, гофрів висотою до 26 мм та великих корозійних пошкоджень, більше орієнтованих в окружному напрямку труби (рисунок 4.6).

Перевагами способу ремонту є відносно низька вартість проведення таких ремонтів та обсягів земляних і будівельно-монтажних робіт, можливість усувати

значну кількість дефектів, в тому числі дефектів кільцевих зварних з'єднань, навколошовної зони та прилеглих до кільцевого з'єднання ділянках трубопроводу.

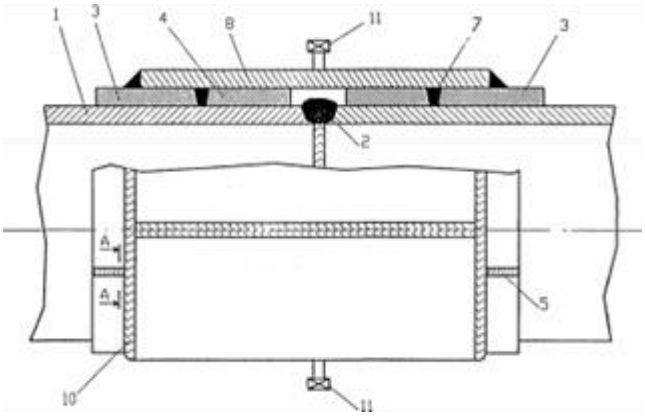


Рисунок 4.6 – Схема змонтованої на трубопровід ремонтної конструкції у відповідності:

1 – трубопровід; 2 – кільцеве зварне з'єднання з дефектом;

3, 4 – технологічні кільця; 5 – повздовжній шов технологічних кілець 4;

6, 9 – залишкові металеві підкладки; 7 – кільцеві напустково-стикові з'єднання; 8 – розрізна муфта; 10, 13 – кутові шви; 11 – штуцери або отвори для закачування самотвердіючої маси; 12 – теплоізолююча підкладка із склотканини

Основним недоліком є необхідність використання самотвердіючих мас при ремонті дефектів, які розміщені на віддалі більшій за 150 мм від кільцевого зварного шва, що призводить до значного здороження конструкції за рахунок вартості матеріалів та потреби у залученні спеціалізованих організацій.

4.3 Способи ремонту дефектів магістральних трубопроводів, які використовують металеві ремонтні конструкції, що не приварюються до тіла труби

До даного способу ремонту згідно ГБН В.3.1-00013741-12:2011 відноситься КТР4, що передбачає використанню сталевої неприварної ремонтної конструкції, що складається з двох напівоболонок, при монтажі яких виконується обтиснення

дефектної ділянки трубопроводу з наступним зварюванням поздовжніх швів напівоболонок (рисунок 4.7).

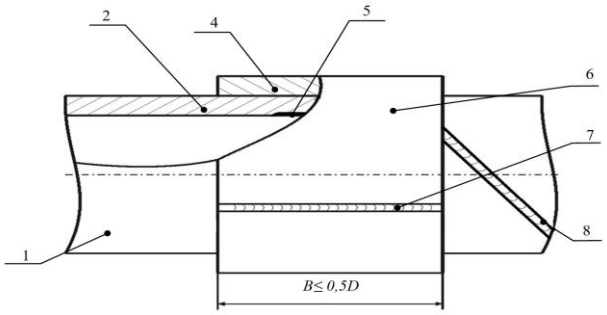


Рисунок 4.7 – Схема змонтованої на трубопровід бандажу розрізного:
1 – газопровід; 2 – стінка труби; 4 – стінка напівоболонки бандажу;
5 – пошкодження; 6 – бандаж; 7 – повздовжнє зварне з'єднання бандажу;
8 – повздовжнє/спіральне зварне з'єднання газопроводу; В – довжина бандажу не більше 0,5 *D*, де *D* – діаметр газопроводу

Перевагою способу ремонту є відносно низька вартість проведення таких ремонтів та обсягів земляних і будівельно-монтажних робіт, мала металоємність конструкції, спосіб дає можливість виконати ремонт окремих незначних за розмірами типів дефектів тіла труби без зупинки трубопроводу.

Весь комплекс робіт виконується персоналом експлуатаційних служб, без залучення сторонніх організацій.

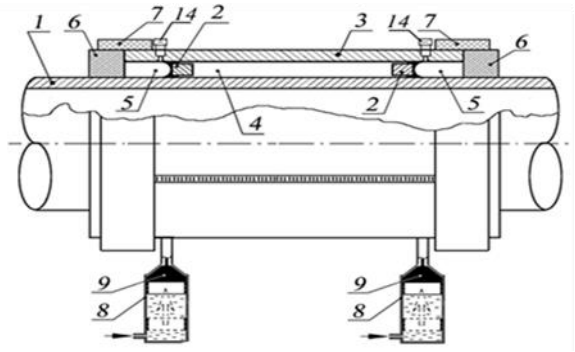
Недоліком способу є значні обмеження по геометричним розмірам та типам дефектів, які можливо усунути даним способом.

Спосіб ремонту згідно ГБН В.3.1-00013741-12:2011 за допомогою КТР19 передбачає використання клеєзварної муфти з попереднім формуванням ущільнювачів під тиском. Максимальна довжина муфти не повинна перевищувати 2D. Схему муфти наведено на рисунку 4.8

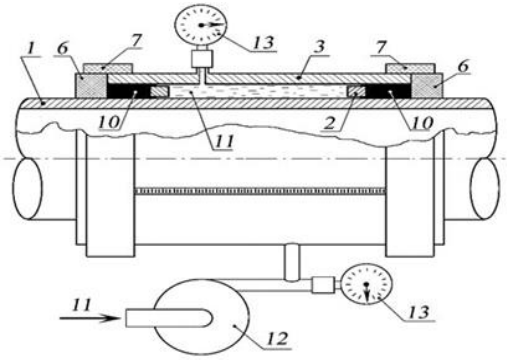
Напівоболонки муфти притискають до технологічних кілець і зварюють між собою поздовжніми швами. З боку торців муфти встановлюють герметизуючі манжети з герметика, що швидко твердіє. Установлюють бандажні кільця, розміщуючи їх на поверхні відповідних манжет і муфти шляхом навивки.

