

621.691.4
РБЧ

**Івано-Франківський державний технічний університет
нафти і газу**

РОЗГОНІЮК ВАСИЛЬ ВАСИЛЬОВИЧ

УДК 621.643.201.211

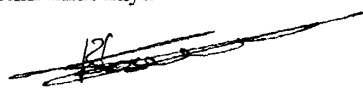
921/11

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ДІАГНОСТУВАННЯ
ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТА СПОСОБІВ РЕМОНТУ
МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВІДІВ**

Спеціальність 05.15.13 - нафтогазопроводи, бази та сховища

АВТОРЕФЕРАТ

Дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук



Івано-Франківськ-2000

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Івано-Франківському державному технічному університеті нафти і газу, Міністерства освіти України.

Науковий керівник Доктор технічних наук, доцент Шлапак Любомир Степанович, Івано-Франківський державний технічний університет нафти і газу, професор.

Офіційні опоненти 1. Доктор технічних наук Уніговський Л.М., асоціація «Нафтогазбудінформатика», генеральний директор.
2. Кандидат технічних наук, доцент Зубик Йосип Левкович, державний університет «Львівська політехніка», доцент кафедри «Деталі машин».

Провідна установа ІВП «Всеукраїнський науковий і проектний інститут транспорту газу» (ВНІПТРАНСГАЗ), м. Київ.

Захист відбудеться « 31 » травня 2000 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні

спеціального технічного вул. К. його ськ,

Автор

Вчені спеці

Загальна характеристика роботи.

Актуальність теми.

Газова промисловість – провідна галузь паливно-енергетичного комплексу України, а її газотранспортна система, крім функції забезпечення національної економіки енергоносіями, здійснює поставку газу до інших країн Європи. Загальна протяжність газотранспортної системи (ГТС) становить понад 34 тис. км, у тому числі газопроводи-відводи – 12,5 тис. км. В структурі газопроводів суттєво переважають газопроводи великого діаметру. Так, газопроводи діаметром 1420 мм складають 15,65%, діаметром 1220-1020 мм – 23,63%, 820-720 мм – 14,85%.

Разом з тим ГТС України має у своєму складі 58,11% газопроводів з терміном експлуатації від 15 до 50 років, 5,8 тис. км газопроводів відпрацювали свій амортизаційний термін у 33 роки. Більше третини газопроводів мають антикорозійне покриття з полімерних плівок холодного нанесення, що вимагає щорічного виконання значних обсягів капітального ремонту і реконструкції газопроводів.

Таким чином, ГТС України старіє, у ній відбуваються кількісні та якісні зміни як з точки зору лавинного наростання проблеми надійності, так і ефективності експлуатації газотранспортного обладнання. Неординарна ситуація, що склалася у ГТС України вимагає і неординарних підходів до її розв'язання, нової філософії у підходах до проблем надійності та довговічності, удосконалення методів діагностування технічного стану газопроводів та напрямків їх реалізації.

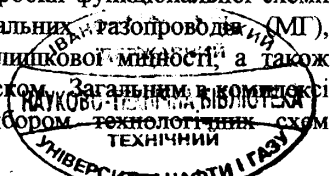
В таких умовах однією з найближчих задач науки, що має першочергову практичну значимість, є підвищення ефективності функціонування ГТС. Ця задача повинна розв'язуватися як за рахунок подальшого розвитку та удосконалення відомих методів діагностування технічного стану газопроводів в умовах експлуатації, так і створення на основі досягнення фундаментальних наук нових технологій ремонту.

Проблема підвищення ефективності функціонування ГТС вивчалася багатьма вченими. Вагомий внесок у розробку теорії і практики підвищення функціонування ГТС внесли Аїстов А.С., Березін В.Л., Бородавкін П.П., Гумеров А.Г., Заріпов Р.Х., Карташов Г.І., Никитенко Е.А., Расцепкін К.С., Самойлов Б.В., Телегін Л.Г. та інші дослідники.

Аналіз опублікованих за даною проблемою робіт дозволив поставити комплекс задач, розв'язання яких має важливе народно-господарське значення і складає основу дисертації. Це, зокрема, задачі розробки функціональної схеми прогнозування мішності та надійності магістральних газопроводів (МГ), удосконаленні розробка та у розв'язуванні: а оцінки залишкової мішності, а також монту під тиском загальним в комплексі в'язок з вибором технологічних схем ТЕХНІЧНИЙ



as761



капітального ремонту, специфічні особливості якого вимагають всестороннього підходу до розв'язку проблеми, поглибленого вивчення механізмів виникнення ускладнень, розробки, на цій основі, методів їх прогнозування, попередження ліквідації.

Таким чином, підвищення надійності газотранспортних систем на основі комплексного підходу до оцінки технічного їх стану є актуальним.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Основні питання, розглянуті в дисертаційній роботі, були включені у програму спільних науково-дослідних робіт Держнафтогазпрому України, Укргазпрому та ІФДТУНГ, програми Міністерства освіти України, а також у національну програму «Нафта і газ України до 2010р».

Мета і задачі дослідження.

Мета роботи — підвищення надійності газотранспортної системи України на основі розробки методів діагностування технічного стану трубопроводів при виводі у капітальний ремонт, темпів і якості його виконання.

Задачі дослідження.

1. Аналіз газотранспортної системи України, організаційної структури системи технічної діагностики її стану, дослідження методів капітального ремонту, обґрунтування напрямків подальшого їх удосконалення.
2. Розробка функціональної схеми прогнозування міцності та надійності магістральних газопроводів на основі класифікації пошкоджень трубопроводу та граничних станів їх оцінки.
3. Експериментальні дослідження напружено-деформованого стану (НДС) газопроводів при виконанні ремонтних робіт та фізико-механічних властивостей трубних сталей в процесі тривалої експлуатації.
4. Теоретичні дослідження НДС газопроводів при виконанні ремонтних робіт, оптимізація схем підняття трубопроводу, оцінка залишкової його міцності з дефектами форми типу вм'ятин.
5. Удосконалення методики оцінки технічного стану газопроводів неруйнівними методами, модернізація засобів їх реалізації, розробка способів ремонту під тиском.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Розроблена ефективна стратегія прогнозування міцності і довговічності лінійної частини магістральних газопроводів, в основу якої закладено сучасні організаційні та наукові рішення, що можуть бути реалізовані у вигляді експертної комп'ютерної системи.
2. Виконані і проаналізовані експериментальні дослідження НДС газопроводів при виконанні ремонтних робіт на пересіченому рельєфі місцевості в умовах експлуатації, що дозволило встановити характер деформування трубопроводу та розподіл залишкових поздовжніх напружень в окремих перерізах та по

його довжині.

