

622.691.4
P83
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

РУДКО ВАСИЛЬ ПЕТРОВИЧ

УДК 622.69¹2.4 (04)

P83

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗАВАРІЙНОЇ РОБОТИ ГАЗОПРОВІДІВ
У ЗСУВОНЕБЕЗПЕЧНИХ ГІРСЬКИХ РАЙОНАХ**

Спеціальність 05.15.13 – Нафтогазопроводи, бази і сховища

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Івано-Франківськ – 2005

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
Крижанівський Євстахій Іванович,
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу, ректор,
завідувач кафедри “Нафтогазове обладнання”,
м. Івано-Франківськ.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор **Середюк Марія Дмитрівна**, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, завідувач кафедри “Транспорт і зберігання нафти і газу”, м. Івано-Франківськ;
кандидат технічних наук **Говдяк Роман Михайлович**, голова правління ВАТ “Укргазпроект”, м. Київ.

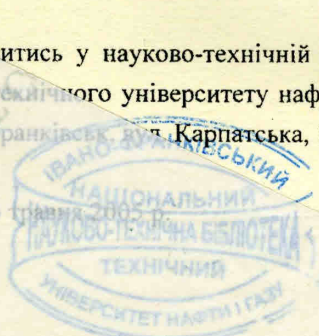
Провідна організація **ВАТ ІВП ВНПІтрансгаз**, м. Київ

Захист відбудеться 1 липня 2005 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 «30» травня 2005 р.

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



[Handwritten signature]

О.В.Корнута

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В інфраструктурі паливно-енергетичного комплексу України важливе місце займає газотранспортна система. Через територію країни прокладено понад 35 тис. км. газопроводів. Перетинаючи геодинамічні активні зони, різні кліматичні пояси, різні елементи рельєфу, трубопроводи зазнають впливу механічної та хімічної дії, що призводить до деформації та розривів. В першу чергу це стосується газопроводів у зсувонебезпечних гірських умовах.

Стабільна робота магістрального трубопроводу залежить від його технічного стану. При оцінці останнього важливе місце займає достовірне визначення напружено-деформованого стану його лінійної частини. Особливо гостро ця проблема торкається потенційно небезпечних ділянок, які експлуатуються в екстремальних умовах, спричинених різними перевантаженнями. Як приклад, можна навести численні випадки перенапружень труб внаслідок переміщень оточуючого ґрунту в зонах зсуву, випинання недостатньо закріплених ділянок газопроводів, надмірного згину труби при укладальних роботах тощо.

В окремих випадках ці додаткові навантаження є основною причиною утворення в трубопроводі пластично деформованих зон, які нерідко переростають в тріщиновидні дефекти. Вони як концентратори напружень можуть істотно впливати на надійність і довговічність магістральних трубопроводів. Аналіз на основі критеріїв механіки руйнування показує, що у високов'язких пластичних трубних сталях можуть стабільно існувати достатньо великі докритичні тріщини, що не розвиваються. Однак практика експлуатації трубопроводів свідчить, що в складних умовах, навіть, коли нормативні експлуатаційні напруження не перевищені, дефекти в стінці труби внаслідок втомних процесів розвиваються і, досягнувши критичних розмірів, можуть виникати аварійні ситуації. Все це створює труднощі в нормальному ритмічному транспортуванні газу, а також загрозу екологічній безпеці на великих територіях.

Таким чином, дисертаційна робота, спрямована на забезпечення безаварійної експлуатації газопроводів в зсувонебезпечних гірських умовах, має як наукову актуальність, так і важливе народногосподарське значення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційні дослідження виконувалися в рамках національної програми "Нафта і газ України до 2010 року", регіональної програми "Визначення залишкового ресурсу конструкцій, споруд і машин тривалої експлуатації та розробка заходів щодо підвищення терміну їх безаварійної роботи на 2001-2005 рр."

Мета і задачі дослідження. Мета роботи – розробка ефективних методів оцінки технічного стану магістральних газопроводів в зсувонебезпечних гірських умовах.

Відповідно до мети були поставлені такі задачі:

1. Дати оцінку загального стану трубопроводів, відстежити їх гірських порід по тра-
гичних процесів. вувати розвиток геоло-



2. Визначити допустимий рівень довільно орієнтованого навантаження на трубу в області сповзання ґрунту.

3. Дослідити особливості впливу перевантажень трубної сталі 17Г1С при зсувах ґрунтів на їх пружні та втомні характеристики.

4. Дослідити вплив наклепаного при перевантаженнях матеріалу на статичну та циклічну тріщиностійкість трубопроводів.

5. Провести оцінку експлуатаційного окрихчення матеріалу трубопроводів, обумовленого наклепом і пошкоджуваністю металу в вершині тріщини при циклічних і разових перевантаженнях, впливом робочого середовища та деформаційним старінням.

6. Вивчити доцільність проведення оцінки залишкової міцності магістральних трубопроводів з тріщинами за δ_k -критерієм.

7. Дослідити вплив тривалої експлуатації магістральних газопроводів на механічні властивості (деградацію) трубної сталі 17Г1С.

Об'єкт дослідження: надійність газопроводів в зсувонебезпечних гірських умовах.

Предмет дослідження: методи діагностування технічного стану магістральних газопроводів в зсувонебезпечних гірських умовах.

Методи дослідження. Дослідження проведено з застосуванням апробованих практикою сучасних методів і засобів для геофізичних, механічних і електроннофрактографічних експериментальних досліджень з дотриманням стандартних методик і використанням математичної статистики та планування експерименту. Розв'язок задачі про напружено-деформований стан трубопроводу, який перебуває під довільно орієнтованим навантаженням з боку сповзаючого ґрунту, здійснений за допомогою методів і гіпотез теорії пружності. Основні висновки роботи узгоджуються з відомими літературними джерелами.

Наукова новизна одержаних результатів.

Методом природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПЕМПЗ) встановлені загальні поля напружень і аномально напружені ділянки масивів гірських порід по трасах трубопроводів в геодинамічно активних зонах Карпат.

Вперше дана оцінка величини допустимого орієнтованого навантаження на трубопровід у зоні сповзання ґрунту.