Перевагою способу ремонту є можливість усувати різноманітні дефекти тіла труби трубопроводу, повздовжніх та спіральних зварних з'єднань та біляшовної зони кільцевих зварних з'єднань. Спосіб дозволяє відремонтувати дефектну ділянку трубопроводу, знизивши як окружні, так і осьові напруження.

Недоліки способу: не дозволяє проводити ремонти кільцевих зварних з'єднань, застосування самотвердіючих мас, що призводить до значного здороження конструкції за рахунок вартості матеріалів та потреби у залученні спеціалізованих організацій.



а) формування ущільнювачів



б) заповнення підмуфтового простору

Рисунок 4.8 – Схема змонтованої на трубопровід клеєзварної муфти з попереднім формуванням ущільнювачів під тиском:

1 – трубопровід; 2 – технологічні кільця; 3 – муфта; 4 – підмуфтовий простір; 5 – кільцеві камери; 6 – манжета; 7 – бандажне кільце; 8 – шприц; 9 – герметизуючий склад; 10 – сформовані ущільнювачі; 11 – самотверднуча маса; 12 – насос; 13 – манометри; 14 – вентилі

4.4 Способи ремонту дефектів магістральних трубопроводів, які застосовують композитні матеріали

Композиційні матеріали, такі як склопластик, мають унікальні фізико-механічні властивості.

Щільність склопластику приблизно в чотири рази нижча, ніж у сталі, що

робить його значно легшим, але при цьому межа міцності склопластику вдвічі перевищує межу міцності сталі. Це дозволяє використовувати його для створення ефективних і довговічних ремонтних конструкцій, які не поступаються сталевим за надійністю, але мають значно меншу вагу та простіші в монтажі.

Однією з перших компаній, що запропонувала інноваційний підхід до ремонту трубопроводів із застосуванням рулонного склопластику, стала американська компанія «Аргус Лімітед». Її фахівці розробили технологію ремонту за допомогою манжети «Clock Spring» («часова пружина»).

Цей метод передбачає установку бандажа із склопластику, який постачається в рулоні, на пошкоджену ділянку трубопроводу. Бандаж наноситься шляхом багаторазового намотування матеріалу навколо дефектної зони через клейовий склад, який забезпечує високу адгезію між шарами і герметичність конструкції. Технологія «Clock Spring» дозволяє не лише оперативно усувати дефекти, але й зберігати трубопровід у робочому стані без необхідності зупинки транспортування продукту. Це робить її особливо ефективною для ремонту локальних пошкоджень і корозійних дефектів, забезпечуючи надійне підсилення трубопроводу та подовження терміну його експлуатації (рисунок 4.9).

Рисунок 4.9 – Нанесення на дефектну ділянку трубопроводу манжети «Clock Spring»

Недоліками способу є необхідність виконання земляних робіт, оскільки для якісного намотування стрічки потрібен вільний простір, що відповідає діаметру труби, у зоні проведення ремонту. Також залежність від кваліфікації персоналу,

процес намотування стрічки потребує високої майстерності, оскільки рівномірність натягу сильно впливає на міцність і якість ремонту.

Використання технологій ремонту трубопроводів із застосуванням манжет зі склопластику в Україні регламентується стандартом ДСТУ ISO 24817, який визначає вимоги до ремонту трубопроводів із використанням композитних матеріалів [8].

4.5 Реалізація технології захисту довкілля при проведенні ремонтних робіт на газопроводі під тиском в умовах експлуатації, на прикладі Сумського ЛВУМГ за допомогою муфт

На базі Сумського лінійно виробничого управління магістральних газопроводів в 2024 році на газопроводі «Єлець-Кременчук-Кривий Ріг» були проведені ремонтні роботи з усуненням дефектів труби, які були виявлені за результатами проведення внутрішньо-трубної діагностики компанією Rosen.

За результатами наданого звіту для усунення дефектів було прийнято рішення встановити дві муфти КТР4 та однієї муфти КТР5 (рисунок 4.10).

Схема змонтованої муфти КТР4 на трубопроводі «Єлець-Кременчук-Кривий Ріг»

Схема змонтованої на трубопровід муфти КТР5 герметичної з розрізними кільцями на трубопроводі «Єлець-Кременчук-Кривий Ріг»

Рисунок 4.10 – Результати ремонтних робіт за до допомогою муфт

За результатами проведеної роботи та згідно розрахунків які виконуються

T_0

згідно НДТОВ 07-008:2021 [15].