3. Розроблена оригінальна математична модель та програмне забезпечення для комплексної оптимізації параметрів НДС газопроводів при ремонті на основі знаходження функціоналу з врахуванням особливості процесу деформування.
4. Вперше розроблено теоретичні основи оцінки залишкової міцності трубопроводів з дефектами типу вм'ятин.
5. Розроблено новий конструктивно-технологічний підхід до виконання ремонтних робіт на магістральних газопроводах під тиском з використанням дугових методів зварювання залежно від виду, розмірів і розташування дефектів.

Практичне значення одержаних результатів.

На основі комплексного аналізу існуючої системи газопостачання, результатів теоретичних і експериментальних досліджень, математичного моделювання на ПЕОМ розроблено пакет методик, алгоритмів та програм для оцінки НДС трубопроводів при капітальному ремонті, залишкової міцності металу труб з дефектами, оптимізації просторового положення трубопроводу при підніманні для проведення ремонтних робіт.

Результати проведених досліджень знайшли своє практичне застосування при оцінці технічного стану газопроводу "Київ-Захід України" (1 нитка) на км 76, 6 - 84,3 при капітальному ремонті ізоляційного покриття з використанням американського комплексу «СРС – Еванс», що проводило УМГ «Київтрансгаз». Комп'ютерна програма з оцінки та вибору методів ремонту газопроводу під тиском використовувалася в УМГ «Прикарпаттрансгаз» при визначенні методу ремонту газопроводу «Братерство» на гірських дільницях.

Вірогідність одержаних результатів забезпечується коректністю постановок задач, застосуванням експериментальних досліджень з використанням сучасних методів і засобів для механічних випробувань і оцінки НДС трубопроводів з дотриманням стандартних методик, а також узгодженням одержаних висновків з результатами натурних досліджень.

Особистий внесок здобувача.

1. Автором розроблена концепція організації системи діагностування технічного стану газопроводів при капітальному ремонті та експлуатації [7,1,2,3,13,15,16].
2. Автором висловлена ідея про можливість використання струмів змінної частоти для дослідження корозійного стану трубопроводів, розроблено технологію, методи і засоби технічної діагностики [5,8,9].
3. Автор брав безпосередню участь у плануванні та проведенні експериментальних досліджень у трасових умовах, виконав аналіз і узагальнення одержаних результатів, брав участь у впровадженні результатів досліджень у виробництво [17,11,6,12].
4. За участі автора розроблені математичні моделі для оптимізації схем

підняття трубопроводу при капітальному ремонті, проведені дослідження корозійного стану газопроводів на складних ділянках траси, розроблені нові підходи до оцінки залишкової міцності трубопроводів з дефектами та технологічні підходи до виконання ремонтних робіт на газопроводах під тиском [18,14,10,4].

Апробація результатів дослідження.

Основні результати дисертаційної роботи висвітлені у доповідях і повідомленнях на:

- міжнародній науково-практичній конференції "Нафта і газ України -96". (Харків, 1996);
- міжнародній конференції "Нафта-газ України - 98" (Полтава, 1998);
- 7-й міжнародній діловій зустрічі "Діагностика 97" (Ялта, 1997),
- 8-й міжнародній діловій зустрічі "Діагностика - 98" (Сочі, 1998);
- міжнародній науково-технічній конференції "Сучасні прилади, матеріали і технології для технічної діагностики і неруйнівного контролю промислового обладнання" (Харків, 1998);
- III міжнародній конференції "Природний газ: торгові та інвестиційні можливості в Росії і СНД" (Лондон, 1994);
- IV міжнародній конференції "Природний газ: торгові та інвестиційні можливості в Росії і СНД" (Лондон, 1995).

Публікації.

По темі дисертації опубліковано 18 друкованих робіт, в тому числі 1 довідник.

Структура та обсяг роботи.

Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, загальних висновків та рекомендацій, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи становить 267 сторінок і включає 70 рисунків, 7 таблиць, список літератури із 177 найменувань і 4 додатків.

Основний зміст роботи.

У вступі розкривається сутність і стан наукової задачі, визначається наукова новизна та практична цінність отриманих результатів досліджень, дається загальна характеристика роботи.

В першому розділі проведений аналіз сучасного стану газотранспортної системи (ГТС) України, причини та характер зниження пропускної здатності та основні напрямки підвищення надійності її функціонування.

ГТС України - одна з найбільших, але разом з тим одна з найстаріших в Європі. Загальна протяжність ГТС ДК «Укртрансгаз» станом на 01.01.1999 року становить 34,8 тис. км. Проектна пропускна спроможність ГТС на вході в Україну складає 292 млрд. м³ на рік. В структурі газопроводів суттєво переважають газопроводи великого діаметру. Так, газопроводи діаметром

1400 мм складають 15,61%, діаметром 1220-1020 мм – 23,6%, діаметром 820-720 мм – 14,85%.

Разом з тим ГТС України має у своєму складі 58,11% газопроводів з терміном експлуатації від 15 до 50 років, 5,8 тис. км газопроводів відпрацювали свій амортизаційний термін у 33 роки. Більше третини газопроводів мають антикорозійне покриття з полімерних плівок холодного нанесення. Це вимагає щорічного виконання значних обсягів капітального ремонту і реконструкції газопроводів, удосконалення технології та організації їх обслуговування і ремонту.

Не дивлячись на покращення якості будівництва трубопроводів, удосконалення системи контролю за їх станом та системи протикорозійного захисту, а також збільшення об'ємів профілактичного та капітального ремонту, безаварійна експлуатація магістральних газопроводів неможлива.

Як показують статистичні дані, загальне число аварій магістральних газопроводів за останнє десятиліття зменшилося, однак вони стали більш руйнівними. Аварії на газопроводах супроводжуються значними руйнуваннями та викидами великої кількості природного газу у атмосферу. Крім екологічної шкоди та значних затрат на відновлення біогеоценозу, руйнування газопроводів мають суттєвий вплив на технологію та методи аварійно-відновлювальних робіт.

Аналіз технологічних схем ремонту трубопроводів в нашій країні і за кордоном дозволив виділити два перспективних методи:

- 1) ремонт без зупинки перекачування газу;
- 2) ремонт з відключенням ділянки газопроводу, що ремонтується, від основної нитки.

Важливою умовою реалізації цих методів є розробка методології діагностування та вибраковки труб, а також експрес-методів оцінки реального технічного стану трубопроводу на час ремонту та оптимальних схем його виконання.

Особливість ГТС України, до складу якої входять трубопроводи великого діаметру, та розвинена інфраструктура територій, по якій вони прокладені, не дозволяє в чистому виді використовувати для капітального ремонту відомі технологічні схеми і методи. Потрібний комплексний підхід до вибору та реалізації методів капітального ремонту газопроводів.

Показано, що найбільш перспективними з існуючих методів проведення ремонтно-відновлювальних робіт є капітальний ремонт газопроводів без зупинки перекачування газу з повною механізацією монтажних операцій. Реалізація цього методу капітального ремонту газопроводів вимагає вирішення комплексу науково-технічних задач, основними з яких є діагностування технічного стану, розробка стратегії ремонтно-технічного обслуговування магістральних газопроводів (МГ), підвищення якості та темпів капітального ремонту.

