

622.691.4
Т19

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ

Тарасвський Олег Степанович



УДК 622.691.4

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ
ТРИВАЛОЕКСПЛУАТОВАНИХ ГАЗОПРОВІДІВ ЗА
СКЛАДНИХ ГІРНИЧО – ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВ

Спеціальність 05.15.13 – Трубопровідний транспорт, нафтогазосховища

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Івано-Франківськ – 2018

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор, академік НАН України

Крижанівський Євстахій Іванович,
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, ректор.



Офіційні опоненти: доктор технічних наук

Банахевич Юрій Володимирович,

ПАТ «Укртрансгаз» НАК «Нафтогаз України», м. Київ, начальник відділу;

доктор технічних наук, професор

Никифорчин Григорій Миколайович,

Фізико – механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, м. Львів, завідувач відділу;

доктор технічних наук, професор

Харченко Євген Валентинович,

Інститут будівництва та інженерії доквілля Національного університету «Львівська політехніка», м. Львів, завідувач кафедри опору матеріалів та будівельної механіки.

Захист відбудеться “14” березня 2018 р. о 10 год. 00 хв. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.04 в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

З дисертацією можна ознайомитись у науково-технічній бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

Автореферат розісланий “9” лютого 2018 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради Д20.052.04,
канд. техн. наук, доцент

Л.Д. Пилипів



ан2686

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Україна, відповідно до затвердженої Енергетичної стратегії до 2035 року «Безпека, енергоєфективність, конкурентоспроможність», планує здійснити зниження енергоємності економіки, а також диверсифікацію джерел і шляхів постачання енергоресурсів, що сприятиме підвищенню економічної, енергетичної та екологічної безпеки. Вдале географічне розташування нашої держави на шляху потужних газових потоків дозволяє їй стати основним газовим транзитним транспортером.

Упродовж останніх років створюються нові перспективи та особливості транспортування газу діючою газотранспортною системою (ГТС) України. Однією з основних задач буде забезпечення надійного постачання газу як до країн ЄС, так і до України, використовуючи аверсно – реверсні режими експлуатації трубопроводів. Починаючи з 2013 року, газовий сектор в Україні зазнав глибокого перетворення з неефективного, що символізував собою залежність України від транспортування газу з Російської Федерації, в сектор з економічною перспективою забезпечення енергетичної незалежності України.

Україна одночасно пережила практично 50% зниження імпорту газу, внаслідок чого відбулися ґрунтовні зміни його структури. Зважаючи на звільнені потужності, з'явився імпорт із Заходу, що виріс з нуля до 10 млрд. куб. м. у 2015 році та поступово зростає. Зважаючи на суттєві зміни як зовнішніх, так і внутрішніх навантажень на лінійну частину трубопроводів значну увагу необхідно також приділяти гірничо – геологічним умовам, у яких експлуатуються транзитні газопроводи, значна частина яких проходить через Івано – Франківську, Львівську та Закарпатську обл., які відзначаються складними гірничо – геологічними умовами, великою частинною зсувонебезпечних ділянок, а також багатьма природними та штучними перешкодами. Одним із найважливіших технологічних елементів ГТС України, який забезпечує її надійну та безперебійну роботу, є підземні сховища газу (ПСГ). Розміщення підземних газосховищ на західному кордоні України дає змогу транспортувати газ порівняно швидко практично в будь-яку країну Європи.

Зростання ролі трубопровідного транспорту газу при диверсифікації енергетичних джерел, що часто призводить до експлуатації трубопроводів у аверсно – реверсних режимах, вимагає вирішення задачі забезпечення працездатності та ефективності роботи трубопроводів за умови зміни структури технологічних навантажень при значному фізичному та моральному старінні. Беручи до уваги той факт, що більшість транзитних газопроводів відпрацювали свій нормативний амортизаційний термін, бо експлуатуються понад 40 років необхідно комплексно моніторити їх технічний стан. Тому розроблення нових підходів щодо забезпечення працездатності тривалоексплуатованих газопроводів за складних гірничо – геологічних умов є актуальною науково – технічною проблемою.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційні дослідження виконано в рамках комплексних тематичних планів

НАК "Нафтогаз України", спрямованих на забезпечення ефективного використання паливно-енергетичного комплексу щодо безперервного транспортування енергоносіїв, окреслених Національною програмою «Концепція розвитку, модернізації і переоснащення газотранспортної системи України на 2009-2015 р.», Енергетичної стратегії до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» і держбюджетних тем «Удосконалення наукових основ управління технологічними процесами видобування та транспортування нафти і газу з мінімальними енергозатратами», а також «Дослідження нових енергоресурсозберігаючих, екологічно безпечних технологій видобування та транспортування вуглеводнів» (№0107U000145), «Нарощування видобутку та надійного постачання паливно-енергетичних ресурсів нафтогазової енергетики України» (№0109U000986).

Мета та задачі дослідження – вдосконалення наукових основ підвищення працездатності магістральних трубопроводів розташованих у зонах нестабільності гірських масивів за складних гірничо – геологічних умов.

Для досягнення поставленої в роботі мети необхідно розв'язати наступні наукові задачі, спрямовані на вирішення важливої проблеми – забезпечення безаварійного функціонування трубопровідного транспорту:

✓ Визначити нове функціональне призначення ГТС України в забезпеченні надійного транспортування газу до країн ЄС та України при застосуванні аверсно – реверсних режимів.

✓ Дослідити вплив концентраторів напружень на період зародження і докритичного розвитку корозійно-механічних тріщин трубопроводів, експлуатованих у зоні впливу нестабільних гірських масивів і розробити методику їх оцінки.

✓ Виявити вплив аверсно - реверсних режимів експлуатації на працездатність трубопровідної системи.

✓ Визначити вплив експлуатаційного навантаження на працездатність трубопроводів за умови одночасної дії змінних внутрішніх тисків та зовнішнього навантаження з боку нестабільних гірських масивів.

✓ Розробити заходи для підвищення безпеки експлуатації газопроводів у спільних технічних коридорах і оцінити адекватність результатів досліджень шляхом їх практичного впровадження.

Об'єктом дослідження є магістральні та промислові трубопроводи, які експлуатуються в складних геологічних умовах з порушеною силовою рівновагою гірничих масивів.

Предметом дослідження є експлуатаційна надійність трубопроводів і їх зварних з'єднань, що експлуатуються в складних гірничо – геологічних умовах.

Методи досліджень. Методологічною основою роботи є сумісне використання фізичного та математичного моделювання об'єкта досліджень. Дослідження ґрунтуються на застосуванні методів і критеріїв механіки руйнування; першого закону термодинаміки для оцінки енергетичного балансу поширення втомних тріщин за змінних у часі навантажень; методів фізико-хімічної механіки руйнування з урахуванням сумісної дії експлуатаційних навантажень і корозійноагресивних і водневовмісних середовищ;

розрахунково-експериментального визначення залишкових напружень; системного аналізу експлуатаційних параметрів лінійних ділянок; методів побудови експлуатаційних характеристик; кореляційно – регресійному факторному аналізу; методів математичного програмування та виявлення впливу організаційно – технічних чинників на ефективність експлуатації; неруйнівного визначення характеристик напруженого стану.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у встановленні закономірності поведінки тривалоексплуатованих газопроводів за складних гірничо – геологічних умов на базі комплексних теоретичних і практичних досліджень з метою підвищення їх працездатності, зокрема:

- удосконалено наукові основи визначення працездатності ГТС України з урахуванням аверсно – реверсних режимів роботи, тривалого терміну експлуатації та складних гірничо – геологічних умов;

- вперше встановлено механізм зародження тріщин в умовах одночасної дії внутрішнього тиску та зовнішнього лавинного навантаження на газопроводи в зоні впливу концентраторів напружень;

- вперше встановлено вплив аверсно – реверсних режимів на працездатність магістральних газопроводів, які експлуатуються в гірській місцевості;

- визначено рівень навантаження на конструктивні елементи тривалоексплуатованих газопроводів у зсувонебезпечних умовах;

- уточнено вплив природних і штучних перешкод на трасах тривалоексплуатованих магістральних трубопроводів на рівень їх навантаження;

- уточнено наукові заходи експлуатації газопроводів, що проходять в спільному технічному коридорі.

Достовірність отриманих результатів і висновків забезпечується використанням фундаментальних положень фізики та механіки руйнування конструкційних матеріалів, застосуванням сучасних числових методів розрахунку, коректною постановкою експериментальних досліджень, зіставленням деяких часткових й узагальнених результатів з відомими результатами інших дослідників, застосуванням в експериментальних дослідженнях сучасних засобів вимірювання й оброблення результатів експериментів, відповідність висновків і результатів фізичній суті досліджуваних явищ.

Практичне значення одержаних результатів визначається можливістю їх використання під час проектування та експлуатації трубопроводів, що експлуатуються в складних гірничо – геологічних умовах, а також об'єктуванні та проектуванні аверсно – реверсних режимів роботи тривалоексплуатованих трубопроводів за складних гірничо – геологічних умов при забезпеченні їх працездатності.

Адекватність отриманих результатів підтверджено актом практичного впровадження результатів роботи “Забезпечення працездатності тривалоексплуатованих газопроводів за складних гірничо – геологічних умов” ПАТ “Укртрансгаз” філії УМГ “Прикарпаттрансгаз”, результатами

впровадження комплексних галузевих методик “Типові розрахунки показників надійності систем газонафтопостачання” та “Розрахунок напружено – деформованого стану складних систем надземних переходів”, які використовуються у ВРТП “Укргазенергосервіс”, ТзОВ “Західтехногаз” держбюджетної теми «Удосконалення наукових основ управління технологічними процесами видобування та транспортування нафти і газу з мінімальними енергозатратами», а також теми «Дослідження нових енергоресурсозберігаючих, екологічно безпечних технологій видобування та транспортування вуглеводнів» (№0107U000145), теми «Нарощування видобутку та надійного постачання паливно-енергетичних ресурсів нафтогазової енергетики України» (№0109U009986).

Результати досліджень впроваджені у навчальний процес кафедри транспорту і зберігання нафти і газу, спорудження і ремонту газонафтопроводів та газонафтоховищ Івано – Франківського національного технічного університету нафти і газу, використані при виконанні дипломних проєктів і магістерських робіт студентами спеціальності “Газонафтопроводи та газонафтоховища”, “Нафтогазова інженерія і технології”.

Положення, що виносяться на захист:

Системний підхід до дослідження впливу концентраторів напружень на період зародження і розвитку докритичного росту тріщини в умовах аверсно – реверсних режимів експлуатації трубопроводів, що проходять територіями з порушеною рівновагою Землі.

Комплексні основи визначення допустимого граничного передруйнівного стану найслабших ланок трубопроводів, що експлуатуються в аверсно – реверсних режимах та перетинають природні та штучні перешкоди і на їх основі удосконалити методики моніторингу силового впливу гірського масиву на всій довжині.

Нові методи оцінки безпечної зони трубопроводів що проходять в спільному технічному коридорі.

Особистий внесок здобувача. Всі положення і висновки, математичні моделі та методи розрахунків, аналітичні залежності та результати розрахунків, що виносяться на захист, розроблені та належать особисто авторів. Роботи [1-3, 8-18, 21, 23, 30-32, 35-39,41] опубліковані одноосібно. З робіт, опублікованих у співавторстві, на захист виносяться тільки ті частини, які розроблені особисто автором.

Виявлено вплив зміни режимів транспортування, скорочення обсягів надходження газу на напружений стан тривалоексплуатованих газопроводів [4, 5]. У роботі [6] показано новий підхід щодо дослідження міцності конструктивних елементів трубопроводів. Сформовано рекомендації щодо врахування факторів, що визначають інтенсивність навантаження тривалоексплуатованих газопроводів у складних гірничо – геологічних умовах [7]. У роботі [13] дана чітка оцінка несучої здатності кільцевого зварного з’єднання трубопроводу. Дана чітка оцінка експлуатаційної надійності нафтогазопроводів за наявності локальних дефектів та особливості корозійно – втомного руйнування зварних з’єднань [19, 20, 39]. У роботах [22, 25]

досліджено вплив тривалої експлуатації магістральних газопроводів на їх корозійно – втомні властивості, середовища та нерівномірності споживання газу на безаварійну їх експлуатацію. Наведена методика оцінювання навантаження газопроводу внутрішнім тиском [24]. Розроблена модель виявлення впливу водню та сірководневого корозійного розтріскування на руйнування та корозійну стійкість трубних сталей тривало експлуатованих нафтогазопроводів [26, 33, 34]. У роботі [28] здобувачеві належить постановка проблеми зміни завантаженості трубопроводів на ділянках експлуатації підземних сховищ газу (ПСГ). Автором здійснено аналіз та апробацію методики визначення та встановлення аномалії природного імпульсного електромагнітного поля землі на ділянках підземно – наземних переходів тривало експлуатованих газопроводів [29].

Здобувач брав безпосередню участь у плануванні та проведенні всіх експериментальних досліджень і натурних випробувань й аналізі їх результатів, розробці практичних рекомендацій щодо підвищення рівня працездатності потенційно небезпечних ділянок діючих нафтогазопроводів та їх вивадженні.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертації доповідались і обговорювались на: науково – практичних конференціях професорсько – викладацького складу факультету нафтогазопроводів (м. Івано – Франківськ, 2008, 2010, 2012); Міжнародна науково – технічна конференції молодих вчених “Техніка і прогресивні технології в нафтогазовій інженерії”, (м. Івано – Франківськ, 2008); 7-й, 8-й Міжнародній науково – технічній конференції “Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта” (м. Полоцк, 2011, 2014); Міжнародна науково – технічна конференції “Проблеми і перспективи транспорту нафти і газу”, (м. Івано – Франківськ, 2012); 18th Technical sessions on welding conferences (Madrid, Spain, 20 - 22 October 2010); 8-й, 9-й, 10-й Міжнародній навчально – науково – практичній конференції “Трубопроводный транспорт – 2012, 2013, 2014”, (м. Уфа, 2012. 2013. 2014); Міжнародна науково – практична конференція “ЕКОГЕОФОРУМ- 2017. Актуальні проблеми та інновації ”, (м. Івано – Франківськ, 2017); Міжнародна науково – технічна конференція “Нафтогазова енергетика - 2017 ”, (м. Івано – Франківськ, 2017).