Вихідні дані для розрахунку наведено в таблиці 4.1

Таблиця 4.1 – Вихідні дані для розрахунку

Ч.ч.	Назва параметру	Розмірність	Позначка
1	Обсяг газу, який випускається через свічки з ділянки газопроводу перед проведенням робіт за традиційною технологією	тис.м^3	$Q_{\text{стр}}$
2	Обсяг газу, яким продувається газопровід після проведення робіт за традиційною технологією	тис.м^3	$Q_{\text{прод}}$
3	Коефіцієнт перерахунку економії газу на умовне паливо		$K^{\text{у}}$
4	Внутрішній діаметр газопроводу, з якого необхідно було б випускати газ перед проведенням робіт	м	$D_{\text{у}}$
5	Довжина ділянки газопроводу, з якої необхідно було б випускати газ перед проведенням робіт	м	L
6	Температура газу за стандартних умов (=293^{0}С)	К	
7	Тиск газу за стандартних умов (= 0,1013)	МПа	P_0
8	Середній тиск газу на ділянці	МПа	$P_{\text{ср}}$
9	Середня температура газу на ділянці	К	$T_{\text{ср}}$
10	Коефіцієнт стисливості газу, що визначається за параметрами P_o, T_o та відповідно додатку Б*		Z_0
11	Коефіцієнт стисливості газу, що визначається за параметрами $P_{ср}$, $T_{ср}$ та відповідно додатку Б*		$Z_{\text{ср}}$
12	Відносна густина газу(визначена за даними хімічної лабораторії)		$\Delta_{\text{П}}$
13	Теплотворна здатність газу фактичного складу(визначена за даними хімічної лабораторії)	ккал/м^3	$H_{\text{г.ф.}}$
14	Теплотворна здатність умовного палива (=7000)	ккал/кг. умов.палив	$H_{\text{у.п.}}$

Порядок розрахунку фактичної економії природного газу за звітний період від впровадження нових технологій ремонту діючих МГ без їхньої зупинки наведено в таблиці 4.2

Таблиця 4.2 – Порядок розрахунку фактичної економії природного газу за звітний період від впровадження нових технологій ремонту діючих МГ без їхньої зупинки

Ч.ч.	Назва параметру	Розрахункова формула
1	Фактична економія природного газу за звітний період від впровадження нових технологій ремонту діючих МГ без їхньої зупинки, тис. т умов. палив	$Q_E = (Q_{\text{стр}} + Q_{\text{прод}}) * 10^{-3} * K^{\text{у}}$
2	Обсяг газу, який випускається через свічки з ділянки газопроводу перед проведенням робіт за традиційною технологією, тис.м^3	$Q_{\text{стр}} = \frac{\pi * D_{\text{у}}^2}{4} * L * P_{\text{ср}} * \frac{T_0 * Z_0}{T_{\text{ср}} * Z_{\text{ср}} * P_0} * 10^{-3}$
3	Обсяг газу, яким продувається газопровід після проведення робіт за традиційною технологією, тис.м^3	$Q_{\text{прод}} = 3 * \frac{\pi}{4} * D_{\text{у}}^2 * L * 10^{-3}$
4	Коефіцієнт стисливості газу визначають за допомогою формули	$Z(K) = 1 - 5{,}5 * 10^6 * \frac{P * \Delta_{\text{П}}^{1,3}}{T^{3,3}}$
5	Коефіцієнт перерахунку економії газу на умовне паливо	$K^{\text{у}} = \frac{H_{\text{г.ф.}}}{H_{\text{у.п.}}}$

Результати планування та облік виконання енергозберігаючих заходів, економія природного газу від впровадження енергозберігаючих заходів на лінійній частині газопроводу наведені в таблиці 4.3

Таблиця 4.3 – Результати розрахунку від впровадження заходу

Назва МГ	ЄККР
Дата заходу	2024
D_y	1.389
L	25 690
$P_{ср}$	3.90
$T_{ср}$	283.0
$\Delta_П$	0.6021
$Z_{ср}$	0.9100
$H_{гф}$	8446
$К^у$	1.207
$Q_{стр}$	1 704.24962
Qпрод	116.72382
$Q_Е$, тис.м^3	1 820.97344
$Q_Е$, тис. т умов. палив	2.198

У процесі ремонту на ділянці магістрального газопроводу «Єлець-Кременчук-Кривий Ріг» були застосовані муфти КТР4 та КТР5.

Завдяки технології виконанню робіт які проводилися без стравлювання газу в атмосферу вдалося зберегти 1 820,97344 тис.м³ метану. Оскільки метан є одним із парникових газів, які сприяють зміні клімату, збереження цієї кількості газу зробило значний внесок у захист навколишнього середовища.

Таким чином, обраний метод ремонту не лише забезпечив ефективність робіт, але й дозволив зменшити екологічний вплив, сприяючи сталому розвитку та збереженню екосистем і є прикладом реалізації технології захисту довкілля.

РОЗДІЛ 5
ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Об’єкти небезпеки при роботі на ГТС

Для усіх випадків об'єктом аналізу небезпек від експлуатації ГТС є система «людина – обладнання (агрегат) – навколишнє середовище», в яку об'єднані технічні об'єкти ГТС, люди (обслуговуючий персонал) і навколишнє середовище, які взаємодіють один з одним.

Перелік небезпек ГТС наведено в таблиці 5.1

Таблиця 5. 1 – Перелік небезпек ГТС

Небезпека	Потенційно небезпечні події	Наслідки
Тиск	Вплив на працівника (інших осіб) під час експлуатації, обслуговуванні обладнання, що працює під тиском більше 0,03 МПа (руйнування обладнання в процесі роботи тощо)	Травма, тяжка травма, смерть потерпілого
Газ (небезпечна речовина)	Вплив на працівника при транспортуванні, використанні, викидах, відборі, зберіганні горючого газу. Розгерметизація, витоки з різних причин, механічний вплив і т.п.	Травма, тяжка травма, смерть потерпілого
Вплив відкритого полум'я, горіння, тління матеріалів	Нагрів, іскроутворення, пожежа, факельне горіння (опіки), (отруєння (асфіксія) від впливу продуктів горіння)	Травма, тяжка травма, смерть потерпілого

Таблиця 5. 1 – Перелік небезпек ГТС (продовження)