У другому розділі обгрунтована і розроблена стратегія прогнозування міцності та довговічності лінійної частини МГ.

Діючі в газовій промисловості нормативні документи та тимчасові методики, що регламентують порядок здійснення розрахунків на міцність, стійкість та прогнозування довговічності, вже не відповідають сучасному рівню розвитку наукових знань, не є систематизованими за критеріальними ознаками та не передбачають можливості врахування різного роду дефектів. В той же час, новітні діагностичні системи з багатоканальними режимами роботи, що інтенсивно впроваджуються у виробництво, дозволяють виявити дефекти різного походження та утримувати значні об'єми супутньої інформації, яка однак не передбачена для обробитку та розрахунків за діючими нормами.

Ще одним важливим етапом нинішньої ситуації в галузі транспорту газу є зменшення об'ємів будівництва МГ з одночасним зростання об'ємів з реконструкції ГТС, пов'язаних з фізичним спрацюванням та старінням газопроводів.

В цих умовах важливим елементом підвищення надійності експлуатації ГТС є розробка організаційно-методичних засад прогнозування конструктивної міцності МГ з залученням сучасних методів розрахунку, критеріїв граничних станів, що найбільш повно враховують фактичні умови експлуатації конструкції, наявність прогресуючих дефектів, що базуються на сучасних технологіях збору, обробки та подання інформації.

В загальному регламенті технічного обслуговування МГ розроблена стратегія займає центральне місце, оскільки вона базується на проектних даних та даних технічної діагностики (ГД), а її кінцева спрямованість направлена на вироблення обгрунтованих рекомендацій стосовно необхідності проведення ремонтних робіт з визначенням їх термінів, об'ємів та видів.

Стратегія, як найбільш загальна організаційна процедура, спрямована на комплексне розв'язання технологічних проблем, складається із наступних основних частин: інформаційного забезпечення; методичного забезпечення; блоку прийняття рішення (рис. 1).

Інформаційне забезпечення формується за результатами аналізу проектної та виконавської документації, даних інженерно-геологічних, ландшафтних та геофізичних робіт, діагностики технічного стану МГ і повинно оперувати як точно визначеними даними параметрів, значень і характеристик, так і відповідними даними, що мають розкид значень у певному діапазоні.

У поєднанні з елементом інформаційного забезпечення – статистичною інформацією про аварії та відмови МГ, врахування на основі статистичних даних мінливості зовнішньої взаємодії з середовищем, властивостей матеріалу, прикладених навантажень та впливів дозволяє прогнозувати показники надійності ГТС, які оцінюються на основі теорії ймовірності.

Важливим елементом стратегії є її методичне забезпечення. Найбільш загальними обов'язковими його елементами є : спеціальні знання; критерії

граничних станів; методично-розрахункові комплекси.

Спеціальні знання визначаються нормативними будівельними і експлуатаційними документами і можуть включати конструктивні, технологічні та експлуатаційні обмеження, що встановлені на основі попереднього досвіду.

Критерії граничних станів формуються на основі експериментальних досліджень вивчення поведінки матеріалів, їх здатності чинити опір статичному або циклічному деформуванню, криккому або в'язкому руйнуванню. Кількість критеріїв залежить від кількості граничних станів, що можуть виникати під час функціонування МГ, а вибір того чи іншого критерію в межах одного граничного стану визначається його ефективністю.



Рис. 1 - Загальна схема стратегії прогнозування міцності та довговічності лінійної частини магістральних газопроводів

Методично-розрахункові комплекси є третім обов'язковим елементом методичного забезпечення. Вони базуються на фізичних, математичних або феноменологічних моделях механіки деформівного твердого тіла або механіки руйнування і призначенні для визначення поточних значень критеріальних параметрів, що відповідають реальному стану матеріалу та навантаженості конструкції.

Розроблена стратегія реалізована у вигляді комп'ютерної експертної системи, яка побудована як ієрархічна система з оберненими зв'язками. Сформульовано послідовність організаційних, технічних та розрахункових дій, що впливають із запропонованої стратегії прогнозування показників міцності, довговічності та надійності. Запропонований алгоритм роботи експертної системи не вимагає строгого дотримання виконання зазначеної послідовності дій. На практиці можливі ситуації, коли дослідження конструкційної міцності може бути обмеженим лише окремими пунктами. Однак у випадку складних пошкоджень, наприклад, наявності тріщини в зоні вм'ятини, необхідно розв'язання всієї послідовності задач: від дослідження НДС та стійкості елементів конструкції до оцінки статичної та циклічної тріщиностійкості.

Третій розділ присвячений експериментальним дослідженням технічного стану МГ та їх залишкового ресурсу.

Дослідження виконанні на зразках трубних сталей, взятих з діючих МГ, що експлуатуються в різних регіонах України, а також з дільниць капітального ремонту і експлуатації в складних умовах.

Зміна фізико-механічних властивостей матеріалу трубних сталей в процесі тривалої експлуатації досліджувалася з використанням акустичної емісії. В ході досліджень проводилися вимірювання параметрів акустичної емісії, навантаження, поздовжньої і поперечної деформації при одновісному розтягу типових зразків, вимірювання параметрів акустичної емісії при оцінці ступеня пошкодженості матеріалу, методом, що не потребує навантаження.

Для навантаження зразків при дослідженні на одновісний розтяг використовувалася стандартна машина Р-20. Машина оснащувалася додатковою системою, яка дозволяла реєструвати навантаження на зразок в процесі його деформування, з наступними записом в пам'ять комп'ютера.

Дослідження виконані на 90 заготовках матеріалу труб із семи регіонів України, які включали як матеріал з діючих МГ на момент їх ремонту, так і з аварійного запасу труб. Дослідження передбачали застосування двох основних типів: лінійні зразки, що відповідають прийнятим стандартам АЕ – досліджень (АЕ-01Р), і призматичні малогабаритні зразки для досліджень з метою оцінки пошкодженості матеріалу.

В результаті проведених досліджень були отримані такі характеристики зразків:

- параметри акустичної емісії на всіх стадіях деформування зразків в умовах одновісного статичного навантаження;

параметри акустичної емісії, що характеризують ступінь пошкодженості призматичних зразків у ненавантаженому стані:

діаграма деформування матеріалу в координатах «видовження-навантаження» з накладеними акусто-емісійними параметрами стану матеріалів.