У повному обсязі результати досліджень доповідались на розширеному науковому семінарі інституту нафтогазової інженерії ІФНТУНГ (керівник семінару – д.т.н., професор, зав. кафедри спорудження і ремонту газонафтопроводів та газонафтосховищ В.Я. Грудз).

Публікації. За результатами дисертаційних досліджень опубліковано 41 наукову працю, у тому числі 26 – у фахових наукових виданнях України, з яких 10 - у міжнародних журналах, що внесені до наукометричних баз і систем, одна монографія; 14 – наукові праці, матеріали та тези конференцій.

Структура роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, шести розділів, які містять 95 рисунків і 27 таблиць, висновків, а також списку літератури, що має 293 найменувань, додатків. Загальний обсяг дисертації 327 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обгрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету і основні завдання дисертаційної роботи, висвітлено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, а також наведено відомості щодо апробації роботи, її структури, обсягу та публікацій.

У першому розділі аналізується сучасний стан досліджень руйнування трубопроводів, що експлуатуються на територіях з порушеною рівновагою Землі. Проблема забезпечення високої експлуатаційної надійності магістральних трубопроводів (МТ) має важливе значення для економіки України, оскільки значна їх частина експлуатується протягом тривалого часу і вже вичерпала свій нормативний ресурс. Стабільна робота МТ і його висока економічна ефективність, у першу чергу, залежить від його технічного стану. При оцінці технічного стану трубопроводу важливе місце займає достовірне визначення напружено-деформованого стану (НДС) його лінійної частини як одного з основних факторів, від якого залежить рівень експлуатаційної надійності.

Щоб надійно оцінити працездатність трубопроводів, необхідний комплексний системний підхід, однією з важливих складових якого є визначення напруженого стану матеріалу труби, зокрема, в місцях із дефектами та у зварних з'єднаннях. Наявність дефектів у процесі експлуатації може призвести до передчасного руйнування трубопроводу. Лінійна частина трубопроводів експлуатується в складних і досить різноманітних природних умовах, а тому спектр навантажень і впливів на них дуже широкий. Окрім цього, система трубопроводів має різне конструктивне рішення по всій її протяжності та різні терміни експлуатації. Все це призводить до їх аварій та відмов. Тому ці питання були предметом досліджень багатьох відомих вчених. Вагомий внесок у цю галузь знань внесли О.Б. Айбіндер, О.Є. Андрейків, В.Л.Березін, Б.С. Білобран, П.П. Бородавкін, В.Я. Грудз, І.І. Капцов, В.І. Кир'ян, А.Я. Красовський, А.О. Кичма, Є.І. Крижанівський, Л.М. Лобанов, А.Я. Недосека, Г.М. Никифорчин, І.В. Орняк, В.А.Осадчук, Й.В.Перун, С.Г.Поляков, В.І. Похмурський, Є.В. Харченко, В.Ю.Чернов, Л.С.Шлапак та ін.

Значна увага приділена розгляду екстремальних ситуацій, які виникають в трубопроводах, що проходять через природні та штучні перешкоди, прокладені у гірських районах з різко змінними рельєфом місцевості та гідрогеологічних властивостей ґрунтів. Зокрема основні причини руйнування тривало експлуатованих трубопроводів можна об'єднати в основні блоки: руйнування внаслідок зміни поведінки територій з порушеною рівновагою; дефекти труб та зварних з'єднань, а також дефекти, що виникли під час будівельно – монтажних робіт; руйнування внаслідок експлуатаційних факторів і порушень правил експлуатації; корозійні пошкодження трубопроводів.

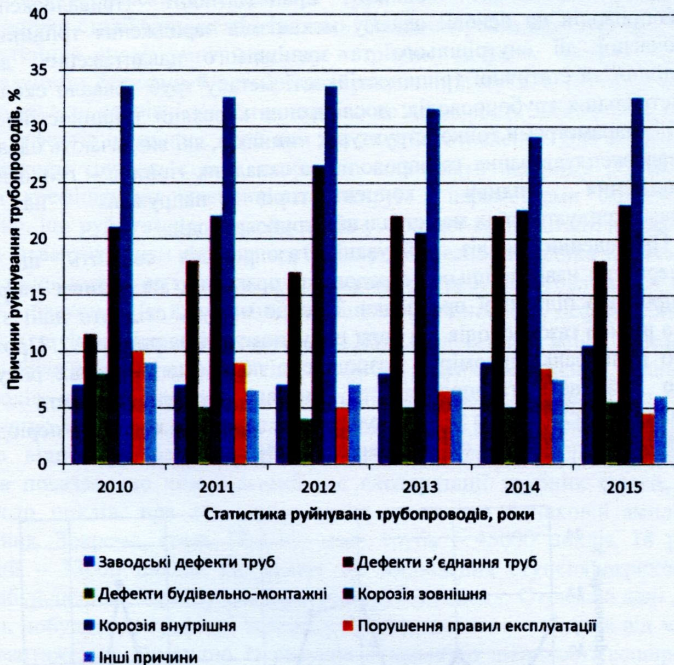


Рисунок 1 – Статистика руйнування трубопроводів протягом 2010-2015 років

Детальний аналіз причин аварій (рис.1) дозволив у багатьох випадках встановити безпосередній зв'язок джерела зародження руйнування будь – яким дефектом металургійного, виробничого, будівельно-монтажного або експлуатаційного характеру, який є концентратором напружень на внутрішніх і зовнішніх поверхнях труб.

Виконаний аналіз дозволяє стверджувати, що не зважаючи на велику кількість публікацій та технічних засобів, існуючий стан забезпечення працездатності тривало експлуатованих трубопроводів за складних інженерно – геологічних умов характеризується цілим рядом недоліків, що потенційно можуть призвести до загроз технологічній безпеці в нафтогазовому комплексі. Зокрема було встановлено недостатній розвиток теорії та практики оцінки одночасного впливу як внутрішнього, так і зовнішнього навантаження на трубопровід, зокрема в місцях порушеної рівноваги Землі.

За результатами проведеного аналізу за напрямом досліджень сформульовано мету дисертаційної роботи та основні завдання для її досягнення.

У другому розділі розроблено теоретико – методологічні засади формування методів оцінки працездатності тривалоексплуатованих трубопроводів на основі: аналізу механізмів зародження тріщини в умовах одночасної дії внутрішнього та зовнішнього навантаження; дослідження циклічної та статичної тріщиностійкості металу труб тривало експлуатованих магістральних трубопроводів; дослідження кореляції тріщиностійкості металу труб із параметрами тонкої структури; чинників, які визначають навантаженість тривалоексплуатованих газопроводів за складних гірничо – геологічних умов; дослідження впливу концентраторів напружень на міцність тривалоексплуатованих магістральних трубопроводів.

Проведений аналіз руйнувань газопроводів свідчить, що зниження температури навколишнього середовища практично не впливає на руйнування газопроводів підземної прокладки. Про це можуть свідчити дані з розподілу числа відмов газопроводів від пори року, наведені на рисунку 2. Протягом року число руйнувань рівномірно розподілено по місяцях і порах року. Середнє число руйнувань газопроводів за зимовий період становить – 24% від загального числа відмов за контрольований період, за весняний період – 29%, за літній період – 26% і за осінній період – 21%.

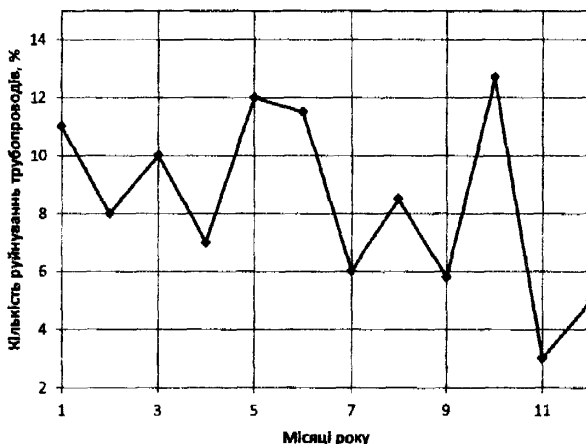


Рисунок 2 - Розподіл кількості руйнувань газопроводів підземної прокладки за порами року

Процес втомного руйнування газопроводів, характеризується стадіями зародження тріщини, повільного її розвитку до критичних розмірів і поширення тріщини з максимальною швидкістю. Початкова стадія (зародження тріщини) є найбільш вагомою, оскільки її запобігання може виключити руйнування труби взагалі. Однак практичні дії по виявленню тріщини на стадії її зародження не

завжди є технічно ефективними та економічно виправданими. Безліч різних форм і розмірів дефектів на стінках труб унеможливають здійснення кількісної оцінки стадії зародження тріщини. Завдання ускладнюється ще й тим, що математичний аналіз умов переходу в тріщину дефекту трубних сталей, навіть із заданими формами й розмірами, практично відсутній. До цього варто додати, що сучасні технічні засоби контролю не дозволяють забезпечити повне виявлення дефектів на стінках труб при їхньому виготовленні. Для визначення тріщиностійкості трубних сталей необхідно встановити надійний зв'язок між критичним коефіцієнтом інтенсивності напруг і параметрами окрихчення. Встановлено, що руйнування трубопроводів у процесі експлуатації пов'язане з циклічним навантаженням металу труб. Запропонована методика визначення циклічної тріщиностійкості металу досліджуваних труб, виготовлених зі сталі 17Г1С, Х52, базується на визначенні коефіцієнтів міцності C , деформаційного зміцнення n та інтенсивності напруг ΔK . Для дослідження зміни наведених показників були вирізані взірці з тіла труби та зварних кільцевих з'єднань з трубопроводів різних термінів експлуатації. З кожної марки сталі було виготовлено по 10 взірців. Випробування проводились з частотою коливання в 1 Гц, що відповідає режимам роботи трубопроводів. Аналіз отриманих результатів показав, що чим більший час експлуатації трубних сталей, тим менше число циклів, при яких вони руйнуються при однаковій амплітуді навантаження. Зокрема, сталь 17 Г1С: нова труба – 45000 циклів, 18 років експлуатації – 33000 циклів. Це вказує на збільшення ступеня окрихчення металу із збільшенням терміну експлуатації трубопроводу. Отримані дані дали можливість побудувати графічні залежності зміни довжини тріщини від числа циклів навантаження. Як видно із рисунка 3 характер швидкості поширення тріщини для різних марок сталей, як нових, так і тих, що знаходились тривалий час в експлуатації є різний.

Параметри циклічної тріщиностійкості металу досліджуваних труб визначаються за формулами:

$$\frac{dl}{dN} = C_{\sigma} (\Delta K)^{\sigma}; \quad (1)$$

$$\frac{dl}{dN} = C_e (\Delta K)^e,$$

де l – довжина тріщини; N – число циклів навантаження; C – коефіцієнт міцності; ΔK – коефіцієнт інтенсивності напруг; n – коефіцієнт деформаційного зміцнення; σ , e – індекси, що вказують на обчислення по напрузі й деформації.

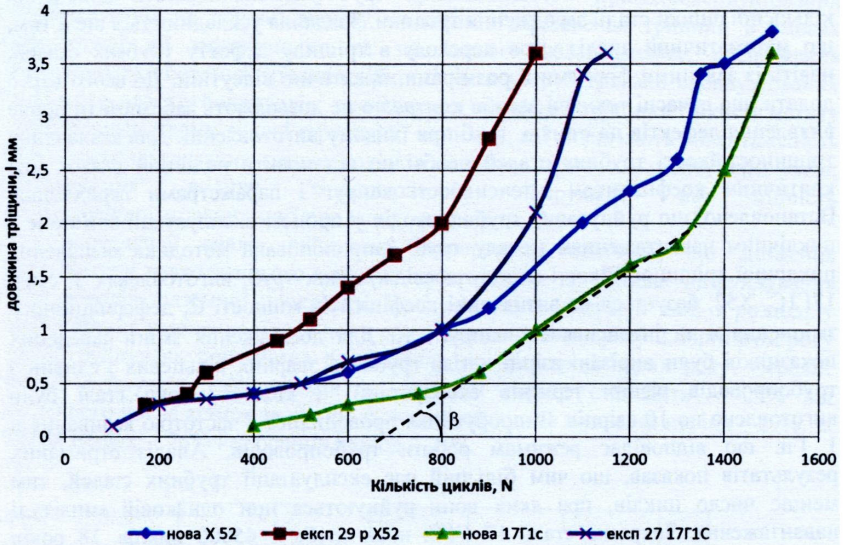


Рисунок 3 – Графік зміни довжини тріщини в залежності від кількості циклів навантаження

Для двох довільно обраних точок проводяться дотичні до графічної залежності зміни довжини тріщини від кількості циклів до руйнування і визначаються значення A_1 й A_2 :

$$A_1 = \left. \frac{dl}{dN} \right|_{l=l_1} = tg\beta_1; \quad (2)$$

$$A_2 = \left. \frac{dl}{dN} \right|_{l=l_2} = tg\beta_2.$$

Параметри циклічної тріщиностійкості металу досліджуваних труб визначаються за формулами.

$$n = \frac{\ln(A_1 / A_2)}{\ln(\Delta K_1 / \Delta K_2)}; \quad (3)$$

$$C = \frac{A_1}{(\Delta K_1)^n} = \frac{A_2}{(\Delta K_2)^n}. \quad (4)$$

Відносна похибка визначення коефіцієнта інтенсивності напруг не перевищує 0,5 % при $0 \leq l/L \leq 0,15$, де L – ширина зразка; l – глибина надрізу

плюс довжина тріщини. Отримані значення параметрів n , C , ΔK підставляються і визначається циклічна тріщиностійкість металу труб газопроводів за вищенаведеними формулами. Проведені оціночні розрахунки показують, що за наявності однакових концентраторів на зразках нових та тривалоексплуатованих труб і при середньому значенні коефіцієнта C для трубних сталей ($C \approx 0,15 \cdot 10^{10}$) величина коефіцієнта деформаційного зміцнення n змінюється з часом експлуатації газопроводів: для 17Г1С за 27 років – від 3,35 до 3,70 і для 14ХГС за 26 років – від 3,0 до 3,65. Виходячи з цього, при тривалій експлуатації газопроводів відбувається зниження опору металу труб крихкому руйнуванню.