Використання транспорту, спецтехніки, рухомих частин обладнання	Дорожньо-транспортна пригода, аварія під час використання повітряного транспорту, раптовий (некерований) рух спецтехніки (її складових частин), вантажу, контакт з працівником протягом виконання виробничого процесу тощо	Травма, тяжка травма, смерть потерпілого
Конструктивні недоліки, недостатня надійність, знос машин, механізмів, устаткування	Вплив на працівника при зниженні міцності конструкцій/робочих елементів обладнання (устаткування) в результаті техногенного та/або природно-кліматичного впливу	Травма, тяжка травма, смерть потерпілого
Електрика	Можливість впливу напруги. Можливість потрапляння до зони впливу статичної та атмосферної електрики	Травма, тяжка травма, смерть потерпілого
Хімічна небезпека	Вплив токсичних, мало токсичних органічних не органічних речовин та їх сполук (отруєння)	Травма, тяжка травма, смерть потерпілого
Навколишнє природне середовище	Низька температура (обмороження), висока температура (опіки, тепловий та сонячний удар), сильний вітер та злива (втрата рівноваги, падіння, неконтрольований рух об’єктів)	Травма, тяжка травма, смерть потерпілого

Таблиця 5. 1 – Перелік небезпек ГТС (продовження)

Біологічна небезпека	Контакт з тваринами, комахами, плазунами і рослинами	Травма, смерть потерпілого
Інші, не ідентифіковані небезпеки	Не ідентифікований вплив на працівника	Травма, тяжка травма, смерть потерпілого

5.2 Вимоги безпеки під час виконання вогневих робіт на ГТС

Охорона праці при ремонті трубопроводів ЛЧ МГ та відгалужень від них повинна забезпечуватися шляхом виконання вимог Закону України „Про охорону праці”, НПАОП 60.3-1.01-10, НПАОП 0.00-1.76-15, НПАОП 0.00-4.12, ДСТУ 7238:2011, ДСТУ 7239:2011, НПАОП 0.00-1.80-18, НПАОП 0.00-5.12-01, НПАОП 0.00-5.11-85, НПАОП 0.00-1.04-07, НПАОП 0.00-1.16-96, НПАОП 28.52-1.31-13, НПАОП 0.00-7.17-18, НАПБ А.01.001-2014, а також вимог інших чинних в Україні нормативно-правових та нормативно-технічних актів у галузі охорони праці на кожній ланці ремонтного процесу.

Вогневі роботи починаються після виконання в повному обсязі підготовчих робіт, передбачених нарядом-допуском, ПОВР.

Перед початком вогневих робіт відповідальний за їх виконання зобов’язаний:

– провести цільовий інструктаж з охорони персоналу, який задіяний на вогневих роботах, з оформленням його в наряді-допуску та перевірити наявність готовність технічних засобів, ЗІЗ, засобів пожежогасіння, рятувальних засобів тощо;

– забезпечити розміщення у визначених ПОВР місцях постів, бригад, технічних засобів та засобів зв’язку,

– впевнитись у працездатності технічних засобів;

– впевнитись в працездатності запірної арматури;

– перевірити зв’язок з постами та диспетчерською службою;

– забезпечити контроль повітряного середовища в робочій зоні;

– повідомити диспетчера (змінного інженера) про початок вогневих робіт;

– знаходитись на місці виконання вогневих робіт.

Робота повинна починатися і виконуватися у присутності відповідального за виконання вогневих робіт. Кількість виконавців, що знаходяться в робочій зоні, повинна бути мінімальною.

Всі виконавці вогневих робіт повинні бути у відповідному спецодягу, спецвзутті та інші ЗІЗ, одягнутих за межами небезпечної зони.

Доступ виконавців вогневих робіт в робочу зону здійснюються з дозволу відповідального за виконання вогневих робіт.

При перевищенні вмісту небезпечних речовин у повітрі робочої зони понад гранично допустимої концентрації (ГДК) та об’ємному вмісті кисню у повітрі менше ніж 20 %, роботи виконуються у відповідних ЗІЗОД. У разі підвищення концентрації УУ або парів ЛЗР понад 1,0 % (20 % від нижньої концентраційної границі вибуховості (НКГВ)), вогневу роботу слід негайно припинити. Вогнева робота може бути відновлена лише після виявлення та усунення джерела небезпеки.

Під час виконання вогневої роботи слід постійно контролювати повітря робочої зони переносними газоаналізаторами із занесенням результатів до наряду-допуску з періодичністю не рідше ніж 30 хвилин.

Зварювальні роботи під час дощу, снігопаду, сильного вітру повинні виконуватись під спеціальним укриттям. Під час грози не допускається стравлювання газу та знаходження працівників поблизу лінійних кранів та продувальних свічок, а також виконання зварювальних робіт.

У разі необхідності одночасного виконання вогневих робіт в кількох місцях однієї дільниці, не відокремлених запірною арматурою, у ПОВР слід передбачити спеціальні заходи безпеки, що виключають взаємний вплив огневих робіт.

Допускається одночасне проведення кількох вогневих робіт не відокремлених запірною арматурою на одній дільниці ЛЧ МГ за умови їх виконання без порушения герметичності газопроводу (заплавлення каверн, приварювання катодних вводів, тощо).

Перестановка запірної арматури здійснюються за розпорядженням відповідального за виконання вогневих робіт, погодженим з диспетчером. Перед цією операцією вогневі роботи необхідно припинити, а учасників вивести із небезпечної зони.

У місцях виконання зварювальних робіт не повинні застосовуватись та зберігатись ЛЗР. Забороняється в одному приміщенні, виконувати одночасно зварювальні та лакофарбувальні роботи.

Вогневі роботи повинні виконуватися за умов**:**

– огородження місця проведених робіт для захисту працівників від іскор та зварювального випромінювання;

– ретельного очищення зварювальних поверхонь від іржі, бруду, горючих та легкозаймистих рідин;

– наявності на місці проведення зварювальних робіт засобів пожежогасіння.