Дістали подальший розвиток експериментальні дослідження з визначення механічних характеристик пластично деформованих при перевантаженнях трубних сталей.

Встановлений вплив наклепаного при перевантаженнях матеріалу, робочих середовищ, деформаційного старіння, тривалої експлуатації на статичну та циклічну тріщиностійкість трубної сталі.

Вперше дана науково обґрунтована основа доцільності оцінки опору поширенню тріщини трубної сталі 17Г1С за δ_k -критерієм.

Практичне значення одержаних результатів.

Використання методу ПЕМПЗ дає можливість здійснювати контроль за напружено-деформованим станом масивів гірських порід по трасах трубопро-

водів і спрогнозувати розвиток геологічних процесів а також прийняти заходи для зняття напружень.

Розроблена методика інженерної оцінки величини допустимого довільно орієнтованого навантаження на трубопровід у зоні сповзання ґрунту. Запропоновано при оцінці опору поширенню тріщини магістральних трубопроводів враховувати не тільки вихідний рівень в'язкості руйнування, але й здатність матеріалів до окрихчення під впливом різного роду експлуатаційних чинників (перевантажень, робочих середовищ, деформаційного старіння та тривалої експлуатації).

Показана доцільність практичного використання δ_k -критерію для оцінки тріщиностійкості магістральних газопроводів.

Особистий внесок здобувача. Основні результати, які виносяться на захист, отримані автором самостійно. Використанням методу ПЕМПЗ вивчений напружено-деформований стан масивів гірських порід по трасах трубопроводів [6]; дана оцінка допустимих довільно орієнтованих навантажень на трубу в зоні сповзання ґрунту [7]. В роботах [2, 4, 5, 8] на основі проведених експериментальних досліджень встановлений вплив різних перевантажень, деформаційного старіння, робочих середовищ і довготривалої експлуатації на технічний стан магістральних трубопроводів, проведена оцінка залишкової міцності магістральних трубопроводів з тріщинами з позицій механіки руйнування [1,3].

Постановка задач, аналіз і обговорення результатів досліджень проведено спільно з науковим керівником.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідалися і обговорювалися на науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу національного технічного університету нафти і газу (Івано-Франківськ, ІФНТУНГ, 2001-2004 рр.); шостому міжнародному симпозиумі українських інженерів-механіків (м. Львів, 2003 р.); міжнародній конференції Карпатського регіону (м. Бая-Маре, Румунія, 2003р.).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 8 наукових праць, з них – 7 статей у фахових виданнях України.

Структура і обсяг дисертації.

Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел, який містить 133 найменування. Текстова частина викладена на 121 сторінці комп'ютерного набору і містить 42 рисунки і 6 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації та подано загальну характеристику роботи. Висвітлено наукове і практичне значення отриманих результатів досліджень, наведені дані про їх впровадження на діючих трубопроводах.

У першому розділі аналізуються фактори, які впливають на безаварійну експлуатацію газопроводів у зсувонебезпечних гірських умовах. Задачам проєктування, будівництва, експлуатації та діагностування технічного стану трубопроводів присвячені праці А. Б. Айбіндера, Л. А. Бабіна, В. П. Березіна, Б. С. Білобрана, П. П. Бородавкіна, В. Я. Грудза, С. І. Крижанівського, Г. М. Никифорчина, Й. В. Перуна, Л. С. Шлапака та ін. Для надійності лінійної частини трубопровідних систем особливе значення має оцінка їхнього стану на стадії експлуатації. Тут важливу роль відіграє технічне діагностування, як ефективний засіб прогнозування та запобігання аварійним ситуаціям а також екологічного захисту і досягнення промислової безпеки.

Значна увага приділена розгляду екстремальних ситуацій, які виникають в трубопроводах, прокладених у гірських районах з різко змінним рельєфом місцевості та гідрогеологічних властивостей ґрунтів. Комплексне вирішення вказаних задач в основі своїй повинно ґрунтуватися на методології діагностики напружено-деформованого стану магістрального трубопроводу, яка дозволила б оцінити і прогнозувати працездатність потенційно небезпечних ділянок газотранспортної системи.

Оскільки об'єктом нашого дослідження є надійність газопроводів, в зсувонебезпечних гірських умовах, звернено увагу на те, що при зсувах найбільше проявляється перерозподіл напружень в гірській породі.

При підготовці зсуву та його утворення має місце концентрація напружень в окремих місцях з подальшим їх перерозподілом. Різні за своїми кінематичними характеристиками частини зсуву мають різний напружено-деформований стан порід, що має своє відображення і у варіаціях ПЕМПЗ. Сучасну уяву про природу ПЕМПЗ було напрацьовано професором А. А. Воробйовим в 50-60-х роках минулого століття. Ним же було введено в петрофізиці це поняття. Варіаційні спостереження ПЕМПЗ дають можливість одночасно оцінити стан різних ділянок зсуву та зміни цього зсуву в часі.

Аналіз літературних джерел показав, що оцінка методом ПЕМПЗ загального поля напружень масивів гірських порід по трасах трубопроводів, відстежування його динаміки та прогнозування геологічних процесів є досить перспективною.

Поряд з цим одержано можливість визначити допустимий рівень довільно орієнтованого навантаження на трубу в області сповзання ґрунту.

Сталеві труби – це головний конструктивний елемент трубопроводів. Додаткові навантаження є основною причиною утворення в трубопроводі пластично деформованих зон і тріщин. Разом з цим, практика показує, що за відсутності значних дефектів у стінці пластично здеформовані ділянки магістрального трубопроводу продовжують чинити опір навантаженню і виконувати свої екс-

платуаційні функції. Однак, проблема забезпечення безаварійної експлуатації магістральних трубопроводів з урахування пластичних властивостей матеріалу труб вивчена ще недостатньо.

Щоб надійно оцінити працездатність трубопроводів, необхідний комплексний підхід, однією з важливих складових якого є визначення напруженого стану труби, зокрема у місцях із дефектами. Тому для оцінки конструктивної міцності трубопроводів все ширше застосовування отримують методи механіки руйнування. Така оцінка здійснюється на основі критичних коефіцієнтів інтенсивності напружень. В той же час вибір того чи іншого підходу до визначення граничного стану повинен здійснюватись залежно від ряду факторів, в першу чергу від пластичних властивостей матеріалу. Так як труби використовуються в нормалізованому стані, то їх сталь має підвищену пластичність. Це приводить до спотворення значень K_{IC} . Тому питання коректного визначення тріщиностійкості труб є надзвичайно важливе й актуальне.