На основі результатів проведених досліджень побудовано алгоритм класифікації пошкоджень в досліджувальних матеріалах МГ. За базові дані прийняті максимальне відхилення параметрів A і R (де A - амплітуда прийнятого сигналу АЕ; R - час зростання сигналу до максимуму) в зразках, деформованих до моменту старту мікротріщини. Основним критерієм для класифікації ступені пошкодженості матеріалу є:

Безпечна пошкодженість - $\left[A_j < \Delta A_{\max}, R_j < \Delta R_{\max} \right];$

Середня пошкодженість - $\left[A_j < \Delta A_{\max}, 2\Delta R_{\max} > R_j > \Delta R_{\max} \right];$
 або $\left[2\Delta A_{\max} > A_j > \Delta A_{\max}, R_j < \Delta R_{\max} \right];$

Небезпечна пошкодженість - $\left[A_{\max} > \Delta A_{\max}, R_j > \Delta R_{\max} \right];$

або $\left[A_j < \Delta A_{\max}, R_j > 2\Delta R_{\max} \right];$

або $\left[A_j > 2\Delta A_{\max}, R_j < \Delta R_{\max} \right];$

Використовуючи підходи та критерії механіки руйнування, проведені дослідження зміни властивостей матеріалу трубних сталей (в'язкості руйнування) в ході тривалої експлуатації. Для оцінки в'язкості руйнування металу труб використаний деформаційний критерій нелінійної механіки руйнування δ_k (критичне розкриття вершини тріщини). Величина δ_k знаходилася за допомогою побудови δ_k - кривих (рис.2). Для розглянутих стадій руйнування за визначеними значеннями критичного розкриття вершини тріщини δ_i та δ_m обчислювалися величини коефіцієнтів інтенсивності напружень K_{C1} та K_{Cm} .

Отримані значення в'язкості руйнування для трубної сталі, взятої з ділянки №3 Бердичівської дільниці МГ КЗУ - I (км 76,6 - 81,3), показали, що основний матеріал труб і метал зварних з'єднань (поздовжній та кільцевий шви) при розрахунковій температурі +4°C мають значний запас пластичності. Величина критичного розкриття вершини тріщини δ_k в залежності від орієнтації її площини (уздовж і поперек твірної труби) та місця розташування вершини (основний метал, метал шва, зона термічного впливу) знаходиться в діапазоні 0,07 - 0,13 мм, а δ_m - 0,13 - 0,22 мм.

Основним критерієм, що визначає надійність експлуатації МГ є

недопустимість зміни параметрів НДС матеріалу труб в ході капітального їх ремонту.

Були проведені дослідження напружено-деформованого стану МГ КЗУ-1 Ду1000 мм на дільниці капітального ремонту, що виконувався за схемою 1 – ремонт газопроводу з підкопом під трубу та за схемою 2 – ремонт газопроводу на бермі траншеї. Для визначення напруженого стану матеріалу труб в характерних перерізах по довжині досліджуваної дільниці МГ використовували електромагнітний та ультразвуковий методи вимірювання. Результати досліджень проходили первинну обробку на трасі, групувалися за об'єктами досліджень і оброблялися на ПЕОМ за спеціально для цього складеною програмою та оформлялися у вигляді епор розподілу залишкових

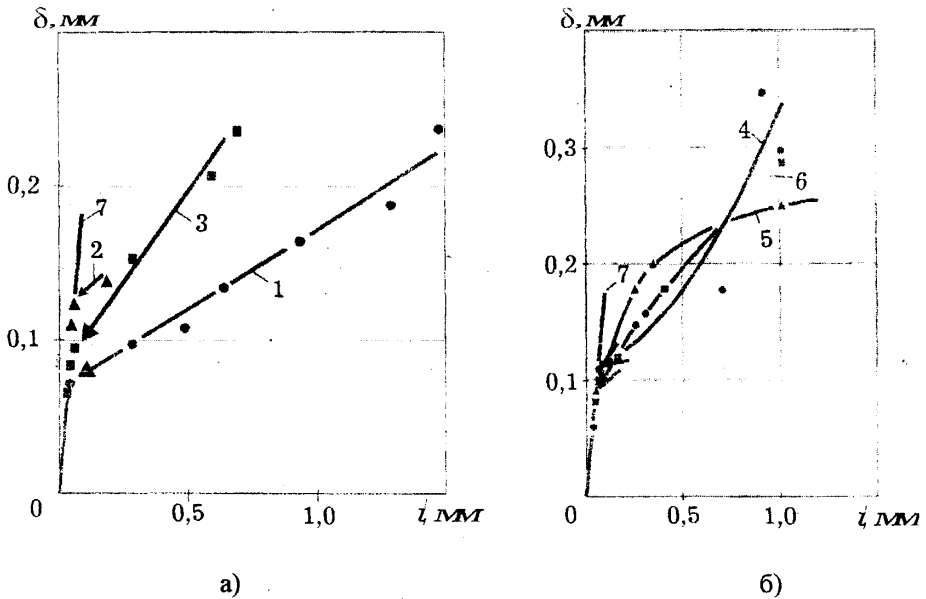


Рис. 2 Залежність розкриття тріщини δ від величини її підростання l' (δ_x - крива) для заводського поздовжнього (а) і монтажного кільцевого (б) швів
1-6 – місце розташування фронту тріщини;
7 – лінія затуплення вершини тріщини $l' = 0,5\delta$.

поздовжніх напружень в характерних перерізах МГ.

Дослідження показали, що при ремонті газопроводу за схемою 2 в матеріалі труб мають місце залишкові напруження, величина і характер яких залежить від технологічної схеми виконання капітального ремонту.

Максимальні значення залишкових поздовжніх напружень на досліджуваній ділянці МГ не перевищували 80 – 90 МПа, а їх середні значення – 20-40 МПа. В цих умовах суттєве значення для залишкової міцності МГ мають дефекти матеріалу труб, які в поєднанні з даними і характером розподілу напружень в перерізі трубопроводу впливають на вибір для технологічних схем виконання капітального ремонту газопроводів на пересіченому рельєфі місцевості.

Використання в останній час для діагностування стану газопроводів інтелектуальних поршнів дозволило виявити ділянки вздовж траси, на яких мають місце дефекти різного походження, в тому числі і дефекти типу вм'ятин.

Однак за результатами цих діагностувань не проводиться оцінка небезпечності цих дефектів для надійності експлуатації газопроводів, що суттєво утруднює прийняття експлуатуючими організаціями рішень про вид ремонту і його пріоритет. Тому практичне значення має проблема оцінки впливу дефектів типу вм'ятин на технічний стан газопроводів, вирішення якої дозволить оперативно проводити вибракування та науково обгрунтовано приймати рішення про вид та періодичність ремонту.

Вперше в практиці експлуатації газопроводів були проведені дослідження НДС газопроводу «Братерство» на гірських ділянках траси, на яких фірмою «ROSEN» були виявлені вм'ятини різної форми і розмірів. Дослідження проводилися як безпосередньо на трасі, так і на базі, куди були доставлені з траси газопроводу зрізи труб з вм'ятинами.

Дослідження показали, що між даними про параметри вм'ятин фірми «ROSEN» і фактичними даними, отриманими нами в трасових умовах є суттєві розбіжності. Крім того, форма і геометричні параметри вм'ятин суттєво впливають на характер НДС МГ.