У разі виконання робіт на висоті необхідно до їх початку обладнати робоче місце підмостками з огородженнями і драбинами. На приставних драбинах дозволяється працювати на висоті не більше ніж 3 м. Не дозволяється використання підмостків, виготовлених із порушеннями чинних норм, а також використовувати випадкові предмети як підмостки.

Під час підготовки та проведення зварювальних та інших вогневих робіт не дозволяється:

– розпочинати роботу у разі несправності зварювального чи газорізального обладнання;

– розміщувати постійні місця для вогневих робіт у пожежонебезпечних та вибухонебезпечних приміщеннях;

– виконувати вогневі роботи на свіжопофарбованих конструкціях;

– виконувати вогневі роботи на апаратах та комунікаціях, що заповнені горючими чи токсичними речовинами та перебувають під тиском або під електричною напругою;

– виконувати вогневі роботи на металевих конструкціях, які мають горючі утеплення.

Вогневі роботи на дільницях з високим рівнем ґрунтових вод (переходах ЛЧМГ через болота, підтоплювані заплави, тощо) виконуються з дотриманням наступних вимог безпеки: до початку вогневих робіт на дільницях ЛЧМГ з високим рівнем ґрунтових вод (болота, підтоплювані заплави тощо) слід забезпечити водопониження та водовідвід; на дільницях з пливунними грунтами повинні влаштовуватися водопонижувальні колодязі (зумпфи) для відкачки з них води; місткість зумпфів повинна бути не менше ніж 5 хвилинний приплив води до них; під час проведення водопонижувальних робіт не допускається розущільнення грунтів та порушення стійкості укосів траншеї.

Зварювальний апарат, допоміжні пристрої і механізми, що не задіяні в технологічному процесі зварювання, повинні бути на віддалі не ближче ніж 20 м від місця вогневої роботи. Ацетиленовий генератор повинен бути встановлений не ближче ніж 10 м від місця проведення зварювальних робіт або іншого відкритого джерела вогню.

Балони з киснем та горючим газом (не більші двох) необхідно розташовувати не ближче ніж 10 м від місця проведення вогневих робіт з розривом між ними не менше ніж 5 м [21].

ВИСНОВКИ

Газотранспортна система (ГТС) України відіграє ключову роль у забезпеченні енергетичної стабільності країни та транзиту природного газу до Європи. Однак її експлуатація стикається з численними технічними, екологічними та економічними викликами, що вимагають впровадження інноваційних підходів і сучасних технологій.

Аварійність на ГТС значною мірою зумовлена корозійним зносом, старінням трубопроводів і відсутністю регулярного діагностування. Окремим викликом є вплив бойових дій, які створюють додаткові ризики для функціонування ГТС і збільшують потребу в модернізації системи.

Важливість інноваційних рішень у ремонті магістральних трубопроводів обумовлена необхідністю зниження аварійності, мінімізації втрат газу та зменшення негативного впливу на довкілля.

Сучасні технології, такі як використання ремонтних конструкцій (муфт) і композитних матеріалів, дозволяють зменшити витоки метану, що є одним із найпотужніших парникових газів. Це узгоджується з міжнародними кліматичними цілями та сприяє екологічній відповідальності України.

Методи ремонту, що виконуються без зупинки транспортування газу, мають високу економічну ефективність, оскільки дозволяють уникнути тривалих простоїв трубопроводів, знижуючи фінансові витрати та забезпечуючи безперервність постачання споживачам.

Для забезпечення стабільної роботи ГТС необхідно посилити міжнародну співпрацю та залучити інвестиції в модернізацію інфраструктури. Розробка екологічно спрямованих програм і впровадження інноваційних технологій ремонту є пріоритетом для підвищення ефективності, безпеки та довговічності газотранспортної системи України. Застосування цих заходів сприятиме мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище, забезпеченню енергетичної безпеки та виконанню міжнародних зобов'язань країни.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Гулий С.М., Яхненко О. М. Реалізація технологій захисту НС за рахунок використання ремонтних конструкцій (муфт) при виконанні ремонтних робіт на магістральних газопроводах під тиском. *IIX Всеукраїнська науково-технічна конференція «Сучасні технології у промисловому виробництві»*. Суми, 23-26 квітня 2024 р. – С. 223 – 224.

2. Манюк О.Р., Манюк М.И. Оцінка екологічних ризиків процесів транспортування газу по магістралям газопроводу. *Науковий вісник НЛТУ України.* Вип. 26.3. 2016 – С. 293 – 298.

3. Туць О. М. Екологічні наслідки впливів магістральних газопроводів на навколишнє середовище. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*, № 2(26), 2023. – С. 82 – 90

4. Мандрик О.М. Екологічні та економічні наслідки аварій на магістральних газопроводах. *Науково-технічний журнал № 1(7),* 2013 р. С. 160 – 165.

5. Matsuk Z. N., Bunko T. V., Belikov A. S., Shalomov V. A. Regularities of safe control of piston compressor units of mobile compressor stations. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2021. № 2. P. 76–81. DOI: 10.33271/nvngu/2021-2

6. Беліков А. С., Мацук З. М. Технологія евакуації природного газу. *Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві – освіта, наука, практика: тези доп. VI міжнр. наук.-прак. конф.*, 11-14 вересня 2019 р. Херсон: ХДМА, 2019. С. 91–93.

7. Мацук З. М., Кобеза О. І. Спосіб контролю тиску газу у магістральних, технологічних або міжпромислових газопроводах: *пат. 96340 Україна: МПК F17D1/100. № u2014 10195;* заявл. 16.09.2014; опубл. 26.01.2015, Бюл. № 2. 7 с.