Виходячи із сучасного стану проблеми, сформульовано мету і задачі дослідження.

У другому розділі описано об'єкти і методи дослідження.

Для вивчення напружено-деформованого стану масивів гірських порід використовували новий експрес-метод геофізичних досліджень ПЕМПЗ, включений в СНІП 1.02.07-87. Для цього використали варіаційні (режимні) спостереження та профілювання. Результати варіаційних вимірювань представляли у вигляді функцій залежності швидкості розрахунку від часу, зафіксованих станцією, розміщеною в місці очікуваного прояву ПЕМПЗ, і опорної варіаційної станції, розміщеної на нормальному полі, тобто подалі від очікуваних джерел вогнищ ПЕМПЗ. Внаслідок тривалих спостережень виділяються регулярні варіації напруженості ПЕМПЗ.

Профілювання під час вивчення ПЕМПЗ методично будується так само, як і у методів радіокін при вивченні магнітотелуричних варіацій. Виконується воно двома станціями, одна з яких нерухома, призначена для вимірювання варіацій ПЕМПЗ в часі, а друга зміщується за профілем для виявлення швидкості рахунку на деякій ділянці.

Спеціальна апаратура для спостережень ПЕМПЗ у нашій країні спеціально не випускалася. Застосовуються різні варіанти дослідних приладів, виготовлених спеціально для вимірювання швидкості рахунку імпульсів, які складаються загалом з антени, підсилювача з фільтром і реєстратора імпульсів – лічильника, осцилографа чи стрілкового індикатора.

Для досліджень використовували прилади типу «АДОНІС», які розроблені під керівництвом професора В.Н.Саломатіна та виготовлені спеціально для вимірювання кількості електромагнітних імпульсів за одиницю часу в компактному переносному варіанті і малому енергоспоживанні. Він забезпечує вимірювання величини імпульсного магнітного поля Землі і зберігає результати вимірювань у вбудованій базі даних (БД). Вміст БД при обробці завантажується в персональний комп'ютер. В процесі польових спостережень проводиться вибір необхідної чутливості і діапазону реєстрованого параметра. Прилад «АДОНІС» формус тимчасове вікно 0,1-2,5 с, протягом якого підраховує кількість

імпульсів електромагнітного поля з амплітудою, що перевищує встановлений поріг. Його приймальна частина підсилює сигнали в діапазоні частот від 5 до 50 кГц. Чутливість щодо напруженості магнітної складової зовнішнього електромагнітного поля на частоті 10 кГц не менше 0,5-10 А/м. Регулювання посилення здійснюється плавно і забезпечує ослаблення сигналу з коефіцієнтами від 1 до 511. Час ресстрації сигналу змінюється ступінчасто і становить від 0,1 до 25,5 с.

Первинна обробка польових даних включала усереднювання одержаних вимірів на точці з вирахуванням регіональних варіацій електромагнітного фону. Побудовані ряди даних оброблялися з метою отримання моногенічних аномалій з розділенням їх за рівнями значущості залежно від глибинності процесів, що їх породжують (що формуються біля поверхні і на глибині). При обробці використовувався комплекс статистичних методів аналізу спостережень для визначення їх достовірності, оцінки знайдених аномалій і побудови просторових рядів. Як фізико-геологічну модель (ФГМ) при інтерпретації польових спостережень приймали, що спостережувані значення величин ПЕМПЗ в кожній досліджуваній області (точка спостережень) мають випадковий характер.

Якщо область однорідна за своєю геологічною будовою, геофізичними властивостями, то випадкові події (значення ПЕМПЗ) повинні належати до однієї генеральної сукупності, а їх відхилення мають випадковий характер. Для характеристики однорідності серії вимірів на одній точці і відбракування випадкових відхилень використовувалася нуль-гіпотеза із застосуванням параметричних критеріїв і перевіркою вибірок за приналежністю їх до нормального закону розподілу.

В процесі подальшої обробки первинних рядів виконані операції для розділення аномальних кривих за рівнями різної значущості залежно від глибини вогнищ напружено-деформованого стану. Для цього використані інструменти розділення аномалій на регіональний і локальний рівні засобами поліноміального усереднювання кривих по набору точок від 3 до 7.

Після всіх етапів обробки просторові ряди даних використовуються для побудови карт ізоліній усередненої інтенсивності ПЕМПЗ на різних рівнях, градієнтів загального поля напружень і коефіцієнтів анізотропії напруженості ґрунтового масиву для різних глибин. Для встановлення ідентичності аномалій на різних профілях одержані числові дані і графічні матеріали аналізували методом просторової парної кореляції.

Для вивчення закономірностей навантаження трубопроводу в зоні сповзання ґрунту в дослідженнях використовувались зразки, вирізані з нових труб 1020 мм (товщина стінки 12 мм). Матеріал – сталь 17Г1С в нормалізованому стані; хімічний склад відповідав ТУ 14-1-1950-77, а механічні властивості були: $\sigma_B = 600 \text{ МПа}$, $\sigma_T = 425 \text{ МПа}$, $\delta = 26\%$, $\Psi = 55\%$, $KCV = 37 \text{ Дж/см}^2$. При вивченні закономірностей деградації матеріалу при експлуатації використовували зразки з труб, які пропрацювали 29 років.

Дослідження на статичний розтяг проводили на машині УМ-5А за швидкості деформації 0,06 мм/с, яка була обладнана пристроями для температурних випробувань в широкому діапазоні від 77 до 373К. Втомні випробування про-

водили при чистому круговому згині на машинах ИМА-5 за частоти навантаження 50 Гц.

Наведення втомних тріщин на зразках, призначених для оцінки опору поширення тріщини, а також випробування на статичну тріщиностійкість виконувалися згідно з методичними рекомендаціями, наведеними в ГОСТ25.506-85. При випробування на циклічну тріщиностійкість керувалися документами РД 50-345-82 і ОСТ 190268-78.