Слід зауважити, що при зменшенні ступеня зниження руйнівних напружень від 0,92 до 0,87 за наявності тріщини в тривалоексплуатованих трубопроводах метал стає більш чутливим до тріщиноподібних дефектів і знижується опір розвитку тріщини. З отриманих даних видно, що в процесі тривалої експлуатації відбувається зменшення значення статичної тріщиностійкості трубних сталей. Це особливо помітно для трубної сталі 17Г1С.

Аналіз руйнування стінки труб тривалоексплуатованих магістральних газопроводів показує, що більшість аварій, пов'язаних із руйнуванням труб, відбувається в результаті повторно-статичних (малоциклових) навантажень. Тому малоциклова втома металу труб тривалоексплуатованих магістральних газопроводів представляє більш практичний інтерес, ніж статична тріщиностійкість. Характеристики малоциклової втоми визначали за результатами випробувань зразків із тріщиною, вирізаних із відповідних досліджуваних труб (нових та експлуатованих), в умовах повільного циклічного розтягу по пульсуючому циклі відповідно до рекомендацій РД 55-345-82 "Методи механічних випробувань металів. Визначення характеристик тріщиностійкості (в'язкості руйнування) при циклічному навантаженні". Результати досліджень показали, що причиною передчасного виходу з ладу газопроводу є локалізація двох концентраторів напружень, що знаходяться на зовнішній і внутрішній поверхнях зварних швів труби в одному перетині по товщині стінки, а також розташування їх поблизу від кільцевого зварного шва. Необхідно відзначити, що поза зоною дії загального концентратора напружень були виявлені одиничні пори великих розмірів і вм'ятини тієї ж величини, що і в зоні зламу, але які розташовувалися в наплавленому металі шва і не вплинули на руйнування.

Довговічність труб із поздовжньою тріщиною (або тріщиноподібними дефектами) в металі труб при циклічному навантаженні внутрішнім тиском визначається інтегруванням кінетичного рівняння малоциклової втоми:

$$N_{mp} = \int_{h_0}^{h_{kp}} \frac{dh}{f(K_{1c})} = \frac{h_0}{h_{kp}} \cdot \frac{h_{kp} - h_0}{e \left(K_{1e}^{(0)} \right)^{1/c}} \cdot K_n \quad (5)$$

де N_{mp} – число циклів навантаження до руйнування труби; h_{kp} – критична глибина тріщини, при якій відбувається розгерметизація або руйнування труби; h_0 – вихідна глибина тріщини; c і n – параметри кривої малоциклової втоми

матеріалу; K_n – коефіцієнт, що враховує динаміку зміни K_{10} ; $K_{1e}^{(0)}$ – критичний коефіцієнт інтенсивності деформацій при статичному навантаженні. Коефіцієнт інтенсивності пружно-пластичних деформацій $K_{1e}^{(0)}$ для зразків із тріщиною визначають:

$$K_{1e}^{(0)} = \left(\frac{K_1}{\sigma_m} \right)^{1 + \frac{1}{e}}. \quad (6)$$

Аналіз отриманих результатів коефіцієнта інтенсивності напружень (КІН) (рис. 4) показав, що у тривало експлуатованих трубопроводах при однакових зовнішніх та внутрішніх навантаженнях числове значення КІН менше, а при більшій довжині тріщини, зокрема 4 мм, існує дуже суттєва різниця - нова труба 500 МПа√м тривалоексплуатована - 480 та 400 МПа√м (4-10%), для 17 та 29 річних труб відповідно.

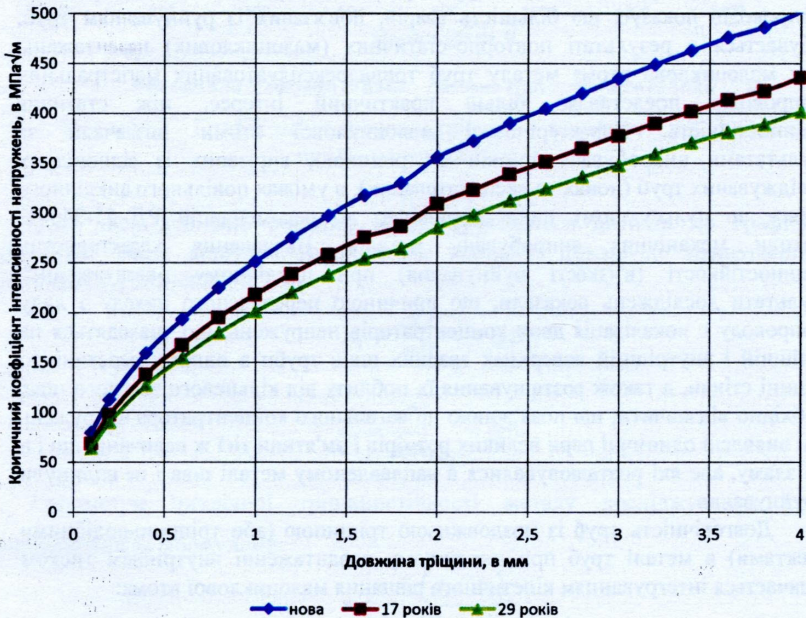


Рисунок 4 – Зміна коефіцієнта інтенсивності напружень від довжини тріщини та терміну експлуатації трубопроводу виготовленого із сталі 17Г1С

Відмінною особливістю руйнувань даних трубопроводів є ще й те, що поряд з поширенням поздовжньої тріщини виникають тріщини, перпендикулярні поздовжнім, тобто поперечні тріщини. Довжина поперечних

тріщин в окремих випадках сягає 300 - 500 мм. Основна причина таких руйнувань, як показали проведені дослідження - це відносно невисокий рівень тріщиностійкості основного металу і зварного з'єднання. Процеси, що протікають у металі труб у ході тривалої експлуатації, можуть впливати як на стандартні механічні властивості, так і на нестандартні, оцінювані по спеціально розроблених методиках. У зв'язку з цим, для оцінки стану металу труб після їхньої тривалої експлуатації проведено дослідження комплексу фізико-механічних характеристик, що дозволить оцінити опір руйнації металу в умовах, найбільш близьких до умов експлуатації.

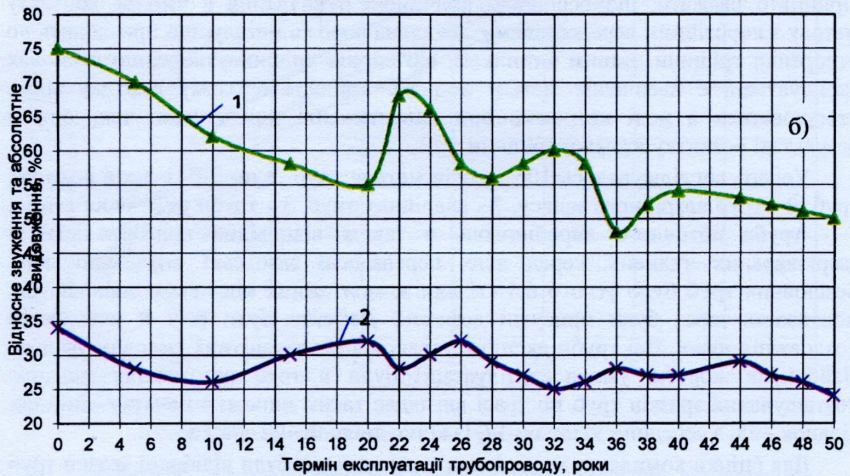
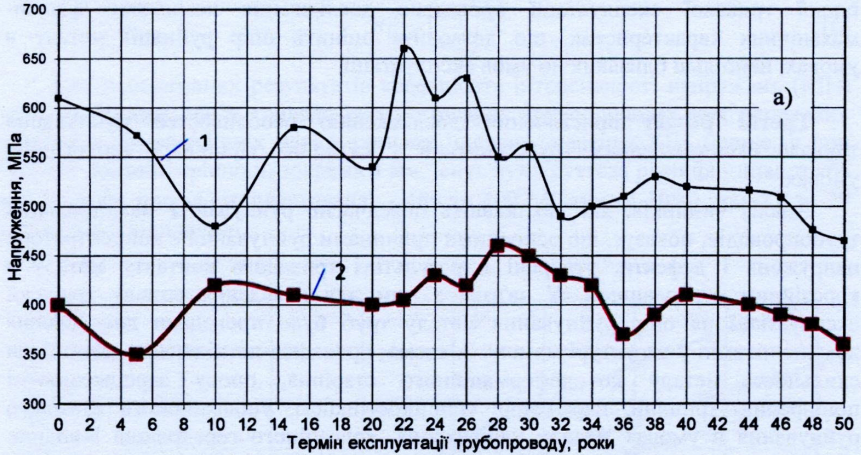
Третій розділ присвячений дослідженню особливостей руйнування тривало експлуатованих трубопроводів у складних гірничо - геологічних умовах.

Аналіз чинників, які викликають передчасне руйнування магістральних трубопроводів, показує, що основними причинами руйнування є концентратори напружень і дефекти, утворені в результаті тривалого контакту металу з корозійним середовищем. У зв'язку з цим для виявлення впливу тривалої експлуатації на опір руйнування металу труб було проведено дослідження локальних змін у структурі металу. Зокрема, проведені дослідження для оцінки схильності металу до деформаційного старіння, опору зародженню і поширенню тріщини, параметрів тріщиностійкості, уповільненого втомного руйнування в умовах впливу напруження, корозійного середовища і водню. Прийнято вважати, що основною причиною руйнування в умовах контакту металу з корозійним середовищем є локальна корозія металу, що призводить до утворення тріщини. Іншим чинником, що сприяє тріщиноутворенню в умовах експлуатації, є насичення металу воднем. Тріщина в цьому випадку може утворюватися в ході витримки при навантаженні нижче межі текучості в результаті розвитку втомної тріщини.

Усього досліджувалось 106 зразків металу труб. З них 86 зразків робочих труб, 9 - труб аварійного запасу, 7 - аварійних труб, 3 - труби резервних ниток; 1 - труба поточного виробництва, а також відповідна кількість зразків зварювальних з'єднань, серед яких переважали заводські поздовжні шви. Безшовних труб було усього 6 і стільки ж монтажних кільцевих швів. В усіх монтажних швах були присутні дефекти. Дефекти були й у 8 заводських поздовжніх швах. Всі труби експлуатувалися в різноманітних силових умовах. Найбільше жорсткі умови експлуатації були в труб на початку ділянок. Розташування зразків труб по трасі виглядає таким чином: з початку лінійних ділянок - 28, з середини ділянок - 17, із кінця ділянок - 22 зразка.

Для оцінки комплексу механічних властивостей були відібрані зразки труб і зварних з'єднань із сталі типу 17Г1С та 17ГС, взяті з діючих трубопроводів, аварійних котушок і аварійного запасу. Труби мали діаметри від 425 до 1220 мм і товщину стінки в межах (7-15,2) мм. Термін експлуатації складав від 4 до 60 років. За вихідний стан приймали властивості труб аварійного запасу з аналогічної марки сталі. Усереднення значень проводилося за числом

досліджуваних труб для кожного терміну експлуатації. Для металу труб значення границі міцності σ_b в інтервалі розкиду експериментальних даних (465-660) МПа (рис.5,а, крива 1), максимальне значення було зафіксоване на зразках труб, що експлуатувалися протягом 22 років - 660 МПа, поступове зниження границі міцності зафіксоване на зразках від 38 до 50 років експлуатації.