8. Matsuk Z. N., Bunko T. V., Belikov A. S., Shalomov V. A. Regularities of safe control of piston compressor units of mobile compressor stations. *Naukovyi visnyk*

Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2021. № 2. P. 76–81. DOI: 10.33271/nvngu/2021-2]

9. Беліков А. С., Мацук З. М. Технологія евакуації природного газу. *Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві – освіта, наука, практика: тези доп. VI міжнар. наук.-практ. конф.*, 11-14 вересня 2019 р. Херсон: ХДМА, 2019. С. 91–93.

10. Екологічний звіт ОГТСУ за І півріччя 2020 року. Оператор ГТС України. https://tsoua.com/news/ekologichnyj-zvit-ogtsu-za-i-pivrichchya-2020-roku/?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 10.11.2024).

11. Портал даних видобувної галузі України https://eiti.gov.ua/transportuvannya/dohodi-operatora-transportnoyi-sistemi_2022/?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 10.11.2024).

12. ВБН В.3.100013741-08:2008 Мінпаливенерго України. Магістральні газопроводи. Лінійна частина. Капітальний ремонт. Діючий. Дата прийняття: 25.09.2008.

13. ВБН В.3.1-00013741-07:2007 Мінпаливенерго України. Магістральні нафтопроводи. Методи ремонту дефектних ділянок. Діючий. Дата прийняття: 23.04.2007.

14. ГБН В.3.1-00013741-12:2011 Магістральні газопроводи. Ремонт дуговим зварюванням в умовах експлуатації. Проект, остаточна редакція. Діючий. Чинний від 06.09.2011.

15. НДТОВ 07-008:2021 «Газотранспортна система. Планування та облік виконання енергозберігаючих заходів».

16. Спосіб контролю тиску газу у магістральних, технологічних або міжпромислових газопроводах. Пат. №96340 UA. Опубл. 26.01.2015 білет № 2, 4с.

17. Інструкція № 2.01.03 з охорони праці при виконанні вогневих робіт. Затверджена Наказом по Слобожанському ЛВУМГ від 22.08. 2024 р, 46 с .

18. Мацук З. М. Підвищення рівня безпеки магістральних газопроводів. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за

спеціальністю 05.26.01 «Охорона праці» (19 – Архітектура та будівництво). – *Державний вищий начальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»* Міністерства освіти і науки України, Дніпро, 2021. 290 с.

19. Технологічна інструкція з виконання робіт по приєднанню відгалужень до діючих магістральних газопроводів дуговим зварюванням. – К.: ДК “Укртрансгаз”, ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАНУ, 2006 .

20. Методи безвогневого врізання в діючі трубопроводи В. Б. Запухляк, Т. П. Шиян, М. Д. Степ'юк ISSN 1993—9973. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ.* 2010. № 1 (34).

21. НПАОП 60.3-1.01-10. Про затвердження правил безпечної експлуатації магістральних газопроводів. 17 с.

ДОДАТКИ

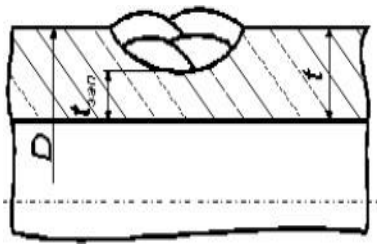
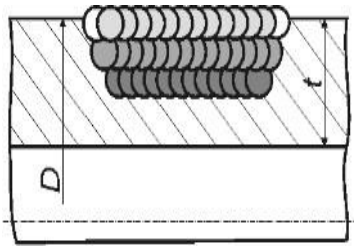
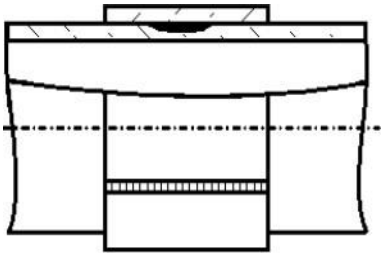
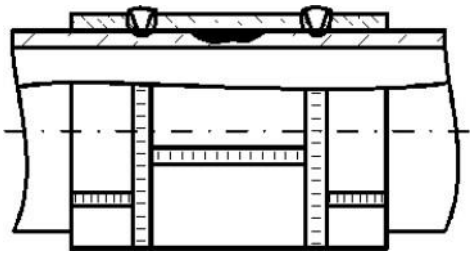
ДОДАТОК А

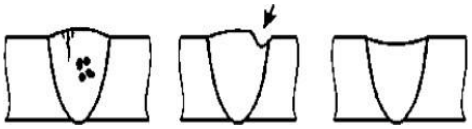
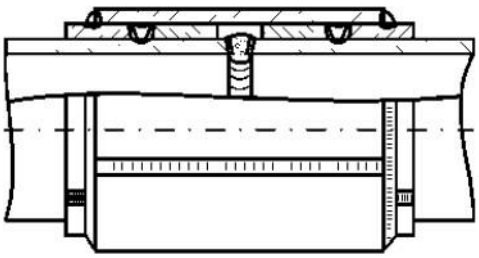
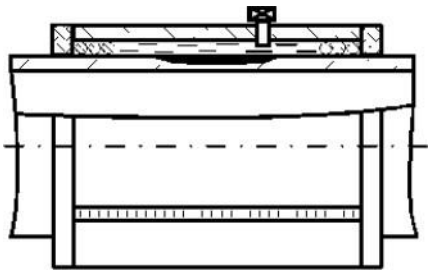
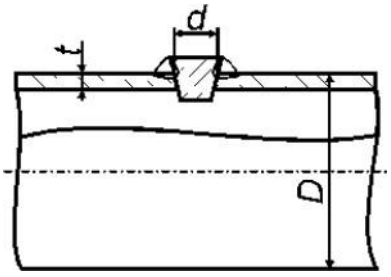
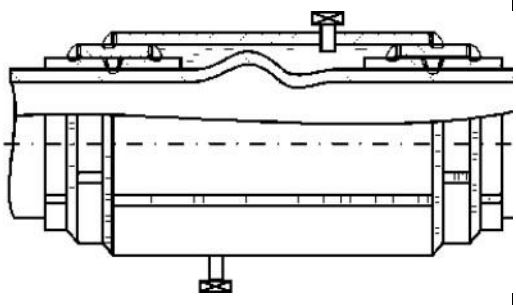
Таблиця А 1 – Ключові характеристики метану, які визначають характер і зону його екологічної дії.