Електронно-фрактографічний аналіз зломів зразків здійснювали на електронному мікроскопі УЭМ-100. Для контрольних оцінок якості структури матеріалу зразки підлягали систематичному контролю за твердістю та мікроструктурному аналізу.

У **третьому** розділі проведені результати досліджень запобігання перевантаженню об'єктів трубопровідних систем в зсувонебезпечній зоні. Для визначення впливу локальних глибинних напружень на зміну інтенсивності ПЕМПЗ на різних глибинах гірської породи проводили дослідження на Богородчанському підземному сховищі газу (ПСГ). На всій глибині сховища гірська порода -- це глини з пропластками пісковиків. Вивчення ПСГ даним геофізичним методом 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 оцінити просторову неоднорідність в загальному полі механічних напружень.

Експеримент проводили при різних заповненнях газосховища, тобто при різних внутрішніх тисках. Перші заміри проводились в червні при мінімально заповненому сховищі з внутрішнім тиском газу 58 атмосфер. Другі заміри виконували в тих же пікетах в грудні при максимально заповненому сховищі з внутрішнім тиском газу 93 атмосфери. Результати досліджень представлялись у вигляді карт ізоліній середньої інтенсивності ПЕМПЗ для поверхневих вогнищ НДС на глибині 60-100 м та глибинних вогнищ НДС на глибині 600-800 м.

Важливість проведеного натурального експерименту полягала в можливості виявити небезпечні зони при різних режимах роботи газосховища та прослідкувати залежності зміни інтенсивності ПЕМПЗ зі зміною завантаженості. При різних тисках порівнювались результати в одних і тих же точках.

Проведені порівняльні оцінки показали, що при збільшенні внутрішнього тиску в ПСГ зменшується амплітуда зміни інтенсивності ПЕМПЗ для глибинних (рис. 1а) та поверхневих (рис. 1б) явищ НДС. Тобто, при більш високому тиску в ПСГ зменшуються механічні напруження в гірському масиві над сховищем. Це можна пояснити тим, що ПСГ -- вичерпане газове родовище, гірський масив якого призвів до порушення природної рівноваги та створив вогнища механічних напружень в гірській породі. При заповненні підземного сховища газом відбувається зворотній процес -- повернення до рівноважного стану гірського масиву, що підтверджують вимірювання інтенсивності ПЕМПЗ.

З викладеного вище слідує, що будь-яке втручання в рівновагу гірського масиву провокує утворення вогнищ механічних напружень, тобто є концентратором напружень та джерелом зародження майбутніх зсувів при відповідних

умовах. Такими концентраторами напружень є траси магістральних газопроводів, прокладених в горах.

Як показали результати виконаних досліджень, що використання методу ПЕМПЗ є надійним чутливим інструментом для виявлення локальних глибинних напружень в гірській породі незалежно від природи їх виникнення. Таким чином, уже на початковій стадії формування умов утворення зсуву спостерігається зміна інтенсивності ПЕМПЗ, за допомогою якої можемо визначити межі ймовірного зсуву, що дасть можливість побудувати схему навантаження об'єкта.

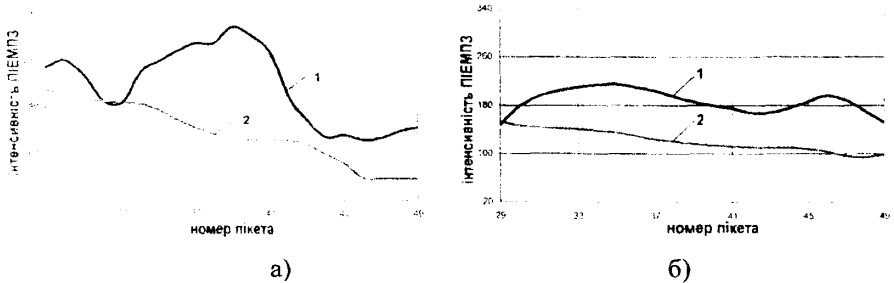


Рис. 1. Інтенсивність ПЕМПЗ, яка характеризує глибинні (а) і поверхневі (б) вогнища напружено-деформованого стану Богородчанського газосховища на ділянці довжиною 100 м (пiкети 29...49):

1 -- сховище незаповнене; 2 -- сховище заповнене

Проведені дослідження загального поля напружень на компресорній станції «КС-2 Голятин», розміщеній в підніжжі гори в Карпатах. Територія станції знаходиться в зоні можливої траєкторії руху гірської маси при зсуві. Тому для підвищення надійності захисту споруд станції від можливого зсуву побудовані спеціальні захисні інженерні споруди. Однак, небезпека зсуву та пошкодження споруд цієї станції існує, що вимагає постійних спостережень за розвитком зсувних процесів.

На досліджуваній ділянці виділяються аномалії як позитивні, так і негативні. Основна частина позитивних аномалій витягнута вздовж існуючого паркану. Невеликі по площі і інтенсивності поля вогнища спостерігаються в середній частині досліджуваної території (точки спостереження 96, 141, 151, 161; рис. 2). Вздовж підірних стінок виділяється декілька аномальних зон з екстремально високими значеннями інтенсивності поля, які можуть розглядатися як потенційні зсувні вогнища з можливим розвитком магістральних тріщин відриву.

Напруженість порід є інтегральною характеристикою, яка залежить від багатьох факторів і, в першу чергу, від складу і характеристик міцності порід, гідростатичного і гідродинамічного тиску. Підвищена напруженість порід зумовлена і досить крутим схилом. За розробленою класифікацією професором В. М. Соломатиним масив порід відноситься до напружених і помірно-напружених. Напружено-небезпечних ділянок не спостерігалось, тобто розвиток кагаст-

рофічних змішень, обвалів на час проведення геофізичних досліджень не повинно бути. Однак, при виникненні сприятливих факторів: (підвищення вологи, підрізка, динамічна дія тощо) в аномальних зонах напруження можуть зрости до критичних меж, що викличе формування локальних блокового типу зсувів з наступним розростанням і об'єднанням їх по фронту.