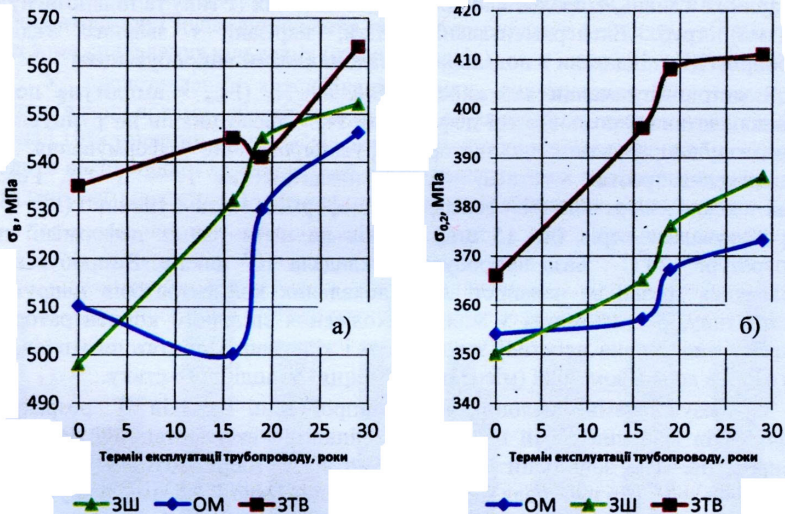


а- границя міцності 1 та границя текучості 2; б- відносне звуження 1 та абсолютне видовження 2

Рисунок 5 – Зміна механічних характеристик протягом тривалого терміну експлуатації трубопроводів

Аналогічні результати спостерігаються і для границі текучості $\sigma_{0,2}$ (рис.5,а, крива 2), де в межах розкиду він практично залишається постійним. Абсолютне видовження змінюється в межах (22-34,5)% (рис.5,б, крива 2), а відносне видовження - в межах (47-75)%. Таким чином, виявлено аномалію у механічній поведінці тривало експлуатованих труб, зокрема у різкому характері зміни характеристик пластичності. Зміна структурного стану металу труб під час тривалої експлуатації трубопроводів може бути пов'язано не тільки з процесом старіння, але і з процесом накопичення дефектів у результаті впливу напруг, корозійного середовища і водню. Аналогічні дослідження проводились і на зразках із кільцевим зварним з'єднанням.

Аналіз отриманих результатів показує, що відбувається зміцнення матеріалу зразка з кільцевим зварним з'єднанням тривало експлуатованого трубопроводу 19 – 29 років (рис.6). При дії повторно-статичних навантажень відбуваються незворотні процеси динамічного деформаційного старіння і поступового накопичення дефектів (мікропластичні деформації), які призводять до утворення мікротріщин.



а- границя міцності б- границя текучості

Рисунок 6 – Залежність границі міцності та границі текучості різних зон зварного з'єднання від періоду експлуатації магістрального трубопроводу

Провівши ряд експериментальних досліджень на мікротвердість як на внутрішній поверхні, так і на зовнішній поверхні досліджуваного зварного з'єднання труби виготовленої зі сталі 17Г1С, встановлено, що мікротвердість поблизу внутрішньої поверхні труби на 10-15 % вище, ніж поблизу зовнішньої поверхні труби. Ця відмінність особливо помітна у внутрішніх підрізах, звідки,

як правило, починають руйнуватися труби газопроводів. Таким чином, характеристики опору крихкому руйнуванню газопровідних експлуатованих сталей залежать від терміну служби, напрямку вирізки зразків і місця розташування концентраторів, структурного стану й властивостей сталі.

Необхідно відзначити, що в процесі повторно-статичних навантажень у метали експлуатованих труб утворюються необоротні мікропластичні деформації, що призводять до виникнення й розвитку мікротріщин. Зупинку розвитку окремих утомних тріщин у метали експлуатованих труб при повторно-статичних навантаженнях, можна пояснити релаксацією накопичуваної енергії біля вершини тріщини за рахунок утворення ділянок ковзання з довжинутою, меншою, ніж критична. Енергія також розсіюється за рахунок росту сусідніх тріщин. Якщо біля вершини тріщини утворюються ділянки ковзання критичних розмірів, то при подальшому навантаженні ділянки з деформованою структурою можуть, у свою чергу, стати областями підвищеної концентрації в металі, що сприяє подальшому розвитку тріщини.

У нашому випадку об'єктом дослідження були два типи зразків, вирізаних із зварних з'єднань, спіральшовних і прямошовних (I тип) та цільноотягнутих (II тип) труб. Експериментальні зразки, вирізані з зварних з'єднань трубопроводів, піддавали в подальшому малоцикловим випробуванням.

З метою отримання залежностей $E_{\text{пла}}$ - $N_{\text{ц}}$ ($E_{\text{пла}}$ - амплітуда повної пружнопластичної подовжньої деформації, $N_{\text{ц}}$ - число циклів до руйнування) проводили випробування на повторне пружнопластичне деформування. Вид навантаження: розтяг - стиск, частота навантаження $H = 1$ Гц. Режим навантаження - жорсткий ($E = \text{const}$), цикл деформацій - симетричний ($PE = -1$). випробувалася серія (до 15 шт.) зразків на п'яти рівнях деформації при температурі $+20^{\circ}\text{C}$. База випробувань складала 10^5 циклів. Випробуванням піддавалися зразки за наявності двох локальних концентраторів напружень різного типу, розташованих у місці знаходження спільного концентратора: у першому випадку на перетині заводського і кільцевого монтажного швів, а в другому - в кореневому шві (місце притуплення) V-подібного стику.

За результатами малоциклових випробувань зразків і розрахунку коефіцієнтів інтенсивностей напружень оцінювали експлуатаційну надійність газопроводів. На зовнішній поверхні труби в місці розташування зони сплавлення зварного шва мала місце вм'ятини глибиною 1-1,5 мм, на внутрішній це дефект форми шва у виді натікання наплавленого металу без сплавки з ним. Таким чином, максимальний коефіцієнт концентрації напружень піддослідних труб високий і в першому випадку з внутрішньої сторони шва визначався за формулою:

$$K_r = (1 + 2\sqrt{\frac{t}{\rho}})(1 + 1,1h_2 \frac{(b_2/\delta_2)^2 + 1}{\delta_2} \sqrt{\frac{h_2}{\rho_2}})(1 + 1,1h_3 \frac{(b_3/\delta_3)^2 + 1}{\delta_3} \sqrt{\frac{h_3}{\rho_3}}), \quad (6)$$

де t , ρ - параметри пористості; b_2 , δ_2 , h_2 , ρ_2 ; b_3 , δ_3 , h_3 , ρ_3 - геометричні параметри спірального і кільцевого швів на внутрішній поверхні труби, відповідно.

У трубах II типу теоретичні коефіцієнти концентрації напружень на зовнішній і внутрішній поверхнях труби були різними і виражалися відповідно формулами:

$$K_{T1} = \left(1 + \frac{6H}{\delta}\right) \left(1 + 1,1h_5 \frac{(b_5/\delta_5)^2 + 1}{\delta_5} \sqrt{\frac{h_5}{\rho_5}}\right), \quad (7)$$

$$K_{T2} = \left(1 + 1,1h_4 \frac{(b_4/\delta_4)^2 + 1}{\delta_4} \sqrt{\frac{h_4}{\rho_4}}\right) \left(1 + 1,1h_6 \frac{(b_6/\delta_6)^2 + 1}{\delta_6} \sqrt{\frac{h_6}{\rho_6}}\right), \quad (8)$$

де H, δ - параметри вм'ятини; $b_4, \delta_4, h_4, \rho_4$ - геометричні параметри напливу зварного шва; $b_5, \delta_5, h_5, \rho_5$; $b_6, \delta_6, h_6, \rho_6$ - геометричні параметри кільцевого шва відповідно на зовнішній і внутрішній поверхнях труби.

Результати випробувань (зразки виготовлені з 5 труб кожної партії) показали, що труби I типу, всі концентратори яких перебували в зоні дії один одного, руйнувалися при числі циклів $N_{ц1} = 0,8 \cdot 10^2$, а труби II типу, локальні концентратори яких не взаємодіяли між собою і були розташовані в зоні дії загального концентратора, - при середньому значенні $N_{ц2} = 7,5 \cdot 10^3$. Локальні концентратори і місце руйнування також перебували в безпосередній близькості від зони сплавлення кільцевих (стикових швів).

У представлений класифікації групи аналізуються за результатами випробувань восьми об'єктів, що схильні до корозійних пошкоджень глибиною понад 10% товщини стінки. Слід зазначити, що корозійні дефекти були виявлені тільки на зовнішній поверхні труб в місцях наскрізних або закритих ушкоджень ізоляційного покриття. Отримані результати відображені на рис.7.

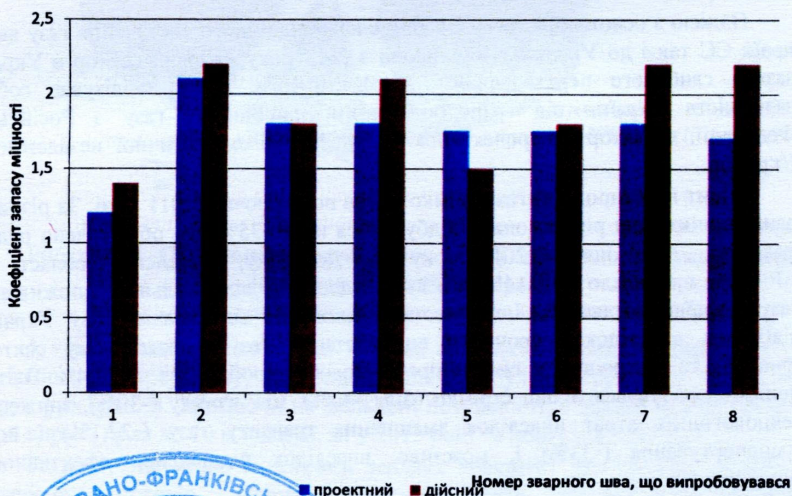


Рисунок 7. Значення проектного і дійсного коефіцієнтів запасу міцності випробуваних труб



При неможливості проведення ремонтних робіт, необхідне зниження робочого тиску у відповідності до розрахованих величин, що становить 70% від величини проектного тиску. З результатів гідралічних випробувань зварного шва видно, що проектний коефіцієнт запасу забезпечується при робочому тиску, рівному $p = 8 / 1,71 = 4,68$ МПа (86,7% від проектного тиску), тобто на 23,8% більший. Для інших зварних швів труб реальний запас міцності в порівнянні з проектним, виключаючи об'єкт № 1, де труба була доведена тільки до текучості металу, становить 0,6÷16%, (рис. 7), тобто фактично необхідна міцність труб забезпечується навіть у тому випадку, коли за діючими нормами потрібне проведення ремонтних або технологічних заходів щодо зниження робочого тиску.

У четвертому розділі розглядаються можливі сценарії транспортування газу газотранспортною системою України ГТС, що розглядається як складова частина гнучкої системи транспортування природного газу в умовах відкритого європейського ринку.

З'єднані у систему мережею газопроводів підземні сховища газу забезпечують високу надійність функціонування всієї газотранспортної системи України і гарантують безперервні поставки газу внутрішнім споживачам, а також транзит газу до Європи. ПСГ за своєю активною місткістю посідають друге місце серед країн Європи, суттєво випереджаючи такі країни, як Німеччина, Італія, Франція, Великобританія. Впродовж останніх років створюються нові перспективи та особливості транспортування газу діючою ГТС України.

Однією з основних задач - є забезпечення надійного постачання газу як до країн ЄС так і до України. Починаючи з 2013 року, газовий сектор в Україні зазнав глибокого перетворення з неефективного, що символізував собою залежність України від транспортованого природного газу з Російської Федерації, в сектор з перспективою забезпечення енергетичної незалежності України.

Попит на природний газ стрімко падав починаючи з 2011 році. За різними даними зниження рівня попиту відбувалося на 30-35%, що обумовлено рядом факторів. До початку 2013 року на Донецьку, Луганську області та АР Крим припадало біля 14%, 7% і 4% відповідно від загального споживання газу Україною (рис.8,а). Інша частина зниження споживання газу України відбулася внаслідок скорочення використання газу в житловому секторі (рис.8,б), та за рахунок зниження промислового виробництва на 27,4%. Влітку попит скорочувався більш стрімко (біля -40%), ніж взимку (-30%), зниження технологічних втрат внаслідок зменшення транзиту газу (-22,1%) і його транспортування (-33%) і, можливо, внаслідок підвищення ефективності моніторингу.

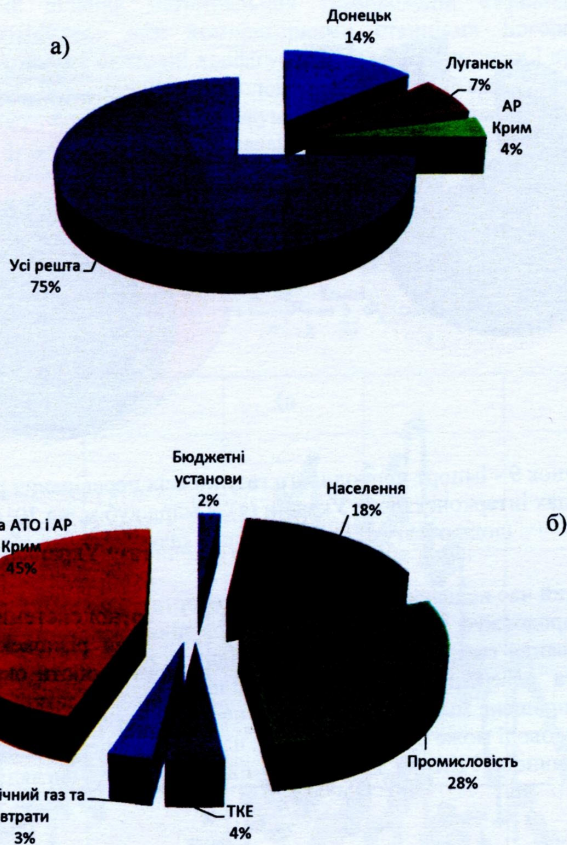


Рисунок 8 – Споживання природного газу (а) та чинники зниження попиту (б) протягом 2013-2016 років

А також слід зауважити, що Україна одночасно пережила практично 50% зниження імпорту газу, внаслідок чого відбулися ґрунтовні зміни його структури (рис.9). Зважаючи на звільнені потужності, з'явився імпорт із Заходу, що виріс з нуля до 10 млрд куб. м. у 2015 році та поступово зростає.