У четвертому розділі виконані теоретичні дослідження НДС газопроводів при виконанні капітального ремонту.

У процесі виконання ремонтних робіт виникає необхідність у підніманні певної ділянки трубопроводу з метою створення сприятливих умов для виконання різних технологічних операцій: очищення трубопроводу від старого ізоляційного покриття, зварювально-відновлювальних робіт, нанесення нового ізоляційного покриття, тощо. Часто разом з підніманням трубопроводу здійснюється його горизонтальне переміщення та укладання на берму траншеї. У цьому випадку один із кінців піднятої ділянки трубопроводу по відношенню до іншого кінця розташований на паралельних прямих. Піднімання та горизонтальне переміщення трубопроводу супроводжується його згинанням. У випадку, коли ремонт газопроводу виконують без зупинки перекачування газу зі зменшенням тиску, трубопровід переважно зазнає дії осьової сили, яка виникає внаслідок внутрішнього тиску газу і зміни температури трубопроводу в процесі експлуатації. У цьому випадку реалізується поздовжньо-поперечне згинання трубопроводу.

Розв'язана задача про оцінку НДС трубопроводу при капітальному

ремонті. Аналіз НДС трубопроводу виконаний на основі диференціальних рівнянь поздовжньо-поперечного згину балки, що опирається на пружну основу, а також, на основі розв'язку рівнянь деформації статично визначеної балки, опертої по кінцях на опори із заданим значенням згинаючого моменту та зосередженої сили на консолях, що замінюють вплив відрізанних дільниць.

Розв'язок задачі проводиться у два етапи. На першому етапі визначаються згинаючі моменти та поперечна сила на кінцях балки на пружній основі. На другому етапі, прийнявши ці значення за зовнішні навантаження, визначають навантаження на трубоукладачі, а також максимальний згинаючий момент та напруження в трубопроводі.

У загальному випадку рівняння для визначення параметрів: $\omega(\boxtimes)$, $\theta(\boxtimes)$, $M(\boxtimes)$ і $\rightarrow(\boxtimes)$ для балки на пружній основі мають вид:

$$\omega(x) = \omega_0 Y_1 \left(\frac{x}{L} \right) + \theta L Y_2 \left(\frac{x}{L} \right) + \frac{1}{EI} \left\{ M_0 L^2 Y_3 \left(\frac{x}{L} \right) + Q_0 L^3 Y_4 \left(\frac{x}{L} \right) + L^2 \Sigma M_i Y_3 \left(\frac{x-a_i}{L} \right) - L^3 \Sigma P_i Y_4 \left(\frac{x-b_i}{L} \right) + \frac{L^4}{4} \Sigma q_i \left[Y_1 \left(\frac{x-c_i}{L} \right) - Y_1 \left(\frac{x-d_i}{L} \right) \right] \right\} \quad (1)$$

$$\theta(x) = \theta_0 Y_1 \left(\frac{x}{L} \right) + \frac{1}{EI} \left\{ M_0 L Y_2 \left(\frac{x}{L} \right) + Q_0 L^2 Y_3 \left(\frac{x}{L} \right) + \alpha L^3 \omega_0 Y_4 \left(\frac{x}{L} \right) + L \Sigma M_i Y_2 \left(\frac{x-a_i}{L} \right) - L^2 \Sigma P_i Y_3 \left(\frac{x-b_i}{L} \right) - L^3 \Sigma q_i \left[Y_4 \left(\frac{x-c_i}{L} \right) - Y_4 \left(\frac{x-d_i}{L} \right) \right] \right\} \quad (2)$$

$$M(x) = M_0 Y_1 \left(\frac{x}{L} \right) + Q_0 L Y_2 \left(\frac{x}{L} \right) + \alpha L^2 \omega_0 Y_3 \left(\frac{x}{L} \right) + \alpha L^3 \theta_0 Y_4 \left(\frac{x}{L} \right) + \Sigma M_i Y_1 \left(\frac{x-a_i}{L} \right) - L \Sigma P_i Y_2 \left(\frac{x-b_i}{L} \right) + L^2 \Sigma q_i \left[Y_3 \left(\frac{x-c_i}{L} \right) - Y_3 \left(\frac{x-d_i}{L} \right) \right] \quad (3)$$

$$Q(x) = Q_0 Y_1 \left(\frac{x}{L} \right) + \alpha L \omega_0 Y_2 \left(\frac{x}{L} \right) + \alpha L^2 \theta_0 Y_3 \left(\frac{x}{L} \right) - \frac{4M_0}{L} \left(\frac{x}{L} \right) - \frac{4}{L} \Sigma M_i Y_4 \left(\frac{x-a_i}{L} \right) - \Sigma P_i Y_1 \left(\frac{x-b_i}{L} \right) + L \Sigma q_i \left[Y_2 \left(\frac{x-c_i}{L} \right) - Y_2 \left(\frac{x-d_i}{L} \right) \right] \quad (4)$$

де - ω_0 , θ_0 , M_0 , \rightarrow_0 відповідно початкові значення прогину, кута повороту, згинаючого моменту та поперечної сили; Y_1 , Y_2 , Y_3 , - функції Крилова; a - реакція пружної основи; q_i - інтенсивність розподіленого навантаження;

Для випадку ремонту газопроводу на бермі траншеї диференціальне рівняння поздовжньо-поперечного згину балки, що лежить на пружній основі записано у вигляді:

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} + W \frac{d^2 y}{dx^2} - P(x, y, z_n, R) = 0 \quad (5)$$

де P - вертикальні навантаження, що діють на трубопровід; R - вектор (його компонентами є абсциси r_i) перерізів, до яких прикладаються зусилля від піднімальних пристроїв (трубоукладачів); z_n - число центрів ваги механізмів.

Замінивши похідні їх кінцеворізними аналогами і розв'язавши (5) відносно y_i , одержимо наступну систему рівнянь:

$$y_i = Ay_{i-2} + By_{i-1} + By_{i+1} + Ay_{i+2} + CP \quad (6)$$

де

$$A = \frac{1}{h^4} \left[\frac{6EI}{h^4} - \frac{N}{h^2} \right]^{-1}; B = \left[\frac{4}{h^4} + \frac{N}{h^2} \right] \left[\frac{6EI}{h^4} - \frac{2N}{h^2} \right]^{-1}$$

$$C = A(-h^n), i = 3, \dots, N-2 \quad (7)$$

де h - горизонтальний крок сітки; y_i - висотні відмітки трубопроводу у i -тому перерізі; N - кількість перерізів сітки.

При цьому схема процесу має наступний вигляд:

1. Визначається значення поздовжньої сили, що виникає у трубопроводі при підніманні і формується перше наближення:

$$y_i^{n_0} = H_i, i = 1, 2, \dots, N \quad (8)$$

2. За формулою (7) визначаються $y_i^{n_0+1}$ з врахуванням (8).