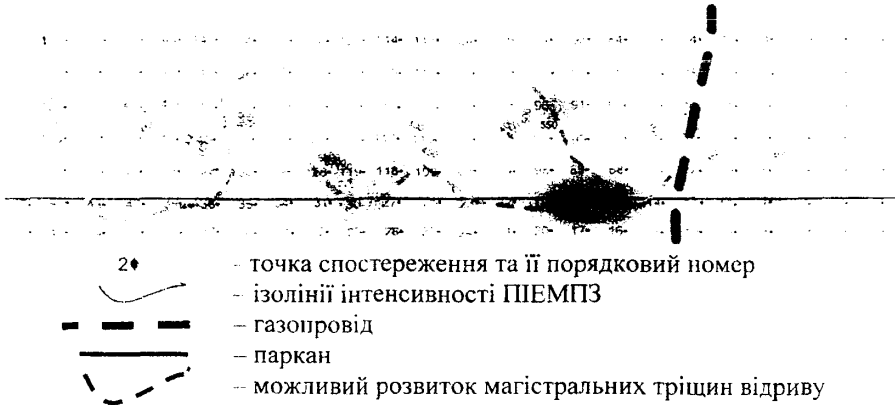


Рис.2 - Карта-схема інтенсивності ПЕМПЗ

Рекомендується для запобігання подібних негативних явищ проводити повторні періодичні спостереження і у випадку підвищення інтенсивності ПЕМПЗ у виділених аномаліях прийняти екстрені міри для зняття напружень. Це можуть бути відрізаючі розвантажувальні рови, свердловини, перебалансування ґрунтових мас, осушення та інші заходи.

На основі проведених досліджень приходимо до висновку, що в геодинамічно активних зонах Карпат необхідно здійснювати оперативний контроль за напружено-деформованим станом масивів гірських порід по трасах трубопроводів. Повторні спостереження на особливо небезпечних ділянках дозволяють відстежувати динаміку поля напружень і спрогнозувати розвиток геологічних процесів.

Сформульовано та розв'язано задачу про напружено-деформований стан трубопроводу, який перебуває під довільно орієнтованим навантаженням з боку сповзаючого ґрунту. Поза ділянкою сповзання труба вазсодіє з пружним середовищем за гіпотезою Вінклера. Трубопровід моделювали нескінченним стержнем з трубчастим попереччям, а при детальнішому розгляді питань міцності безмоментною оболонкою.

На основі аналітичного розв'язку задачі побудовано епюри осьових зусиль та згинних моментів у трубі. За сталих робочого тиску та температурного перепаду на підставі енергетичного критерію міцності Губера-Мізеса-Генкі проведено аналіз еквівалентних напружень та встановлено величину допустимого навантаження на трубопровід від сповзаючого ґрунту. Показано, що небезпечний стан труби найперше досягається у стиснутих волокнах на початку

закопаної ділянки. Для фіксованої довжини зони сповзання досліджено залежність рівня допустимого навантаження від напрямку зсуву

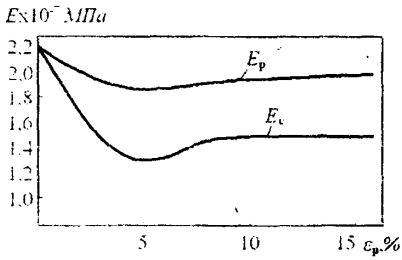
Четвертий розділ присвячений вивченню впливу пластичного деформування трубопроводів на механічні характеристики сталі 17ГІС. Деформація металу газопроводу при тривалому статичному навантаженні (особливо в присутності різних агресивних середовищ) призводить до зміни його механічних характеристик. Слід також враховувати, що при експлуатації трубопроводи можуть зазнавати суттєвої пластичної деформації (наприклад, при зсуві ґрунтів) на локальних ділянках. Унаслідок цього, в таких місцях можуть виникнути тріщини, здатні до субкритичного підростання, що відіб'ється на здатності трубопроводу витримувати навантаження, а, відповідно, і на його довговічності. Звідси зрозуміло, наскільки важливим є врахування впливу попереднього пластичного деформування на механічні характеристики сталей трубопроводів, особливо на їх тріщиностійкість як за статичного, так і циклічного навантаження.

Для опису пружних властивостей ізотропного твердого тіла в теорії пружності приймаються дві незалежні характеристики пружності: модуль Юнга E і коефіцієнт Пуассона μ . Термін «коефіцієнт Пуассона» використовується, як правило, в тому випадку, коли мова йде про пружні деформації; при непружному деформуванні застосовують термін «коефіцієнт поперечних деформацій». Загальновідомо, що суттєві зміни стану твердого тіла відображаються змінами вказаних характеристик пружності.

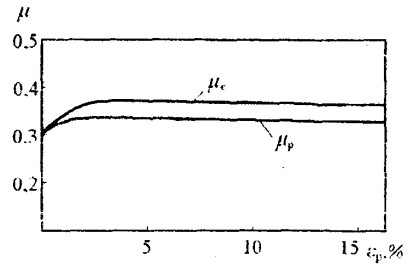
Встановлено, що пластична деформація сталі 17ГІС суттєво знижує модуль Юнга та підвищує коефіцієнт поперечної деформації (рис. 3). Як видно, значення μ більш явно, ніж E відображають вплив наклепу: якщо між величинами μ і ϵ_p за даними рис. 3 існує чітка кореляція, то між параметрами E і ϵ_p подібної чіткості нема. Остання залежність має хвилеподібний характер. Такий вплив пластичної деформації проявляється як при розтягу (F_p, μ_p), так і при стиску (E_c, μ_c). Однак за деформації стиску він набагато сильніший. Найбільший спад величини E_p і E_c зафіксований при $\epsilon_p = 4,5\text{--}5\%$. Параметри μ_c і μ_p спочатку зростають і досягають свого максимального значення при $\epsilon_p = 2,5\text{--}3\%$, а при подальшому збільшенні ϵ_p вони залишаються на практично постійному рівні. Старіння матеріалу сприяє поверненню його властивостей аж до вихідного стану.

Пластичне деформування до $\epsilon_p = 18\%$ призводить до росту границі втому сталі 17ГІС. Найбільший ефект досягається при $\epsilon_p = 5\text{--}7\%$. При подальшому збільшенні ϵ_p від 18 до 25% значення σ_{-1} падають нижче вихідного рівня.