Технічно, це стало можливим завдяки значному збільшенню потужності реверсних потоків. Повна потужність всіх перевірених реверсних інтерконекторів дозволяє Україні імпортувати близько 22 млрд куб. м. газу на рік [з Угорщини: 16.8 тис. куб.м./добу; з Польщі: 4,3 тис. куб. м./добу; зі Словаччини: 40 тис. куб. м./добу].

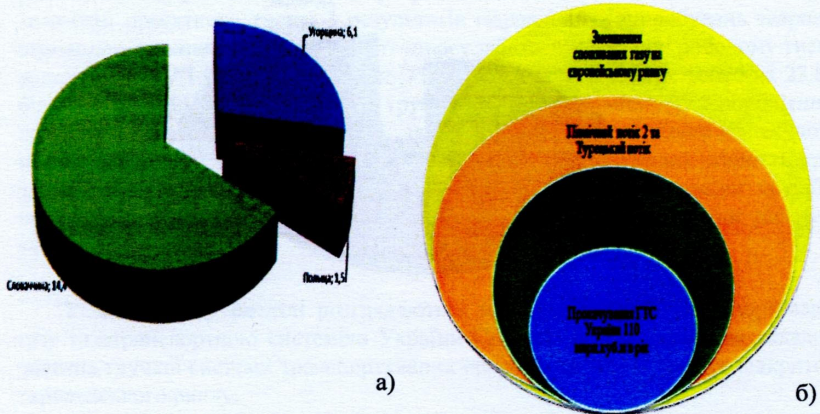


Рисунок 9 - Імпорт природного газу по всіх перевірених реверсних газопроводах інтерконекторах України (а), в млрд.куб.м. на 2016рік, та ризику, щодо обсягу транспортування газу Україною (б)

На даний час недовантаження газотранспортної системи України становить 42,4 % і продовжує збільшуватись. Враховуючи різновекторність напрямків транспортування газу, а при цьому необхідність роботи окремих ланок ГТС в аверсних та реверсних режимах є доцільним додаткове дослідження цих режимів. Спрощена математична модель нестационарного неізотермічного руху газу в газопроводі може бути побудована на основі диференціальних рівнянь руху газу, нерозривності і енергії, які у векторній формі мають вигляд:

$$\begin{aligned} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\lambda \cdot \rho \cdot w^2}{2 \cdot d} &= 0; \\ \frac{\partial P}{\partial t} &= -c^2 \cdot \frac{\partial(\rho \cdot w)}{\partial x}, \end{aligned} \quad (9)$$

де P – тиск, як функція лінійної координати x та часу t ; $\rho \cdot w$ – масова швидкість газу ($\rho \cdot w = M/F$); F – площа поперечного перерізу труби; d – внутрішній діаметр газопроводу; c – швидкість розповсюдження звукової хвилі в газі; M – масова витрата газу.

Коефіцієнт лінеаризації:

$$2a = \frac{\lambda \cdot w}{2 \cdot d}, \quad (10)$$

де w – середня по довжині і усереднена в часі лінійна швидкість; λ – коефіцієнт гідравлічного опору.

Для проведення досліджень вибрана західна частина газотранспортної системи, а саме ділянка магістральних газопроводів «Уренгой-Помари-Ужгород» та «Прогрес» між компресорними станціями Богородчани та Воловець, що відповідає складній конфігурації загальної системи і проходить в максимально складних гірничо – геологічних умовах Карпат при значних перепадах рельєфу. Крім того, слід зауважити, що як низькочастотні, так і високочастотні циклічні коливання навантаження на стінку трубопроводу є змінними протягом значного проміжку часу (наприклад, року). В зв'язку з цим її визначення можливе тільки на основі математичного моделювання нестационарних процесів трубопровідного транспорту газу, зокрема визначення зміни напружень (рис. 10) за нижче наведеною формулою:

$$\sigma(x,t) = \frac{d}{2 \cdot \delta} \cdot (P(0,t) + \frac{c^2}{F} \cdot \left[-\frac{M_{cp} - M_1}{L} \cdot t + \frac{2 \cdot M_{cp} \cdot L}{\pi^2 \cdot \chi} \sum_{n=1}^{\infty} \Phi_n \cdot \cos \frac{\pi \cdot n \cdot x}{L} \cdot (1 - e^{-\frac{\pi^2 \cdot n^2 \cdot \chi \cdot t}{L^2}}) \right]) \quad (11)$$

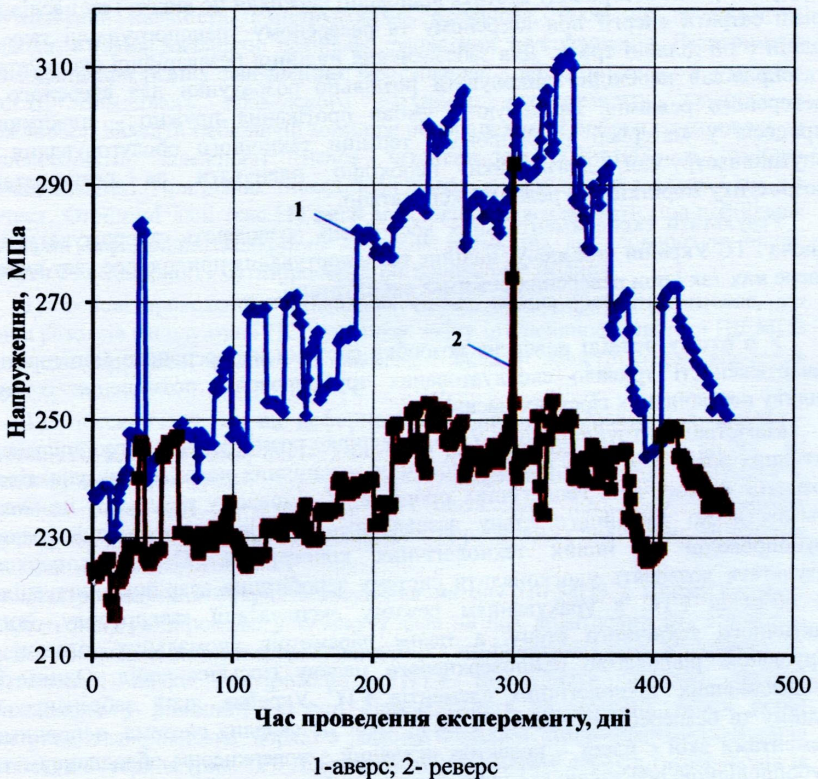


Рисунок 10 - Напруження, що виникають у газопроводі «Прогрес» протягом дослідного періоду, з урахуванням добової нерівномірності споживання газу у аверсному (1) та реверсному (2) режимах транспортування

Тому за зміною напружень в газопроводі можна аналізувати про перебіг газодинамічних процесів. Також тиск газу впливає на напружений стан металу труби, а характер зміни напружень на втомні процеси в матеріалі.

Аналізуючи отримані дані слід зауважити, що амплітуда зміни напружень на початку ділянки газопроводу «Уренгой-Помари-Ужгород» у 2013 р. становила 16 %, в кінці ділянки –26 %. За 2014 р. амплітуда коливань на початку ділянки становила 14 %, а в кінці ділянки 20 %. Зміна напружень на ділянці газопроводу «Прогрес» в 2013 р. становила: на початку ділянки 16 %, в кінці ділянки 22 %. Ці ж параметри у 2014 р. становили: на початку ділянки 17 %, в кінці ділянки 19 %. Різниця напружень в одному й тому січенні газопроводу «Прогрес» при аверсному та реверсному режимах складає приблизно 20% (рис.10).

В складних гірничо – геологічних умовах при значній зміні рельєфу профіль траси газопроводу містить відповідні перепади по висоті і як наслідок є різні затрати енергії при аверсному та реверсному транспортуванні газу на одній і тій ділянці траси. Для забезпечення надійної безаварійної експлуатації газопроводів необхідно виконувати роздільно розрахунки для аверсного та реверсного режимів. Враховуючи умови протікання пружно – пластичних процесів у матеріалі трубопроводу терміни технічного обслуговування та внутрішньотрубною діагностики необхідно планувати за результатами розрахунку жорсткішого режиму експлуатації.

Результати експериментальних досліджень дозволяють стверджувати, що діюча ГТС України забезпечує надійне транспортування природного газу як при аверс них так і при реверсних режимах експлуатації.

У п'ятому розділі наведена розробка системи неперервного моніторингу завантаженості тривало експлуатованих трубопроводів розміщених в зоні впливу нестабільних гірських масивів.

Магістральні трубопроводи України нерідко розміщуються в геодинамічно активних зонах і можуть піддаватись діям механічних навантажень унаслідок розвитку небезпечних геологічних процесів. У кінцевому результаті це може призвести до аварійного стану зазначених об'єктів, зокрема руйнування трубопроводів та інших технологічних конструкцій. Отримані наукові результати дозволять удосконалити систему запобігання аварійним ситуаціям на об'єктах ГТС з урахуванням режиму експлуатації газопроводу, його фактичного технічного стану, а також параметрів аномальних ділянок з порушеною рівновагою приповерхневого масиву гірських порід. Одним із найважливіших технологічних елементів ГТС України, який забезпечує її надійну та безперебійну роботу, є ПСГ. ПСГ це складна система, основними елементами якої є пласт – колектор зв'язаний з поверхневим обладнанням та трубопровідною обв'язкою сховища. Режими роботи цих об'єктів на відміну від газових родовищ нестабільні в часі, що ускладнює їх працездатність. Навантаження на трубопроводи змінюються під впливом факторів порушених

земель ПСГ. Для забезпечення експлуатаційної надійності трубопроводів необхідно здійснювати моніторинг їх навантаженості. Вивчення ПСГ методом дослідження природніх імпульсів електромагнітного поля Землі (ПЕМПЗ) дало можливість отримати уточнену інформацію щодо розподілу підвищеного напружено-деформованого стану (НДС) гірських порід і зон релаксації напружень для визначення меж території з можливим розвитком деформаційних процесів, а також визначити просторову неоднорідність в загальному полі механічних напружень. Для визначення впливу локальних глибинних напружень на зміну інтенсивності ПЕМПЗ на різних глибинах гірської породи проводили дослідження на об'єктах УМГ «Прикарпаттрансгаз».

Розглядалися трубопроводи, що підходять до ПСГ, глибина газосховища 1150-1250 м. Для цього проведені експериментальні дослідження з використання методу ПЕМПЗ на трубопровідній об'язці Богородчанського ПСГ (рис.11, а). Зокрема була вибрана ділянка неподалік ПСГ, вибір її обумовлений наявністю конструктивних елементів, таких як повороти та відводи, а також наявністю чотирьох транзитних трубопроводів. Експеримент проводили при різних заповненнях газосховища, тобто при різних внутрішніх тисках. Важливість проведеного натурного експерименту полягала в можливості виявити небезпечні зони при різних режимах роботи газопровода та прослідкувати залежності зміни інтенсивності ПЕМПЗ зі зміною навантаженості. При різних тисках порівнювались результати в одних і тих же точках. Отримані дані (рис.11) дали можливість стверджувати, що найбільше аномалій зафіксовано конкретно на таких елементах як поворот та відвід (пікети 197-203, рис.11 б) газопроводу Богородчани – Долина.

На основі проведеної порівняльної оцінки можна зробити висновок, що зміна режимів експлуатації ПСГ викликає зміну інтенсивності частоти ПЕМПЗ в місцях гірського масиву де розміщені складні конструктивні елементи трубопроводів.

Це пояснюється тим, що деформації трубопроводу передаються гірському масиву. Порушення цілісності гірського масиву посилює цей вплив, як концентратор напружень. Таким чином використання методу ПЕМПЗ є надійним чутливим інструментом для виявлення локальних глибинних напружень, що виникають на територіях з порушеною рівновагою, незалежно від природи їх виникнення.

Для розширення сфери застосування методу ПЕМПЗ з метою експрес-аналізу стану газопроводів у зв'язку з дією на них додаткових сил проведені експериментальні дослідження щодо вимірів інтенсивності поля на ділянці, де розташовані нитки газопроводів «УПУ» та «Союз». Ділянка зйомки знаходилась у рівнинній частині Передкарпаття на правому березі річки Бистриця-Надвірнянська поряд з автомагістраллю Івано-Франківськ-Яремча біля села Бистриця (рис. 12). Ділянка зйомки включала перехід газопроводів із надземного простягання в підземне.