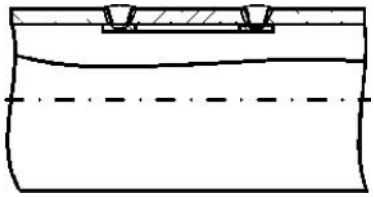
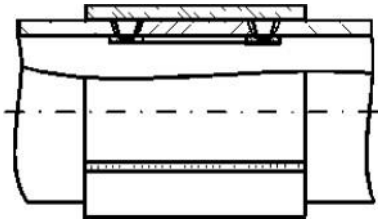
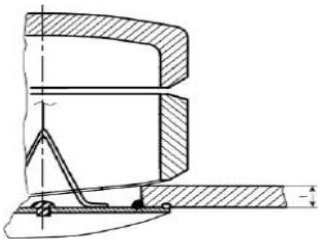
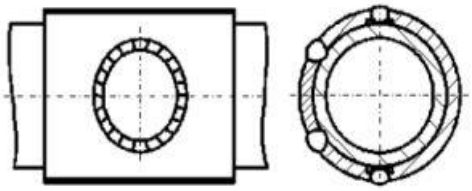
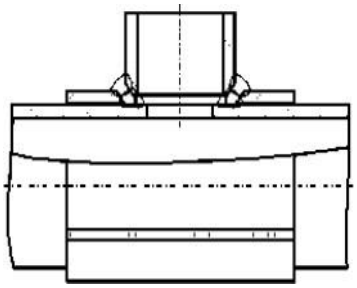
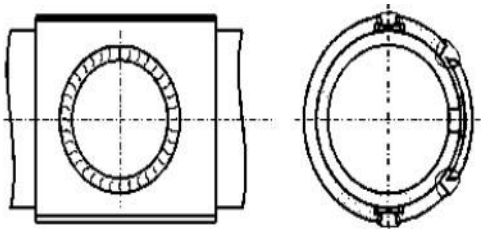
Фізичний стан:	Хімічні властивості метану
У нормальних умовах метан є безбарвним газом без запаху. Температура кипіння: -161,5°С. Температура плавлення: -182,5°С. Газ легко зріджується при низьких температурах і високому тиску, що робить його зручним для транспортування. Щільність газу становить 0,717 кг/м³ (при стандартних умовах), що значно легше за повітря. У разі витоку метан піднімається вгору, де може накопичуватися під перекриттями або дахами. Метан слабо розчиняється у воді, що ускладнює його поглинання в ґрунтових або поверхневих водах після витоку. Висока теплотворна здатність (35,8 МДж/м³) робить метан одним із найефективніших палив, але й підвищує ризик вибуху.	Метан легко займається в присутності джерела запалювання. Температура спалаху: близько 537°С. Концентрація в повітрі для займання: 5–15% (вибухонебезпечний діапазон). При повному згорянні утворюються вуглекислий газ (CO_2) і вода (H_2O). Неповне згоряння може призводити до утворення оксиду вуглецю (CO), який є токсичним. Метан стабільний за нормальних умов, але при високих температурах він може реагувати з киснем, азотом і іншими елементами, утворюючи оксиди азоту та інші продукти. Метан є потужним парниковим газом. Його потенціал глобального потепління (Global Warming Potential, GWP) у 28–34 рази перевищує вуглекислий газ на часовому горизонті 100 років і в 84–86 разів — на часовому горизонті 20 років.

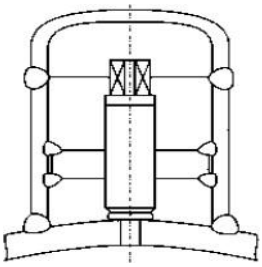
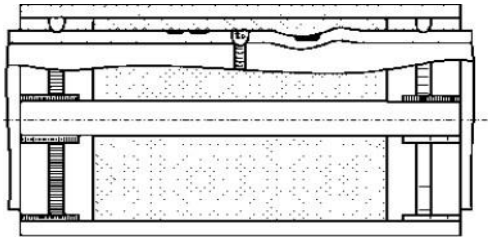
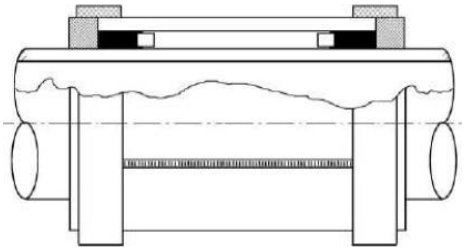
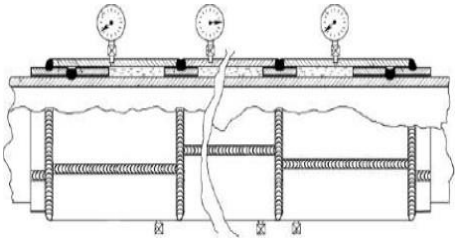
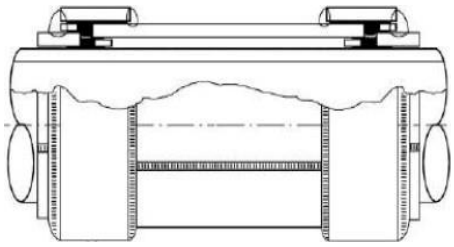
ДОДАТОК Б