Відзначимо зниження короточасної тріщиностійкості зразків, які попередньо деформували розтягом (рис. 4). Середнє значення K_C визначене на зразках у вихідному стані, становило 122 МПа $\sqrt{м}$. Із зростанням ϵ_p параметр K_C зазнавав хвилеподібної зміни: до $\epsilon_p = 10\%$ продовжувався його спад, а при $\epsilon_p = 15\text{--}20\%$ спостерігалось навіть деяке зростання з наступним новим різким спадом. Найменшу величину K_C (93 МПа $\sqrt{м}$) отримали при $\epsilon_p = 25\%$.



а)



б)

Рис. 3. Залежність модуля Юнга (а) і коефіцієнта поперечної деформації (б) сталі 17Г1С від величини попередньої пластичної деформації розтягу

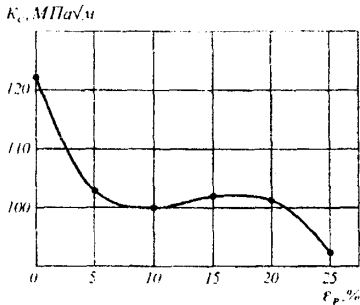


Рис. 4. Залежність в'язкості руйнування K_c сталі 17Г1С від величини попереднього пластичного деформування

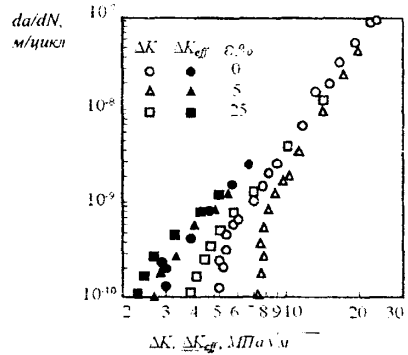


Рис. 5. Кінетичні діаграми втомного руйнування da/dN - ΔK (світлі символи) та da/dN - ΔK_{eff} (темні символи), побудовані для сталі 17Г1С у вихідному стані (\bullet, \circ) та після її попереднього пластичного деформування ($\blacktriangle, \blacksquare, \blacktriangle, \square$)

Результати випробувань на циклічну тріщиностійкість подано на рис. 5. Встановлено, що для діапазону високих значень $K=15 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$ і вище циклічний наклеп практично не впливає на опір поширенню втомної тріщини. Зниження рівня циклічного навантаження проявляє позитивний ефект обробки сталі 17Г1С при $\epsilon_p = 5\%$. В даному випадку величина ΔK_{th} зростає від $5 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$ для сталі у вихідному стані до $7,3 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$ для наклепаних зразків. Пластичне деформування при $\epsilon = 25\%$ дало зворотній ефект: значення ΔK_{th} впало до $3,8 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$.

Оцінка закриття втомної тріщини дозволила побудувати ефективні діаграми da/dN - ΔK_{eff} . У результаті не виявлено різниці за кінетикою втомного росту

тріщини стосовно ефективного розмаху ΔK_{eff} для двох досліджених варіантів сталі ($\epsilon = 0\%$ і $\epsilon = 5\%$). Порогові значення ефективного розмаху коефіцієнтів інтенсивності напружень ΔK_{eff} знаходились для сталі у вихідному стані та наклепаній при $\epsilon_p = 5\%$ на рівні $2,9 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$. В той же час зразки, пластично деформовані до $\epsilon = 25\%$, показали величину цього параметру дещо нижчу ($\Delta K_{\text{eff}} = 2,3 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$).

Зниження циклічної тріщиностійкості зразків попередньо пластично деформованих при $\epsilon = 25\%$ пояснюється вичерпанням більшої частини запасу пластичності та виникненням в їх матеріалі мікротріщин в результаті великих зсувових ефектів. Крім того, зроблений висновок про відповідальність закриття тріщини за позитивний ефект попереднього пластичного деформування при $\epsilon = 5\%$ на циклічну тріщиностійкість сталі.

Вивчений характер впливу дистильованої води на процеси наклепу та старіння, що супроводять розвиток тріщин при експлуатації трубопроводу. Встановлено, що при наведенні тріщини в присутності дистильованої води практично усувається вплив циклічного наклепу та старіння на величину K_{IC} сталі 17Г1С. Результати механічних випробувань підтверджені електроннографічним аналізом зломів зразків.

Показано, що такі експлуатаційні чинники, як циклічне тренування при підвищених амплітудах ($\sigma_a = 370 \text{ МПа}$), циклічне тренування і старіння, разові перевантаження зразків з тріщинами, разові перевантаження і старіння призводять до спаду величини K_{IC} порівняно з її вихідним значенням.

У п'ятому розділі роботи наведені результати досліджень з оцінки залишкової міцності магістральних трубопроводів з тріщинами. Збільшення інтенсивності відмов магістральних трубопроводів з часом експлуатації пов'язують з двома причинами – розвитком дефектів типу тріщин і старінням металу. Останнє проявляється в тому, що звичайні характеристики міцності (границі міцності σ_B і текучості σ_T) зростають, викликаючи ілюзію збільшення залишкової міцності. Насправді ж небезпека старіння металу полягає в погіршенні властивостей пластичності та тріщиностійкості. Ось чому оцінка залишкової міцності магістральних трубопроводів – це, насамперед, оцінка їх здатності чинити опір розвитку тріщин. В цьому плані вивчали короточасне поширення тріщини в сталі 17Г1С. Різний ресурс пластичності досягався зміною температури відпуску від 370 до 920К. Аналіз результатів досліджень, представлених на рис.6а показав, що для сталі 17Г1С оцінка K_{IC} можлива при температурі відпуску нижче 600К. Вище цієї температури відпуску значення K_{IC} були недостовірними (пунктирна лінія на графіку). Для зразків прийнятого розміру оцінка схильності до крихкого руйнування за величиною δ_k (на відміну від K_{IC}) може бути проведена на всьому діапазоні температур відпуску.

Оскільки трубні сталі використовуються в експлуатації, в основному, в нормалізованому стані, то була також проведена оцінка зміни характеристик в'язкості руйнування таких сталей залсжно від температури випробувань.