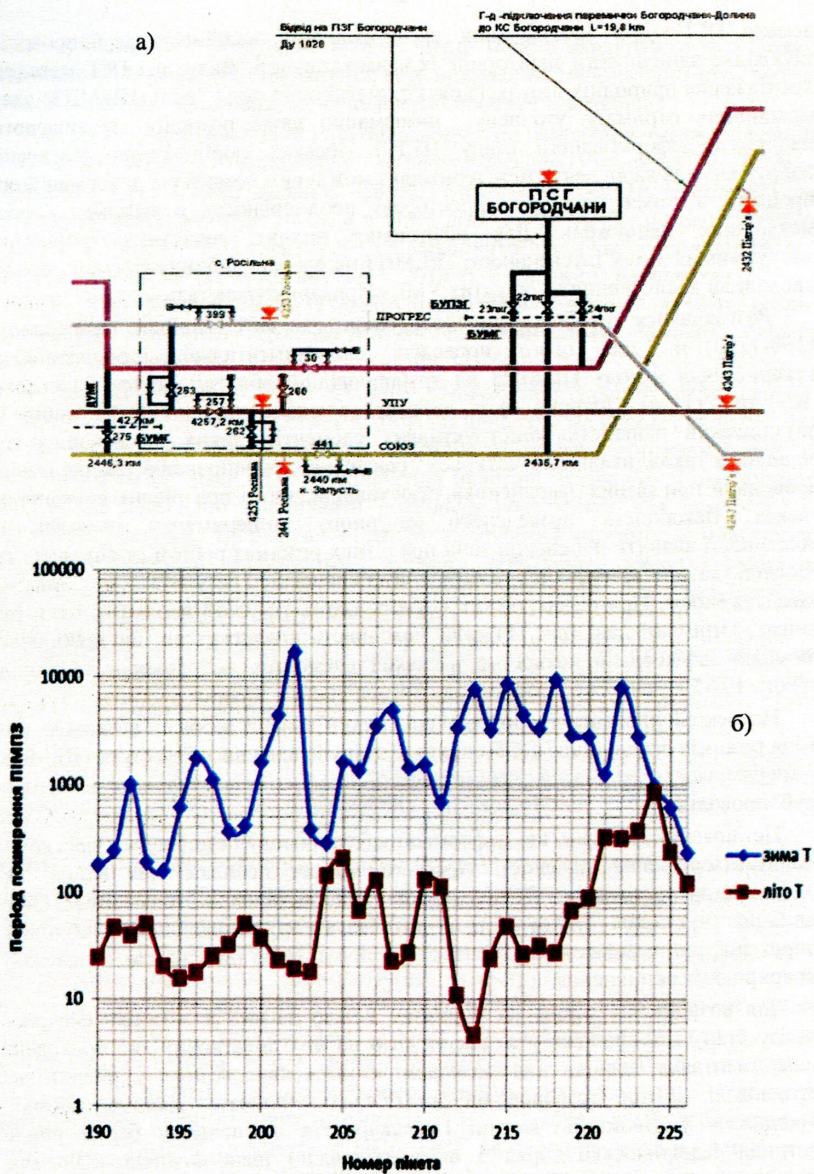


Рисунок 11 - Технологічна схема об'язки трубопроводів на ПСГ (а),
інтенсивності ПІЕМПЗ (б).

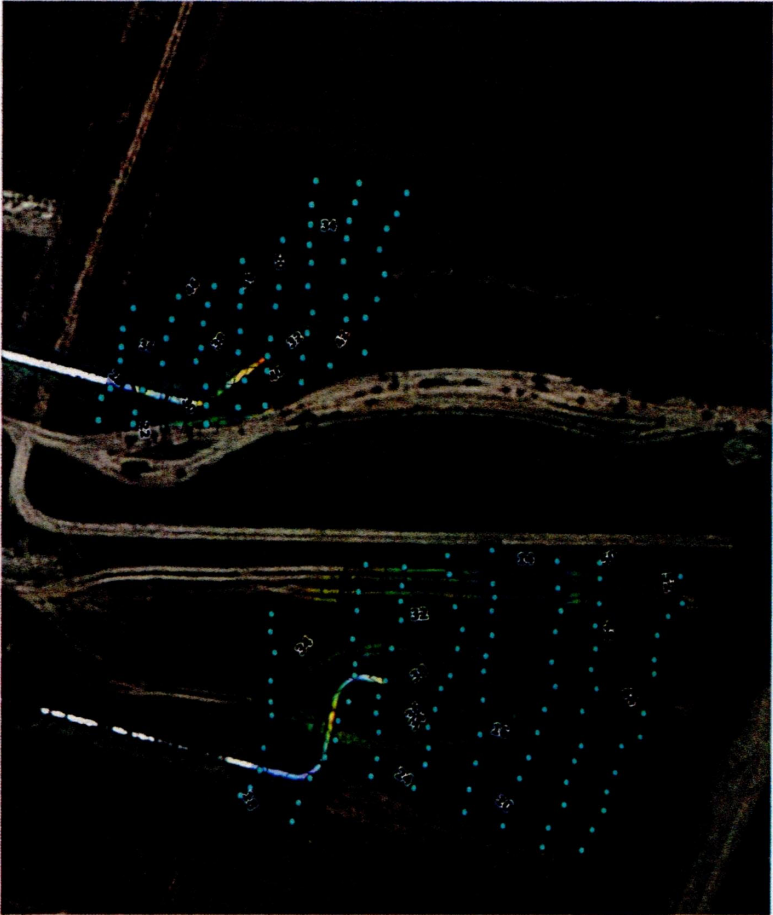
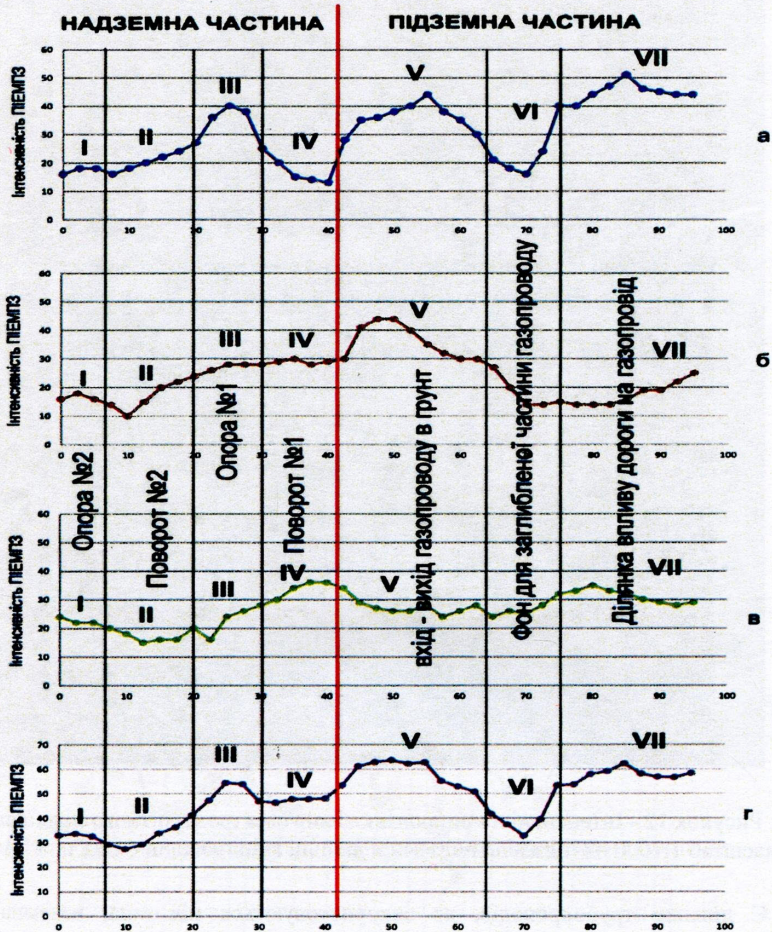


Рисунок 12 - Інтенсивність випромінювання електромагнітного поля Землі, масштаб 1:1000 на підземно надземній ділянці газопроводів Союз та УПУ

Є ділянки трубопроводів, де використовуються підземна, наземна та надземна схеми укладання. На газопровід як на підземних ділянках, так і на ділянках надземних переходів діють зовнішні сили. Розподіл цих сил є нерівномірним. Додаткові навантаження з'являються у зв'язку з дією геологічних процесів, насамперед, зсувів, просідань поверхні, суфозії, землетрусів, порушень фізичних властивостей ґрунту внаслідок зміни кліматичних умов та техногенних навантажень.

Перевищення інтенсивності поля фонових модельних значень розглядається як аномалія, пов'язана з наявністю додаткового силового навантаження. Результати аналізу, спрямованого на виділення аномалій для території зйомки газопроводу «УПІУ», наведені на рисунку 13.



а - антена Ix; б - антена Iy; в - антена Iz; г - повний вектор T.
 Рисунок 13 - Графіки інтенсивності поля вздовж нитки газопроводу
 Уренгой – Помари – Ужгород

Додаткове силове навантаження спостерігається для всіх конструктивних елементів, а також для зони входу-виходу газопроводу на поверхню. Зазначені елементи потребують додаткових досліджень, а також режимних спостережень. Зона входу-виходу газопроводу завжди перебуває в полі додаткових навантажень. Класифікація визначених аномалій за величиною та формою свідчить про наявність фонових модельного поля з відповідними характеристиками, а також про наявність аномальних перевищуючих фонових значень інтенсивності на окремих опорах та перегибах. Елементи ниток газопроводів, що розташовані в таких аномальних зонах, потребують додаткових діагностичних досліджень механічних напружень.

Наведені результати досліджень дозволяють стверджувати, що метод ПЕМПЗ є ефективним і відповідно перспективним на попередньому етапі досліджень. Подальше застосування його на ділянках газопроводів дозволить перейти від окремих класифікаційних схем до узагальненої науково обґрунтованої методичної основи нового діагностичного методу контролю надійності експлуатації газопроводів.

У шостому розділі наведені теоретичні та експериментальні дослідження безпечної експлуатації трубопроводів, що проходять у спільних технічних коридорах.

У ВБН В.2.3-00013741-10:2009. «Магістральні трубопроводи. Будівництво. Лінійна частина. Надземні переходи» визначено, що технічний коридор: «Це земельна ділянка, в межах якої проходить система паралельно прокладених трубопроводів і комунікацій, обмежених з обох сторін охоронними зонами».

Сучасні магістральні газопроводи діаметром до 1420 мм з робочим тиском до 10 МПа і довжиною в тисячі кілометрів є вибухопожежонебезпечними. Їх руйнування приводять до великомасштабних екологічних збитків, в першу чергу через механічні та термічні пошкодження природного ландшафту.

Статистика показує, що близько 80% аварій супроводжуються великими пожежами та вибухами. Іскри виникають в результаті взаємодії частинок газу з металом і твердими частинками ґрунту.

Небезпека аварійного руйнування трубопроводів посилюється, якщо вони знаходяться в одному технічному коридорі. Аварійний викид газу на одному магістральному газопроводі може викликати пошкодження сусідніх газопроводів внаслідок ударної хвилі і тим самим спровокувати нові вибухи. Для забезпечення безаварійної експлуатації та зменшення втрат під час аварій необхідно визначати радіус потенційного впливу (РПВ) газопроводу – це відстань негативного руйнівного впливу на сусідні об'єкти в горизонтальній площині.

Формула для визначення РПВ розроблена Американським нафтовим інститутом, має наступний вигляд:

$$r = 0,69 \cdot D \cdot \sqrt{p}, \quad (12)$$

де: r – радіус потенційного впливу, фут (1 фут = 0,3048 м.);

p – максимальний внутрішній робочий (експлуатаційний) тиск в газопроводі, фунт/дюйм² (1фунт/дюйм²= 6834,76Па);

D – зовнішній діаметр газопроводу, дюймах (1 дюйм=0,0254м).

В штаті Огайо виникла аварійна ситуація, внаслідок якої стало відомо, що РПВ, розрахований за цією формулою був заниженим на 25%. Аналогічні розбіжності отримані при визначенні РПВ при руйнуванні інших газопроводів.

Реальні умови експлуатації можуть сприяти як збільшенню РПВ, так і його зменшенню. Визначимо РПВ для газопроводів «Уренгой – Помари – Ужгород» та «Прогрес», що проходять в спільному технічному коридорі при розриві на повний переріз за формулою 12 (рис.14).

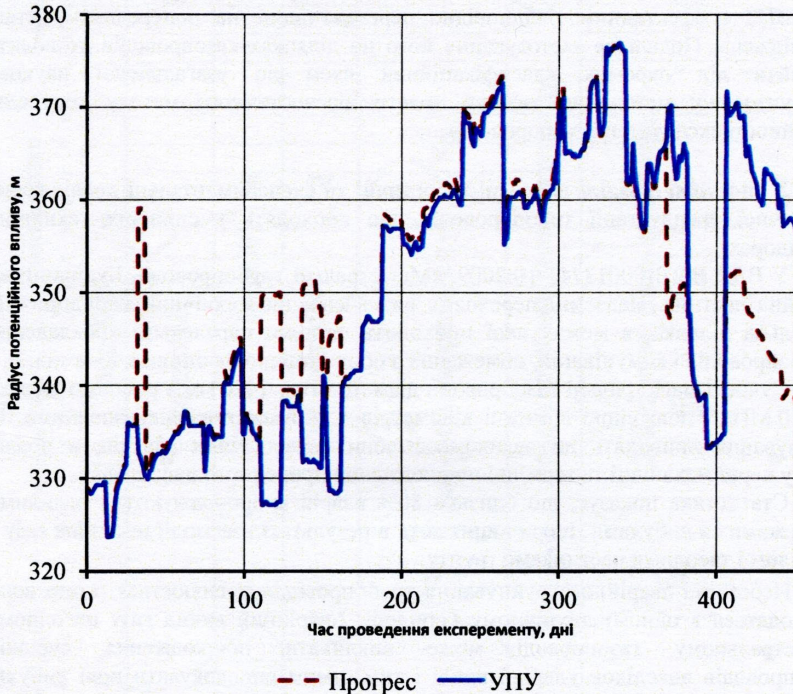


Рисунок 14 – Радіус потенційного впливу при руйнуванні трубопроводів, що проходять в одному технічному коридорі

Підземні газопроводи, розташовані в спільних технічних коридорах, покриті шаром природного ґрунту. При вибухах (рис.15) діє надлишковий тиск ударної хвилі, який приводить до руйнування ґрунтового покриття з утворенням воронки. Надлишковий тиск викликає напруження стиску в прилеглому ґрунтовому масиві.