3. Проводиться перевірка виконання умови збіжності ітераційного процесу, яка вибирається із співвідношення:

$$|y_i^{n+1} - y_i^n| < \delta_y \quad (9)$$

де δ_y - задана точність збіжності ітераційного процесу. Якщо при цьому (9) виконується для усіх y_i^{n+1} , $i=3, \dots, N-2$, то необхідно визначити величини y_1^{n+1} , y_2^{n+1} , y_{N-1}^{n+1} , y_N^{n+1} з граничних умов, після чого при виконанні умови (9) для усіх y_i^{n+1} , $i=1, \dots, N$ розрахунок вважається закінченим. В іншому випадку виконується наступний пункт.

4. Визначається видовження Δl_1 при підніманні трубопроводу, знаходять результуючу поздовжню силу N і повертаються до етапу 2.

Величини згинаючих моментів M_i , згинаючих напружень σ_i та перерізувальної сили P_i в перерізах з абсцисами y_i ($i=2, \dots, N-2$) визначають за формулами:

$$M_i \approx EI \frac{y_{i-1} - 2y_i + y_{i+1}}{h^2} \quad (10)$$

$$\sigma_i = \frac{M_i}{W} \quad (11)$$

$$P_i = EI \cdot y^{i-1-3y_i+3y_{i+1}-y_{i+2}} \quad (12)$$

де h – горизонтальний крок сітки; y_i – висотна відмітка трубопроводу в i -тому перерізі; W – момент опору поперечного перерізу трубопроводу.

В теоретичному плані вперше розроблена методика оцінки залишкової міцності трубопроводу з дефектами форми типу вм'ятин. Задача полягає у визначенні гранично-допустимого тиску p в трубопроводі при відомих параметрах вм'ятини та фіксованих напруженнях.

Для визначення максимального значення тиску p отримано рівняння виду:

$$\int_0^{\varphi_0} \int_0^{\varphi_0} \left(p - \frac{pRda}{ds} \right) dSdS = \frac{\sigma_B t^2}{2} (1 - \mu^2) \quad (13)$$

де R – номінальний радіус середньої поверхні труби; ds – елемент довжини дуги; σ_B – тимчасовий опір матеріалу труб на розрив; μ – коефіцієнт Пуассона.

Для відомих параметрів вм'ятини залишкова міцність трубопроводу α може бути визначена за формулою:

$$\alpha = \sqrt{\frac{R^2}{t^2} \arccos^4 \left(1 - \frac{W}{R} \right) + 1 - \frac{R}{t} \arccos^2 \left(1 - \frac{W}{R} \right)} \quad (14)$$

де W – прогин трубопроводу в місці утворення вм'ятини; t – товщина стінки труби.

Дослідження показали, що при $\lambda > 1$ (де $\lambda = \frac{l}{\sqrt{Rt}}$ безрозмірна довжина дефекту) спостерігається різке зменшення міцності трубопроводу, ослабленого вм'ятиною, що треба враховувати при оцінці залишкової міцності трубопроводів з дефектами такого виду.

Розроблені методики та алгоритми розрахунку НДС газопроводів при капітальному ремонті, допустимої висоти їх піднімання при ізоляційно-очисних роботах, а також оцінки ступеню небезпечності дефектів форми типу вм'ятин пройшли практичне опробування на діючих магістралях і мають добру східимість.

П'ятий розділ присвячений удосконаленню методів оцінки технічного стану газопроводів при капітальному ремонті та їх випробування в трасових умовах.

В плані оцінки стану ізоляційних покриттів проведено аналіз існуючих методів визначення захищеності газопроводів від ґрунтової корозії, опираючись на який проведена їх модернізація з використанням струмів змінної частоти.

Дослідження показали, що звичайним методом вимірювання потенціалів «труба-ґрунт» отримати електродний потенціал трубопроводу неможливо, тому що виміряний таким чином потенціал крім електродного потенціалу, містить і

омічне падіння напруги між мідно-сульфідним електродом і трубопроводом.

Ця задача розв'язана шляхом пошуку таких параметрів R_T , α , ρ , y (де R_T - поздовжній опір трубопроводу; α - коефіцієнт згасання; ρ - питомий опір ґрунту; y - віддаль до аноду, які б мінімізували функціонал F , що представляє собою суму квадратів різниці теоретично розрахованого та виміряного потенціалів. За запропонованою методикою знаходження параметрів R_T , α , ρ , y для персонального комп'ютера Pentium 100 була розроблена програма у середовищі Windows 95 на мові Delphi 3, яка пройшла апробацію на реальних даних, взятих із ділянки газопроводу Дашава-Київ. Результати тестування показали, що розроблена програма може використовуватися в автоматичних системах керування катодним захистом в задачах контролю стану ізоляційних покриттів, а також для визначення перехідного опору ґрунту.

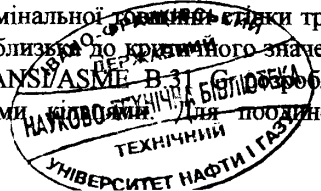
Удосконалена методика оцінки напруженого стану газопроводів в умовах експлуатації з використанням ультразвукового методу вимірювання. Труднощі такої оцінки полягають у тому, що в умовах експлуатації не завжди є можливість визначення швидкості поширення ультразвукових коливань (УЗК) у незавантаженому трубопроводі. В зв'язку з цим задача вирішується наступним чином: визначаються швидкості поширення УЗК коливань у фіксованій точці у два різні часи виміру і, на основі цих даних, обраховується швидкість поширення УЗК у незавантаженому трубопроводі по відповідних напрямках. Оцінюється похибка вимірювань $\bar{\varepsilon}$ часу поширення УЗК у відповідних напрямках

$$\left| \tau_j^m - \tau_{ij}^e \right| \sim \frac{\bar{\varepsilon}}{\alpha} \quad (15)$$

де α - коефіцієнт пропорційності між часом поширення УЗК і напруженнями; τ_j^m - точне значення часу поширення УЗК; τ_{ij}^e - значення часу поширення УЗК, взяте з експерименту.

Якщо це багатопараметрична залежність виконується для фіксованої товщини стінки трубопроводу, то визначені швидкості УЗК можуть бути використані для оцінки напруженого стану трубопроводу за уточненими нами розрахунковими залежностями.

Розроблено нові способи підвищення несучої здатності газопроводів з корозійними дефектами, які не вимагають повної зупинки перекачування газу під час виконання ремонтних робіт. Для поодиноких або групових корозійних дефектів, глибина яких не перевищує 40% номінальної товщини стінки труби, а максимальна довжина менша половини зовнішнього діаметру труби, розроблено конструкцію розрізного бандажу. У випадку наявності корозійних пошкоджень, глибина яких перевищує 40% номінальної товщини стінки труби, або вони мають меншу глибину, а їх довжина близька до критичного значення, визначеного за Американським стандартом ANSI/ASME B-31.8, розроблено розрізну герметичну муфту із технологічними



дефектів з шириною або довжиною, що не перевищують 20 мм та глибиною до 40% від номінальної товщини стінки труби випробувані заплати-муфти.