Як видно з рисунка 6б, з підвищенням температури випробувань значення K_{IC} різко зростають. При $T_{\text{випр}} = 240\text{К}$ і вище параметр K_{IC} стає недостовірним

(пунктирна лінія на графіку). З наведених даних видно переваги δ_k -методу для пластичних сталей, стосовно до яких на зразках прийнятого розміру неможливо дати належну оцінку K_{IC} . Проведений аналіз діаграм руйнування та макробудови зломів зразків, утворених при визначенні критичного розкриття тріщини, встановив ті особливості, коли поширення тріщини відбувається за наявності суттєвої пластичної деформації, недопустимої при випробуваннях для підрахунку K_{IC} . Вивчення мікробудови зломів показало, що за ділянкою втомного нанесення тріщини слідує, зазвичай, специфічна зона витяжки, яка є відповідальною за досяжний рівень в'язкості руйнування зразків. Оскільки для сталей з підвищеною пластичністю оцінку в'язкості руйнування доцільно проводити за критичним розкриттям, заслуговує уваги зв'язок між δ_k і шириною зони витяжки \bar{a} . Оцінки, проведені на сталі 17Г1С, зафіксували лінійний зв'язок між \bar{a} і δ_k (рис.7).

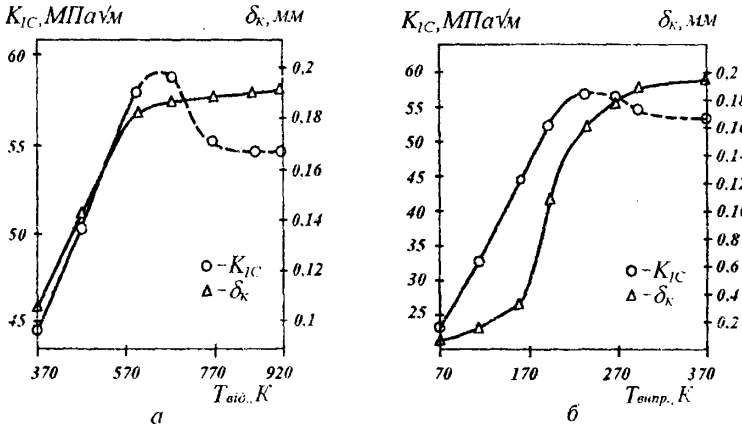


Рис. 6. Зміна характеристик в'язкості руйнування сталі 17Г1С залежно від температури відпуску (а) та температури випробувань (б)

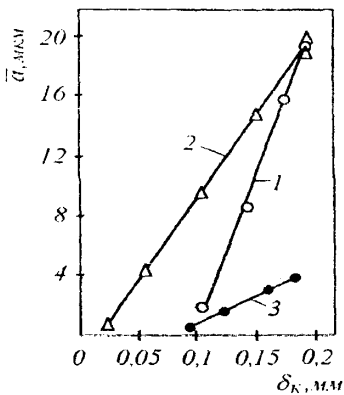


Рисунок 7. Залежність ширини зони витяжки \bar{a} від δ_k при зміні температури відпуску (1 – випробування на повітрі, 3 – в присутності дистильованої води) і температури випробувань (2) для нормалізованої сталі 17Г1С

Аналіз проведених експериментальних даних дозволив нам запропонувати залежність

$$\delta_k = \frac{\sigma_{0,2}(1-\mu)}{B \cdot E} (\bar{a} + A),$$

де E і μ – константи пружності; $\sigma_{0,2}$ – умовна границя текучості; A і B – додаткові константи, що визначаються експериментальним шляхом.

Дистильована вода знижує в'язкість руйнування матеріалу. З ростом температури відпуску вплив рідкого середовища слабне, проте він відчувається навіть після нормалізації, зменшуючи δ_k майже на 4%. Лінійна залежність між δ_k і шириною зони витяжки дією води не порушується. Адсорбційне зниження величини в'язкості руйнування під дією рідкого середовища зумовлене ослабленням бар'єрної дії зони витяжки та супроводжується її звуженням (для пластичних сталей) або повним зникненням (для сталей зі зниженою пластичністю). Дистильована вода також змінює морфологію та розміри поверхневих утворень на ділянках короткочасного поширення тріщин: виникають більш гладкі фасетки міжзеренного руйнування без помітних слідів пластичної деформації, зменшуються розміри димплів, які спостерігаються в зломах високо пластичних сталей безпосередньо за зоною витяжки.

Тривала експлуатація магістрального газопроводу зумовлює зниження опору сталі труб поширенню тріщини. Ефект зменшення в'язкості руйнування більш відчутний для тріщин, орієнтованих вздовж твірної труби, ніж впоперек. Поздовжньо орієнтовані тріщини також більш чутливі до впливу дистильованої води. Найбільший окрихчучий ефект одержаний на зразках, вирізаних з експлуатованих виробовж 29 років труб таким чином, де тріщини були орієнтовані вздовж твірної, а випробування проводились в дистильованій воді. Відносно нової сталі в останньому випадку спад критичного розкриття тріщини склав 26,4%.

ВИСНОВКИ

На основі виконаних комплексних теоретичних і експериментальних досліджень вирішено важливу науково-технічну задачу із забезпечення безаварійної експлуатації магістральних газопроводів в зсувонебезпечних гірських умовах шляхом розробки нових підходів до оцінки технічного стану потенційно небезпечних ділянок.

1. Використанням методу ПІЕМПЗ встановлено, що будь-яке втручання в рівновагу гірського масиву провокує утворення вогнищ механічних напружень, тобто є концентратором напружень і джерелом зародження майбутніх зсувів при відповідних умовах. До таких концентраторів напружень належать траси магістральних газопроводів, прокладених в горах. Оперативний контроль за напружено-деформованим станом масивів гірських порід по трасах трубопроводів, повторні спостереження на особливо небезпечних ділянках дозволяють відслідкувати динаміку поля напружень і спрогнозувати розвиток геологічних процесів, а також побудувати схему навантаження об'єкта.