Природні ґрунти відносяться до матеріалів з малою в'язкістю і характеризуються значно більшою міцністю на стиск, ніж на розтяг, що пояснюється проявом внутрішнього кулонового тертя, яке описується гіпотезою Мора – Кулона. Внутрішнє кулонове тертя сприяє утворенню дотичних напружень, які поверхню деформування (поверхня Кулона) у дограничній стадії відхиляють від осі дії нормальних напружень. Для природного ґрунту поверхня деформування за формою нагадує коноід. У фазі руйнування поверхня деформування стає поверхнею зсуву.

В площині деформування діють осьові і радіальні напруження, які зв'язані відповідними залежностями:

$$P_1 = \frac{1}{2} \cdot (\sigma_1 + \sigma_3), \quad q = \frac{1}{2} \cdot (\sigma_1 - \sigma_3), \quad (13)$$

де σ_1, σ_3 – головні напруження стиску при навантаженні в умовах плоскої деформації (σ_1 – напруження від ударної хвилі, $\sigma_1 = \alpha \cdot P_1$, σ_3 – тиск шару ґрунту на трубопровід, $\sigma_3 = \rho \cdot g \cdot h$);

P_1 – середній тиск у випадку плоскої деформації (від ударної хвилі);

q – міра дотичних напружень (від внутрішнього тертя);

α – коефіцієнт опірності ґрунту;

ρ – густина ґрунтового покриву газопроводу, кг/м^3 ;

h – висота ґрунтового покриву газопроводу, м;

g – прискорення земного тяжіння, м/с^2 .

Поверхня ковзання відхиляється від горизонталі на кут φ (рис.15), який є мірою внутрішнього тертя в ґрунті і визначається залежністю:

$$\text{tg } \varphi = \frac{\sigma_3}{\sigma_1}; \quad (14)$$

Вплив реальних умов експлуатації враховуємо коефіцієнтом K_p і тоді формула (12) адаптована до системи одиниць вимірювання SI має вигляд:

$$r = 99 \cdot D \cdot K_p \cdot \sqrt{p}, \quad (15)$$

де r – радіус потенційного впливу, м;

p – максимальний робочий (експлуатаційний) тиск, МПа;

D – зовнішній діаметр газопроводу, м;

K_p – коефіцієнт який враховує реальні умови експлуатації газопроводів.

Коефіцієнт реальних умов експлуатації (K_p) визначається за формулою:

$$K_p = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (16)$$

де: K_1 – коефіцієнт, який враховує напружений стан поверхневого шару земельної ділянки;

K_2 – коефіцієнт, який враховує режим експлуатації трубопроводу;

K_3 – коефіцієнт, який враховує технічний стан трубопроводу.

Коефіцієнт напруженого стану (K_1) враховує властивості поверхневого шару ґрунтового масиву в місці прокладання газопроводу. РГПВ визначений за формулою (15) вимірюється в площині ковзання а реальна величина його діє на поверхні Землі.

поверхня Землі

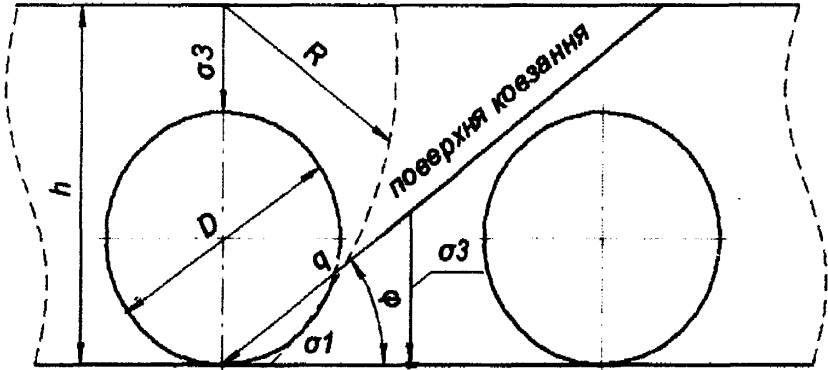


Рисунок 15 – Схема дії напружень при вибуху на підземному газопроводі в технічному коридорі

Цю різницю враховує коефіцієнт K_1 і визначається за формулою:

$$K_1 = \cos\varphi. \quad (17)$$

Для нових газопроводів, що експлуатуються при частотах менших за 0,3 Гц, коефіцієнт $K_2=1$, при частотах $\geq 0,3$ Гц даний коефіцієнт $K_2=1,05$. Тривалоексплуатовані трубопроводи при частоті $\geq 0,3$ Гц $K_2=1,1$, при частоті $<0,3$ Гц $K_2=1,05$. Якщо після проведення внутрішньотрубно́ї діагностики трубопроводу відсутні дефекти накопичені від втоми та корозії то коефіцієнт що враховує технічний стан трубопроводу дорівнює одиниці ($K_3=1$). Якщо дефекти виявленні, то вони можуть розвиватися при втомних режимах, тоді $K_3>1$ та залежить від їх кількості та розмірів. ($K_{3\max}=1,2$).

Надземні газопроводи – це переходи через природні та штучні перешкоди, які знаходяться в спільному технічному коридорі володіють більшою небезпекою щодо враження сусідніх газопроводів при вибуху на одному з них. Крім того вони володіють підвищеною небезпекою щодо реалізації диверсій та терористичних актів, ймовірність яких зростає підчас гібридної війни. Так 12 травня 2014 року виникла розгерметизація на повітряному переході магістрального газопроводу "Уренгой - Помари - Ужгород" (4268,4 км.) через

р. Лімниця. При обстеженні тіла труби було виявлено вм'ятину овальної форми 300 та 285 мм, глибиною 49 мм, в центрі вм'ятини наскрізна тріщина довжиною 70 мм з розкриттям до 4,0 мм на відстані 2870 мм в місці кільцевого зварного шва між другим та третім сегментними відводами (по ходу газу) на вході повітряного переходу МГ «У-П-У» через р. Лімниця. В місці відмови відсутні корозійні чи інші дефекти, що підтверджується даними внутрішньотрубною діагностики, та візуальних обстежень. Спеціальна комісія вважає що причиною відмови є механічне пошкодження трубопроводу ззовні, внаслідок дії вибухового пристрою невідомої конструкції, що призвело до утворення даного пошкодження.

Для підвищення надійності експлуатації надземних магістральних газопроводів у спільних технічних коридорах необхідно підвищити їх стійкість щодо вибухів, а також зменшити ймовірність враження сусідніх газопроводів при вибуху на одному з них. Відомо, що ефективно протидіє спонтанному росту тріщини в стінці газопроводу - це зміцнення його зовнішньої поверхні композиційними полімерними матеріалами (КПМ). При локальному пошкодженні стінки і розгерметизації газопроводу зміцненого КПМ, відбувається вихід газу, який і при зовнішньому загоранні не супроводжується внутрішньотрубним вибухом. Якщо такий потужний вогняний струмінь направлений в сторону сусіднього газопроводу, то велика ймовірність його пошкодження. В такому випадку для ефективного захисту сусідніх газопроводів необхідно встановлювати, в проміжку між ними, екрануючі інженерні споруди. Таку роль можуть виконувати спеціально споруджені проміжні резервні байпаси.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено важливу наукову – прикладну проблему забезпечення працездатності тривалоексплуатованих газопроводів за складних гірничо - геологічних умов шляхом розроблення методу оцінки їх технічного стану з урахуванням аверсно – реверсних режимів експлуатації, вдосконалення методики виявлення найбільш небезпечних ділянок та їх моніторинг, підвищення безпеки їх експлуатації у спільних технічних коридорах. Висновки, які узагальнюють результати виконаних досліджень, полягають у наступному:

1. Показано, що для забезпечення диверсифікації постачання природного газу до України з різних європейських джерел газотранспортна система України експлуатується в складних гірничо - геологічних умовах при режимах, які часто відрізняються від проектних – це аверсні або реверсні режими.

2. Встановлено механізми зародження та розвитку тріщини в умовах одночасної дії внутрішнього та зовнішнього навантажень, при наявності локальних дефектів конструктивних елементів. В період експлуатації трубопроводів з 18 до 30 років в зонах зварного з'єднання відбувається деформаційне зміцнення металу труби, а також вирівнюється його мікроструктура. Залишковий ресурс визначений за фактичним технічним станом

тривалоексплуатованого трубопроводу дає можливість експлуатувати його понад запланований амортизаційний термін.

3. Експериментально доведено, що ГТС України забезпечує надійне транспортування природного газу як при аверсних так і при реверсних схемах експлуатації. Для прогнозування експлуатаційних режимів необхідно роздільно виконувати розрахунки трубопроводів при аверсному та реверсному транспортуванні. Терміни технічного обслуговування та внутрішньотрубною діагностики необхідно визначати за результатами розрахунку жорсткішого режиму експлуатації.

4. При спорудженні траншеї для укладання магістрального трубопроводу порушується рівновага напруженого стану гірського масиву, яка є концентратором і формує джерела додаткових напружень, що можуть спровокувати зсуви або інші небезпечні геодинамічні процеси. Встановлено, що дослідження ПЕМПЗ є надійним методом оцінки навантаженості на елементи трубопроводів прокладених в складних гірничо – геологічних умовах.

5. Розроблено заходи підвищення безпеки експлуатації трубопроводів у спільних технічних коридорах шляхом :

- використання в якості захисних інженерних споруд проміжних резервних байпасів;
- зміцнення зовнішньої поверхні надземних ділянок трубопроводів композиційними полімерними матеріалами;
- скерування надлишкового тиску від ударної хвилі при вибуху мимо сусіднього трубопроводу за рахунок внутрішнього тертя в ґрунті.

За результатами проведених досліджень створені математичні моделі та запропоновані методи й алгоритми їх реалізації, узагальнені в галузевих методиках, впровадження яких на газопроводах трансукраїнської системи показали адекватне співвідношення між прогнозними та фактичними параметрами.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Taraevskyy O. Research on exploitation of gas pipelines at areas crossing the natural and artificial obstacles by the method of natural pulse of electromagnetic field of the Earth (NPEMFE) // Metallurgical and mining industry. – 2016. –№12. – P.36-38.

2. Taraevskyy O. Reliability process of long-term operated gas pipelines in difficult mining and geological conditions // Metallurgical and mining industry. – 2016. –№8. – P.22-26.

3. Taraevskyy O. Aspects of research of indicators of emergency risk of long-term operating pipelines // Metallurgical and mining industry. – 2016. –№5. – P.22-25.

4. Krizhanivskiy E., Mykhalkiv V., Taraevskiy O. Influence of change of gas transportation mode on the stress condition of gas pipeline // Metallurgical and mining industry. – 2016. – №3. – P.33-36.

5. Mikhalkiv V., Tarayevs'kyi O. Influence of gas transport volumes reduction on gas pipeline stress state // Metallurgical and mining industry. – 2016. – №1. – P.49-52.

6. Krizhanivskiy Ye. I., Tarayevs'kyi O.S., Makovkin O.M. Research on pipelines elements strength with stress raisers in the area of slide // Metallurgical and mining industry. – 2015. – №10. – P.202-204.

7. Krizhanivskiy Ye. I., Tarayevs'kyi O.S. Factors determining the intensity of loading of long operated gas pipelines under complex mining and geological conditions // Metallurgical and mining industry. – 2015. – №8. – P.516-520.

8. Tarayevs'kyi O. Calculation models aspect for pipelines joint welds evaluation for the purpose of their endurance life increasing // Metallurgical and mining industry. – 2015. – №4. – P. 91-93.

9. Tarayevs'kyi O. Key factors determining state of metal pipe during operation of main oil and gas pipeline // Metallurgical and mining industry. – 2015. – №2. – P. 62-66.

10. Тарасівський О. Дослідження несучої здатності магістральних трубопроводів за складних умов // Нафтогазова галузь України. – 2014. – №6. – С. 27-30.

11. Тарасівський О. Деякі аспекти технічного стану магістральних трубопроводів із урахуванням їх тривалої експлуатації // Нафтогазова галузь України. – 2014. – №6. – С. 43-46.

12. Tarayevs'kyi O. Influence of main pipelines continuous exploitation on their physical and chemical properties // Metallurgical and mining industry. – 2013. – №3. – P. 68-73.

13. Тарасівський О. Оцінка на міцність працездатності кільцевих зварних з'єднань труб із корозійними дефектами // Нафтогазова галузь України. – 2013. – №6. – С. 33-37.

14. Tarayevs'kyi O. Evaluation of circular welds strength capacity with corrosive defects // Metallurgical and mining industry. – 2013. – №12. – P. 61-67

15. Тарасівський О.С. Аспекти моніторингу працездатності кільцевих зварних з'єднань труб з корозійними дефектами.// Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2012. – №4(45). – С. 43 – 47.

16. Тарасівський О.С. Вплив нерівномірності споживання газу на корозійно – втомні характеристики зварного з'єднання магістральних трубопроводів.// Науковий вісник Івано- Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2012. – №2(32). – С. 66-74.

17. Тарасівський О.С. Прогнозування залишкового ресурсу кільцевих зварних з'єднань тривало експлуатованих магістральних газопроводів.// Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем – 2012. – №31. – С. 46-53.

18. Тарасівський О.С. Вплив особливостей експлуатації магістральних трубопроводів на деформаційну стійкість зварних з'єднань. // Вісник донбаської державної машинобудівної академії. – 2012. – №3(28). – С. 264-268.

19. Крижанівський Є.І. Тарасівський О.С. Особливості корозійно – втомного руйнування зварного з'єднання тривало експлуатованих магістральних трубопроводів.// Фізико-хімічна механіка матеріалів. –2012. – Спец випуск №9 – С.653 – 661.