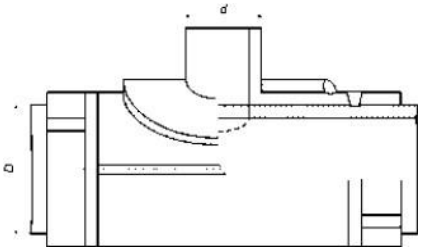
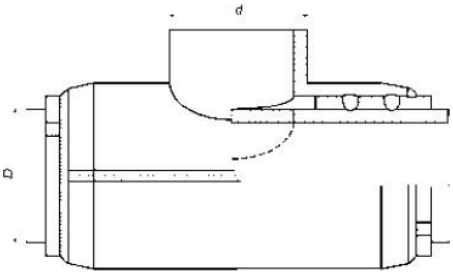
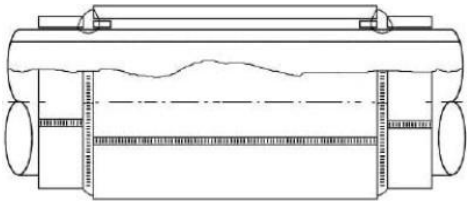
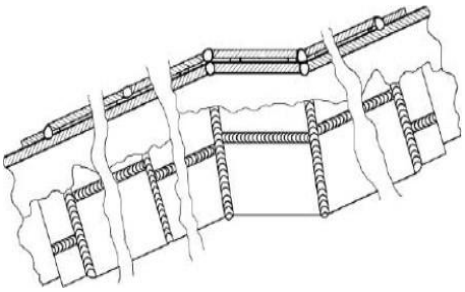
Таблиця Б.1 – Схематичне зображення конструктивно технологічних рішень для ремонту дефектних ділянок трубопроводу в умовах експлуатації

Позначення	Конструктивне технологічне рішення	Назва та призначення
КТР1		**Шліфування** корозійно-механічних пошкоджень стінки труби і поверхневих тріщин глибиною до 20 % t
КТР2		**Заплавлення** корозійних виразок діаметром до 30 мм
КТР3		**Заплавлення** корозійно-механічних пошкоджень стінки труби з розмірами, що перевищують 30 мм у поздовжньому напрямку
КТР4		**Бандаж** для ремонту: - корозійно-механічних пошкоджень стінки труби глибиною до 50 % t; - розшарування стінки труби без виходу на поверхню; - вм'ятин
КТР5		**Герметична муфта з технологічними кільцями** для ремонту: розшарування без випинання; корозійно - механічних пошкоджень стінки труби; розшарування в пришовній зоні поздовжнього шва; вм'ятин

КТР6		**Ремонт кільцевих зварних стиків** з поверхневими та внутрішніми дефектами
КТР7		**Двошарова муфта** для ремонту: - кільцевих зварних стиків та прилягаючих до них зон; - розшарування в пришовній зоні кільцевого зварного стику; - розшарування з випинанням; - гофрів висотою до 26 мм
КТР8		**Компаундна муфта** для ремонту: - зовнішніх корозійних пошкоджень стінки труби і кільцевих зварних стиків; - комбінованих дефектів стінки труби; - розшарування стінки труби без виходу на поверхню; - вм'ятин;
КТР9		**Чоп-трубопровід** для ліквідації отворів (діаметром відповідно до умов 11.6.1.1 цих норм
КТР10		**Об'ємна муфта з наповнювачем** для ремонту: - гофрів; - розшарування з випинанням

КТР11		**Латка вварна** для герметизації технологічних отворів
КТР12		**Латка вварна з підсилюючим бандажем** для герметизації технологічних отворів
КТР13		**Патрубок** для герметизації технологічних отворів
КТР14		**Латка-муфта** для ремонту локальних групових корозійних пошкоджень стінки труби
КТР15		**Патрубок-муфта** для: - приєднання відгалужень та байпасів; - вирізання дефектних ділянок з тріщинами та вм'ятинами; - герметизація технологічних отворів
КТР16		**Латка-муфта з герметиком** для ремонту наскрізних дефектів під тиском в трубопроводі

КТР17		**Патрубок з герметизуючим пристроєм** для ремонту наскрізних дефектів під тиском в трубопроводі
КТР18		**Метало композитна муфта** для ремонту: - косих кільцевих зварних стиків та прилягаючих до них ділянок; - обширних корозійно-механічних пошкоджень стінки труби
КТР19		**Клеєзварна муфта з попереднім формуванням ущільнювачів під тиском** для ремонту: - обширних корозійних пошкоджень стінки труби; - вм'ятин; - розшарування без виходу на поверхню; поздовжніх та спіральних зварних стиків
КТР20		**Багатосекційна муфта з регулюванням послідовності і тиску заповнення клеєм окремих камер для:** - ремонту протяжних корозійно-механічних пошкоджень стінки труби; підвищення категорії окремих ділянок МГ
КТР21		**Муфта з додатковими кільцевими камерами герметизації** для ремонту: - обширних корозійних пошкоджень стінки труби; - вм'ятин; - поздовжніх та спіральних зварних стиків

КТР22		**Перехідний розрізний трійник з технологічними кільцями** Для приєднання байпасів та відгалужень невеликого діаметру (до 0,7D)
КТР23		**Розрізний трійник на товстостінних перехідних кільцях** для: - приєднання відгалужень та лупінгів діаметром більше ніж 0,7 D; - встановлення запірних пристроїв (d/D=1)
КТР24		**Герметична клеєзварна муфта на тонкостінних кільцях** для ремонту: - обширних корозійно-механічних пошкоджень стінки труби глибиною 50 % t; - кільцевих зварних стиків та прилягаючих до них зон; - поздовжніх та спіральних зварних стиків
КТР25		**Клеєзварна сегментна муфта** для ремонту вигнутих ділянок трубопроводу