Запропоновані методи підвищення несучої здатності газопроводів з дефектами неодноразово випробувані на ефективність в реальних умовах експлуатації і ремонту та підтвердили свою економічну доцільність.

В додатках до роботи приведені документи, що підтверджують впровадження результатів дисертації у виробництво.

Основні висновки і рекомендації.

1. На основі проведених експериментальних досліджень та теоретичних узагальнень розв'язана важлива наукова задача удосконалення методики діагностування технічного стану та способів ремонту магістральних газопроводів для підвищення надійності їх експлуатації.

2. Розроблена стратегія прогнозування міцності та довговічності лінійної частини магістральних газопроводів, що дозволяє висвітлити та проаналізувати широке коло проблем, пов'язаних з їх функціонуванням. Стратегія включає побудову загальної ієрархії системи прогнозування міцності та довговічності газопроводів з виділенням основних елементів, зазначенням їх місця та зв'язків, окресленням комплексу пов'язаних з ними методичних проблем.

3. Вперше в умовах експлуатації проведені дослідження НДС газопроводів при капітальному ремонті, а також на складних ділянках траси у зонах пластичного деформування металу труб. Показано, що трубні сталі МГ мають значний залишковий ресурс експлуатації, який не обмежується терміном у 33 роки. Встановлено, що трубні сталі марки 17Г1С можуть мати ресурс експлуатації в межах 43-82 роки і значний запас пластичності, що не обмежує залишковий ресурс експлуатації за умови своєчасного виявлення зон можливого пластичного деформування металу труб та ремонту корозійних дефектів.

4. При виборі методу капітального ремонту МГ без зупинки перекачування необхідно брати до уваги не тільки корозійний стан матеріалу труб, але і величину та характер розподілу залишкових напружень в околі дефектів. Встановлено, що розподіл залишкових поздовжніх напружень в окремих перерізах по довжині трубопроводу, виведеного у капітальний ремонт, є неоднозначним, а їх значення змінюється від $40 \div 50$ МПа до $80-90$ МПа, досягаючи $(0,2 \div 0,5) \sigma_e$ (де σ_e - напруження від експлуатаційних навантажень та впливів).

5. Запропоновані нові розрахункові формули для визначення напружень у трубопроводі при виконанні ремонтних робіт, що виникають при переміщенні точок осі труби. При переміщенні трубопроводу коли його вісь займає просторове положення, яке аналітично описується за допомогою запропонованої залежності, вирішена задача забезпечення мінімальних напружень згину у трубопроводі. Задача розв'язана шляхом знаходження мінімуму функціоналу, що будується з врахуванням особливостей процесу

деформування, початкових та граничних умов.

6. Вперше для теоретичної оцінки граничного стану трубопроводів з дефектами форми типу вм'ятин розв'язана задача визначення граничного допустимого тиску p у трубопроводі та його залишкової міцності α в залежності від геометричних розмірів вм'ятини, що відкриває принципову можливість схематизації дефектів типу вм'ятин за ступенем їх небезпечності у нормативних документах. Показано, що при $\lambda > 1$ (де λ - безрозмірна довжина вм'ятини) спостерігається різке зменшення міцності трубопроводу, ослабленого вм'ятиною, що потрібно враховувати при оцінці залишкової міцності трубопроводів з дефектами такого виду.

7. Запропоновані нові технічні та технологічні рішення з ремонту МГ під тиском без зупинки перекачування, що враховують тип і розміри дефектів та проведена їх промислова перевірка при виконанні ремонтних робіт на газопроводах Київ-Захід України (ІІ нитка) та «Союз» (на гірській ділянці).

Список опублікованих праць за темою дисертації

1. Розгонюк В. В. Газотранспортна система Укргазпрому. Газова промисловість України. - 1994. - С. 21 - 22.
2. Розгонюк В.В., Хачикян Л.А. та інші. Експлуатаційникові газонафтового комплексу: Довідник. - К.: Росток, 1998. - 432 с.
3. Розгонюк В.В., Шлапак Л.С. Розробка концепції дослідження технічного стану надземних ділянок газонафтопроводів // Нафтова і газова промисловість. - 1996. - № 4. - С. 35 - 37.
4. Розгонюк В.В., Коваль В.М., Шлапак Л.С. Науково-технічне забезпечення моніторингу корозійного стану магістральних трубопроводів // Нафтова і газова промисловість. - 1998. - № 4. - с.36 - 37.
5. Шлапак Л.С., Розгонюк В.В. Дослідження напружено-деформованого стану газопроводу під час капітального ремонту // Нафтова і газова промисловість. - 1998. - № 3. - С. 37.
6. Розгонюк В.В., Шлапак Л.С., Коваль В.М. Про створення централізованої системи технічного нагляду і діагностування лінійної частини магістральних газопроводів України // Нафтова і газова промисловість. - 1998. - № 5. - С. 38-41.
7. Бут В.С., Грецький Ю.Я., Розгонюк В.В., Дрогомирецький М.М., Черненко В.А., Зворотній В.Ф. Застосування дугового зварювання для ремонту діючих трубопроводів// Нафтова і газова промисловість. - 1998. - № 6. - с. 44 - 47.
8. Розгонюк В.В., Шишківський В.А., Батозька А.В., Кацалап С.Ф. Розподіл струму катодного захисту паралельного трубопроводу. // Нафтова і газова промисловість. - 1998. - № 5. - с. 41-42.
9. Розгонюк В.В., Бородій М.В., Шлапак Л.С. Стратегія прогнозування міцності та довговічності лінійної частини магістральних газопроводів // Нафтова і газова промисловість. - 1999, №1. - с.40-44.
10. Розгонюк В.В., Палцан І.Г., Шлапак Л.С. Дослідження напруженого стану надземних переходів газопроводів. Нафта і газ України – 96. Матеріали науково-практичної конференції. -Харків, 1996. – 14 –16 травня.
11. Розгонюк В.В., Капцов И.И. Актуальные задачи повышения надежности и контроля технического состояния магистральных газопроводов. Материалы 7-й Международной Деловой Встречи «Диагностика - 97». - Ялта, 1997. - т. I. - С. 108-111.
12. Розгонюк В.В. Организация системы диагностики в АО «Укргазпром». Материалы 7-й Международной Деловой Встречи «Диагностика-97». - Ялта, 1997. - т. I. - С. 55-58.

13. Перун Й.В., Коваль В.Н., Волошанский Р.В., Гидзяк Й.П., Рудко В.П., Розгонюк В.В., Банахевич Ю.В. Исследования коррозионного состояния трубопроводов на сложных участках трассы. Материалы 7-й Международной Деловой Встречи «Диагностика - 97». - Ялта, 1997. - т. 2. - С. 270 - 274.