20. Крижанівський Є.І. Тарасівський О.С. Оцінка експлуатаційної надійності нафтогазопроводів за наявністю локальних дефектів зварних з'єднань.// Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2011. - №3(40). – С.27-32.

21. Тарасівський О.С. Дослідження та методи аналізу показників надійності магістральних газопроводів.// Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. . – 2011. – №3(36). – С. 43 – 47.

22. Крижанівський Є.І., Тарасівський О.С. Вплив тривалої експлуатації магістральних газопроводів на їх корозійно - втомні властивості.// Фізико – хімічна механіка матеріалів. –2010. – Спец випуск №8.– С.655 – 660.

23. Тарасівський О.С. Аналіз структури енергетичних втрат у газовому потоці і вибір математичної моделі // Нафтогазова енергетика. –2008 –№3(8). – С.26-29.

24. Крижанівський Є.І., Тарасівський О.С. Методика оцінювання навантаження газопроводу внутрішнім тиском.// Науковий вісник Івано – Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2008. – №1(17). – С.76-79.

25. Крижанівський Є.І., Тарасівський О.С. Вплив середовища та нерівномірності споживання газу на безаварійну експлуатацію газопроводу.// Фізико – хімічна механіка матеріалів. –2008. – Спец випуск №7.– С.791 – 797.

26. Крижанівський Є.І. Вплив водню на руйнування трубопроводу під час нерівномірного газоспоживання/ Є.І. Крижанівський, О.С. Тарасівський// Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2008. –№2(27). – С.97 – 100.

27. Грудз В.Я., Костів В.В., Тарасівський О.С., та ін. Технічна діагностика газотранспортних систем. – Івано – Франківськ: Лілея НВ,-2012.- 511с.

28. Крижанівський Є.І., Тарасівський О.С. Оцінка зміни навантаженості трубопроводів на ділянках експлуатації підземних сховищ газу.// Матеріали міжнародної наук.-техн. конф. "Нафтогазова енергетика-2017 ".– Івано-Франківськ. – 2017. – С. 353 – 354.

29. Крижанівський Є.І., Кузьменко Е.Д., Тарасівський О.С., Багрій С.М. Диференціація аномалій природного імпульсного електромагнітного поля землі на ділянках підземно-наземних переходів. // Матеріали міжнародної наук.-практична. конф. "ЕКОГЕОФОРУМ- 2017. Актуальні проблеми та інновації ".– Івано-Франківськ. – 2017. – С. 287 – 288.

30. Тарасівський О.С. Розробка електродів для сварки монтажних неповоротних стыків трубопроводов в трасових умовах. // Матеріали ХІ

международной учебно-научно-практической конференции “Трубопроводный транспорт – 2016”. –Уфа. Изд-во УГНТУ. – 2016. – С. 383 – 385.

31. Тараевский О.С. Разработка практических рекомендаций повышения технологической прочности промышленных трубопроводов // Материалы X международной учебно-научно-практической конференции “Трубопроводный транспорт– 2015.”–Уфа.Изд-во УГНТУ. – 2015. – С.200–202.

32. Тараєвський О.С. Особливості руйнування несучої здатності магістральних трубопроводів за складних умов.// Міжнародна науково – технічна конференція «Нафтогазова освіта та наука: стан та перспективи». – Івано – Франківськ. – 2014 – С. 215–216.

33. Тараевский О.С., Тараевский С.Й. Исследование коррозионной стойкости нефтегазопроводов // VIII Междунар. науч.-техн. конф. “Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта”.– Новополюцк, ПГУ. – 2014. – С. 30 – 32.

34. Тараевский О.С., Тараевский С.Й. Модель механизма сероводородного коррозионного растрескивания под напряжением (СКРН) трубных сталей нефтегазопроводов // Материалы IX международной учебно-научно-практической конференции “Трубопроводный транспорт– 2013” – Уфа: Изд-во УГНТУ. – 2013. – С.135-137.

35. Тараєвський О.С. Особливості руйнування зварного з'єднання тривало експлуатованих магістральних трубопроводів.// Міжнародна науково – технічна конференція «Проблеми і перспективи транспорту нафти і газу». – Івано – Франківськ. – 2012. –С.123-124.

36. Тараевский О.С. Методы повышения механических свойств сварных металлоконструкций нефтегазовых объектов // Международная научно – практическая конференция «Трубопроводный транспорт -2012». –Уфа. – 2012. – С. 181-182.

37. Тараевский О. С. Оценка эксплуатационной надежности трубопроводов при наличии локальных дефектов сварных соединений. // VII междунар. науч.-техн. конф.,”Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта”.– Новополюцк, ПГУ, 2011. – С. 181 – 182.

38. Тараєвський О.С. Аналіз технічного обслуговування трубопроводів та сховищ // Матеріали науково-практичної конференції "Шляхи підвищення ефективності експлуатації трубопроводного транспорту нафти і газу та підготовка кадрів для галузі". – Івано – Франківськ, видавництво ІФНТУНГ . – 2010. –С.47-49

39. Tarayevski O.S. Maintaining the Reliable Operation of Oil and Gas Pipelines With Account for Mechanochemical Degradation.// XVIII Conferences “Technical sessions on welding” . – Madrid, Spain. – 2010. – P 28–32.

40. Тараєвський О.С., Тараєвський С.Й. Методика дослідження показників надійності магістральних газопроводів // Міжнародна науково-технічна конференція “Нафтогазова енергетика: проблеми та перспективи”. – Івано – Франківськ. –2009.– С. 136-137.

41. Тарасівський О.С. Структура енергетичних втрат у газовому потоці та вибір математичної моделі // Міжнародна науково – технічна конференція молодих вчених «Техніка і прогресивні технології в нафтогазовій інженерії». – Івано – Франківськ. – 2008 – С. 18-19.

АНОТАЦІЯ

Тарасівський О.С. Забезпечення працездатності тривало експлуатованих газопроводів за складних гірничо – геологічних умов. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.15.13. – Трубопровідний транспорт, газонафтоосховища, Івано – Франківський національний технічний університет нафти і газу. Івано – Франківськ, 2017.

Дисертація присвячена вирішенню важливої науково – прикладної проблеми забезпечення працездатності тривало експлуатованих трубопроводів що експлуатуються в аверсно – реверсних режимах та проходять територіями з порушеною рівновагою Землі.

В роботі представлено принцип забезпечення надійності тривалоексплуатованих газопроводів за складних гірничо – геологічних умов на базі комплексних теоретичних і практичних досліджень. Вдосконалено наукові основи визначення працездатності ГТС України з урахуванням тривалого терміну експлуатації та складних гірничо – геологічних умов. Встановлено механізм зародження тріщин в умовах одночасної дії внутрішнього та зовнішнього лавинного навантаження на газопроводи в зоні впливу концентраторів напружень. Досліджено вплив аверсно – реверсних режимів на показники надійності магістральних газопроводів, які експлуатуються в гірській місцевості. Запропоновано та удосконалено методика визначення допустимого рівня довільно орієнтованого навантаження на найбільш небезпечні конструктивні елементи газопроводу в зсувонебезпечних умовах, що дозволяє попередити їх аварійне руйнування. Також методика оцінки експлуатаційної надійності ділянок магістральних трубопроводів, що проходять через природні та штучні перешкоди дала можливість запропонувати детальний моніторинг технічного стану. Запропонована методика забезпечення надійної експлуатації трубопроводів, що проходять у спільному технологічному коридорі, та введений критерій, що враховує одночасний вплив терміну експлуатації, режимів роботи та місце прокладання трубопроводу.

Ключові слова: магістральний газопровід, кільцевий зварний шов, зона термічного впливу, воднева крихкість, низькочастотна втома.

АННОТАЦИЯ

Тараевский О.С. Обеспечение работоспособности продолжительно эксплуатируемых газопроводов в сложных горно - геологических условиях.
- Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.15.13. - Трубопроводный транспорт, газонефтегазопроводы, Ивано - Франковский национальный технический университет нефти и газа. Ивано - Франковск, 2017.

Диссертация посвящена решению важной научно - прикладной проблемы обеспечения работоспособности продолжительно эксплуатируемых трубопроводов что эксплуатируются в аверсном - реверсном режиме и проходят территориями с нарушенным равновесием Земли.

В работе представлены принцип обеспечения надежности продолжительноэксплуатируемых газопроводов в сложных горно - геологических условий на базе комплексных теоретических и практических исследований. Усовершенствовано научные основы определения работоспособности ГТС Украины с учетом длительного срока эксплуатации и сложных горно - геологических условий. Установлен механизм зарождения трещин в условиях одновременного действия внутреннего и внешнего лавинного нагрузки на газопроводы в зоне влияния концентраторов напряжений. Исследовано влияние аверсных - реверсных режимов показатели надежности магистральных газопроводов, эксплуатируемых в горной местности. Предложен и усовершенствована методика определения допустимого уровня произвольно ориентированного нагрузки на наиболее опасные конструктивные элементы газопровода в оползнеопасных условиях, что позволяет предупредить их аварийное разрушение. Также методика оценки эксплуатационной надежности участков магистральных трубопроводов, проходящих через естественные и искусственные препятствия дала возможность предложить детальный мониторинг технического состояния. Предложенная методика обеспечения надежной эксплуатации трубопроводов, проходящих в общем технологическом коридоре, и введен критерий, учитывающий одновременное воздействие срока эксплуатации, режимов работы и место прокладки трубопровода.

Ключевые слова: магистральный газопровод, кольцевой сварной шов, зона термического влияния, водородная хрупкость, низкочастотная усталость.

ABSTRACT

Taraevsky O.S. Maintenance of the efficiency of long – term operated gas pipelines under complicated mining and geological conditions. – Academic qualification work on the rights of a manuscript.

Dissertation for obtaining the academic degree of the Doctor of Technical Sciences in specialty 05.15.13 "Pipeline transport, oil and gas storage facilities" (185 - Petroleum engineering and technology). Ivano - Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano – Frankivsk, 2017.

In the dissertation the important scientific and applied problem of ensuring the efficiency of long – term operated gas pipelines under difficult geological conditions was solved by developing a method for assessing its technical state taking into account the obverse and reverse operation modes, improving the methodology for detecting the most dangerous sections and their monitoring, defining the protection zone in right - of ways.

The necessity has been proved and the expediency of assessing the efficiency of the existing GTS of Ukraine is shown in a completely new functional purpose, particularly in the provision of safe trouble-free supply of natural gas to the EU countries and Ukraine by existing pipelines in obverse and reverse operating modes. The mechanism of the crack nucleation in the conditions of simultaneous action of internal and external loads was established, the clear assessment of the long-term operated pipeline in the presence of the structural elements local defects was given. In the process of repeated static loads in structural elements of durable operated pipes the areas with microplastic deformations are formed.

Such obtained results indicate the appearance of areas with a step-wise character, the nucleation and sometimes propagation of microcracks, and subsequent equalization in the process of further operation, and there occurs stress relief. It was established that in the period of pipelines operation from 18 to 30 years there is certain strengthening of the metal structure of the pipe in welded zones as a result of strain hardening (the phenomenon of cold working), as well as the equilibrium of microstructure of the metal. It has been confirmed that the service residual life of the actual technical state of the long - term operated pipeline under the studied loads will enable the pipeline operational use beyond the planned (established) depreciation period.

On the basis of the system approach and analysis of the conditions of transit main gas pipelines operation, analytical studies of the stresses occurring on the internal surface of the gas pipeline under the conditions of the obverse and reverse operation modes have been carried out. Proposed was the method of determination (prognostication) of prolonged working pipelines durability being under complex mining and geological conditions. The technique for determining the permissible level of arbitrarily oriented stresses acting on the investigated section of the gas pipeline with a complex technological structure and laid in the area with a disturbed equilibrium of the earth has been developed. On the basis of the comparative estimation, one can conclude that the change in the operation modes of Bohorodchansky UGS causes a change in the intensity of the NPMEFE in the areas of

rock masses where complex design elements of the pipelines are located. This is due to the fact that the deformation of the pipeline is transferred to rock masses. Violation of the integrity of the rock masses intensifies this impact as a stress concentrator.

As a result of system filling and emptying of UGS as well as mode processes of gas pipelines operation, it has been established that in the areas with turns and branch pipes, technical inspections should be carried out by 32% more often. The given research data allow to assert that there are separate sections of gas pipelines, for which it is necessary to develop separate classification schemes, new methods of diagnostic control and prediction of their durability. Thus, the use of the NPEMFE method is a reliable sensitive tool for detecting local deep-seated stresses occurring in areas with disturbed equilibrium, regardless of the nature of their occurrence.

In order to design new gas pipelines, there will be no pipelines in the same technological corridor, and for existing pipelines operated in the same technological corridor, it will be possible to reduce the impact of the emergency situation or even make it impossible because of optimal loading gas pipeline threads. The expediency of carrying out such experiments and the obtained results will allow to prevent accidents and failures of gas pipelines that are passing under complex mining and geological conditions, and ensure their reliability during long service life.

The methodological basis of the work is the joint use of the physical and mathematical modeling of the research object.

Key words: fatigue, flood, stress concentrator, welded joint, weld seam, gas pipeline, static load, low frequency load.

Підписано до друку 07.02.2018. Формат 60x84/16. Папір офсетний.
Друк різнографічний. Гарнітура Times New Roman. Авт. арк. 0,9. Наклад 100.
Видавець та виготівник «Симфонія форте»
76019, м. Івано-Франківськ, вул. Крайківського, 2, тел. (0342) 77-98-92
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру
видавців та виготівників видавничої продукції: серія ДК № 3312 від 12.11. 2008 р.