14. Розгонюк В.В., Сапрыкин С.А. Разработка технологий, методов и средств технической диагностики в АО «Укргазпром». Материалы 8-й Международной Деловой Встречи «Диагностика - 98». - Сочи, апрель 1998.

15. Розгонюк В.В., Шлапак Л.С., Олейник А.Й. Определение напряженно-деформированного состояния трубопроводов при капитальном ремонте. Материалы 8-й Международной Деловой Встречи «Диагностика - 98». - Сочи, апрель 1998.

16. Розгонюк В.В., Шишківський В.А., Кацалап С.Ф. Оброблення результатів інтенсивних вимірювань потенціалу захисного поля для оцінювання ізоляційного стану трубопроводів. Сборник научных трудов Международной научно-технической конференции «Современные приборы, материалы и технологии для технической диагностики и неразрушающего контроля промышленного оборудования. Элементная база и комплектующие для приборов НК. Подготовка специалистов в сфере неразрушающего контроля и технической диагностики». - Харьков: ХТУРЗ, 1998. - С. 109-110.

17. Розгонюк В.В., Шишківський В.А., Кацалап С.Ф. Вплив анодного поля на ідентифікацію параметрів системи електрохімічного захисту. Нафта і газ України - 98. Матеріали науково-практичної конференції. - Полтава, вересень 1998.-С.273.

18. Баранов М.Ю. Коваль В. М., Шлапак Л.С. Розгонюк В.В., Про методику дослідження корозійного стану трубопроводів з використанням струмів змінної частоти. Нафта і газ України - 98. Матеріали 5^ї міжнародної конференції. - Полтава, вересень 1998. - С. 271.

АНОТАЦІЯ

Розгонюк В.В. Удосконалення методики діагностування технічного стану та способів ремонту магістральних газопроводів. – Рукопис

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.13 - нафтогазопроводи, бази та сховища. - Івано-Франківський державний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, 2000.

Дисертацію присвячено питанням підвищення надійності експлуатації магістральних газопроводів на дільницях капітального ремонту шляхом удосконалення методики діагностування технічного стану та способів ремонту трубопроводу. В дисертації розв'язана важлива задача, яка ґрунтується на комплексному підході до оцінки параметрів, що визначають технічний стан трубопроводу. Встановлено, що вибір способу виконання ремонтних робіт на газопроводах під тиском залежить від достовірної оцінки напружено-деформованого стану матеріалу труб з врахуванням величини, типу дефектів та зміни фізико-механічних властивостей в ході тривалої експлуатації.

Запропоновано ефективну стратегію прогнозування міцності та довговічності лінійної частини магістральних газопроводів, розроблено оригінальну математичну модель та програмне забезпечення для оптимізації параметрів напружено-деформованого стану газопроводів при ремонтних роботах, запропоновано новий конструктивно-технологічний підхід до виконання ремонтних робіт на магістральних газопроводах під тиском з використанням дугового зварювання. Основні результати праці знайшли промислове впровадження при виконанні ремонтних робіт на діючих газопроводах Київ-Захід України (II нитка) і «Союз» (на гірській дільниці). Ключові слова: математичне моделювання, напружений стан, діагностування, аналіз, експертна система, стратегія.

АННОТАЦИЯ

Розгонюк В. В. Усовершенствование методики диагностирования технического состояния и способов ремонта магистральных газопроводов. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.13 - нефтегазопроводы, базы и хранилища. Ивано-Франковский государственный технический университет нефти и газа, Ивано-Франковск, 2000.

Диссертация посвящена вопросам повышения надежности эксплуатации магистральных газопроводов на участках капитального ремонта путем усовершенствование методики диагностирования технического их состояния и способов ремонта трубопровода. В диссертации решена важная задача

диагностирования, базирующаяся на комплексном подходе к оценке параметров, определяющих техническое состояние трубопровода. Установлено, что выбор способов проведения ремонтных работ на газопроводах под давлением зависит от достоверной оценки напряженно-деформированного состояния материала труб с учетом размеров, типа дефектов и изменения физико-механических свойств в ходе эксплуатации.

Разработана эффективная стратегия прогнозирования прочности и долговечности линейной части магистральных газопроводов, базирующаяся на современных организационных и научных решениях, которые могут быть реализованы в виде экспертной компьютерной системы. Проведены исследования и установлены закономерности изменения напряженно-деформированного состояния в трубопроводе при проведении ремонтных работ в условиях пересеченного профиля трассы. Разработана оригинальная математическая модель и программное обеспечение для комплексной оценки параметров напряженно-деформированного состояния газопроводов при капитальном ремонте, критерием оптимальности для выбора которых служит минимум напряжений изгиба в трубопроводе. Используя разработанную методику, предложен способ оптимизации пространственного положения трубопровода при его подъеме для проведения ремонтных работ. Задача решена с использованием уравнений Эйлера и нахождения минимума функционала, характеризующего особенности деформирования трубопровода при ремонтных работах. Используя подходы и критерии механики разрушения, исследованы изменения свойств материала трубных сталей при длительной эксплуатации, на основании которых установлено, что основной материал труб и материал сварных соединений имеют значительный запас пластичности. Предложены принципиально новые конструктивно-технологические решения ремонта газопроводов под давлением. Впервые решена задача оценки остаточной прочности трубопроводов с дефектами формы типа вмятин. Основные результаты работы нашли промышленное внедрение при производстве ремонтных работ на действующих газопроводах Киев-Запад Украины (II нитка) и «Союз» (горные участки).

Ключевые слова: математическое моделирование, напряженное состояние, диагностирование, анализ, экспертная система, стратегия.

ABSTRACT

Vasyl V. Rozgonyuk. Improvement of technical conditions survey and repair methods for natural gas main pipeline. Typescript.

A dissertation to obtain a Ph.D degree (technician) in speciality 05.15.13 - oil and gas pipelines, tank farms and storage facilities. - Ivano-Frankivsk State Oil&Gas Technical University, Ivano- Frankivsk, 2000.

The dissertation is dedicated to the issues of natural gas pipelines operation reliability increasing during the repair and maintenance process by improvement of technical conditions survey and repair methods. An important task based on integrated approach to the evaluation of parameters defining the technical conditions of pipeline was solved. It was determined that the choice of repair methods for natural gas pipelines under pressure is dictated by the reliable assessment for the stress-strained state of pipe materials with consideration for nature and extent of the defects as well as for the change of physical and mechanical properties during the long-term operation.

An effective strategy of natural gas main pipelines integrity prediction was proposed, an ingenious mathematical simulation and software for optimization of the stress-strained state parameters during the gas pipeline repair process were developed, new design features and technology approach for hot-tapping during the natural gas main pipeline repair process using arc welding are due to the research work. Principal findings of the investigation was drawn on to make good use during the repair process on the main natural gas pipelines under operation such as Kyiv-Western Ukraine (second line) and Soyuz (mountain section).

Key words : mathematical simulation, stress state, technical condition survey, expert system, strategy.

НТБ
ІФНТУНГ



as761