2. Розроблена методика з визначення допустимого рівня довільно орієнтованого навантаження на трубу в області сповзання ґрунту. Реальну величину додаткового навантаження, яке чинить рухомий ґрунт на трубопровід, та її залежність від напрямку сповзання належить знайти на підставі натурних спостережень або структурної теорії. Порівнюючи реальну чи прогнозовану величину навантаження з допустимою, можна судити про безпеку об'єкта.

3. Попередня пластична деформація сталі 17Г1С незалежно від знаку напружень, що викликають наклеп, приводить до зміни пружних характеристик. Значення коефіцієнта поперечної деформації більш явно, ніж модуля Юнга, відображають вплив наклепу. Старіння матеріалу сприяє поверненню його властивостей аж до вихідного стану. Пластична деформація до $\varepsilon_p = 18\%$ призводить до росту границі втоми сталі 17Г1С, досягаючи максимуму при $\varepsilon_p = 5 \dots 7\%$. При подальшому збільшенні ε_p значення σ_{-1} падають нижче вихідного рівня.

4. Невелике попереднє пластичне деформування сталі 17Г1С ($\varepsilon_p = 5\%$) несуттєво знижує статичну тріщиностійкість (до 16%), проте різко підвищує опір втомному росту тріщини (ΔK зростає до 50%) при низьких припорогових рівнях втомного навантаження. Цей вплив зумовлений виключно зміною закриття втомної тріщини. Зростання пластичного деформування (до $\varepsilon_p = 25\%$) суттєво знижує як статичну, так і циклічну тріщиностійкість, що пояснюється вичерпанням більшої частини запасу пластичності та виникненням в матеріалі мікро тріщин в результаті великих зсувових ефектів.

5. Встановлено, що циклічне тренування при підвищених амплітудах ($\sigma_c = 370$ МПа), циклічне тренування і старіння, разові перевантаження зразків з тріщинами, разові перевантаження і старіння призводять до спаду величини K_C порівняно з її вихідним значенням. Вивчений характер впливу дистильованої води на процеси наклепу та старіння, що супроводжують розвиток тріщин при експлуатації трубопроводів. При наведенні тріщини в присутності дистильованої води практично усувається вплив циклічного наклепу та старіння на величину K_C сталі 17Г1С. Тому при оцінці залишкової міцності магістральних трубопроводів з тріщинами поряд з вихідним рівнем в'язкості руйнування необхідно врахувати і здатність матеріалу до експлуатаційного окрихнення.

6. Порівняльна оцінка тріщиностійкості трубної сталі 17Г1С за критичними коефіцієнтами інтенсивності напружень і δ_K -критерієм показала, що при температурі випробувань 240К і вище параметр K_{IC} стає недостовірним. Це пов'язано з тим, що при підвищених температурах поширення тріщини супроводжується суттєвою пластичною деформацією, недопустимою при випробуваннях для підрахунку K_{IC} . Тому при таких експлуатаційних умовах оцінку опору поширенню тріщини доцільно здійснювати за δ_K -критерієм.

Електроннофрактографічним аналізом показано, що за ділянкою втомного нанесення тріщини слідує, як правило, специфічна зона витяжки, яка є відповідальною за досяжний рівень в'язкості руйнування зразків. Встановлені кореляційні залежності між шириною зони витяжки та рівнем δ_K для трубної сталі 17Г1С.

7. Тривала експлуатація магістральних газопроводів зумовлює зниження опору сталі 17Г1С поширенню тріщини. Ефект зменшення в'язкості руйнування більш відчутний для тріщин, орієнтованих вздовж твірної труби, ніж попереку. Поздовжньо орієнтовані тріщини також більш чутливі до впливу дистильованої води.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Крижанівський Є.І., Рудко В.П., Онищук О.О., Петрина Д.Ю. Оцінка тріщиностійкості магістральних трубопроводів з позиції δ_k -моделі //Науковий вісник Івано-Франківського технічного університету нафти і газу.-2002.-№2(3).-С.66-73. (Оцінка тріщиностійкості сталі 17Г1С з позиції δ_k -моделі, 50%).
2. Крижанівський Є.І., Гончарук М.І., Рудко В.П. Деформація металу газопроводу при тривалому статичному навантаженні //Науковий вісник Івано-Франківського технічного університету нафти і газу.-2003.-№1(5).-С31-34. (Встановлення видів деформації при тривалому статичному навантаженні трубопроводів, 15%).
3. Крижанівський Є.І., Рудко В.П., Онищук О.О., Петрина Д.Ю. Оцінка тріщиностійкості магістральних трубопроводів за критичними коефіцієнтами інтенсивності напружень //Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ.-2003.-№1(6).-С.6-11.(Здійснена порівняльна оцінка тріщиностійкості трубопроводів за параметрами δ_k і K_{IC} , 15%).
4. Петрина Ю.Д., Рудко В.П., Онищук О.О. Вплив параметрів перекачування сірководневих газів на корозійну тривкість трубної сталі // Машинознавство. – 2003. №6.- С.24–26. (Визначення температурних режимів роботи трубопроводів, 20%).
5. Крижанівський Є.І., Рудко В.П., Онищук О.О., Петрина Ю.Д. Вплив попереднього пластичного деформування на механічні характеристики сталі 17Г1С-У // Наукові нотатки ЛДТУ.–Луцьк.–2003.–Вип.13.–С.150-159. (Узагальнені результати впливу попереднього пластичного деформування на механічні характеристики сталі 17Г1С, 50%).
6. Крижанівський Є.І., Рудко В.П., Саломатін В.М., Шкіца Л.Є. Прогнозування та попередження зсувів на гірських трасах газопроводів // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ.-2004.-№3.-С.5-9. (Розроблені теоретичні основи прогнозування зсувів на трасах газопроводів, 40%).
7. Крижанівський Є.І., Рудко В.П., Шацький І.П. Оцінка допустимих навантажень на трубопровід у зоні сповзання ґрунту // Фіз.-хім. механіка матеріалів.-2004.-№4.-С.98-100. Оцінка напружено-деформованого стану трубопроводу у зоні сповзання ґрунту, 50%).
8. Ye. Kryzhanivskiy, D. Petryna, O. Onystchuk, V. Rudko. Effect of hydrogenation and plastic predeformation on the crack growth resistance of structural steel. // Buletin științific, Seria C, Vol.XVII.–Baia Mare, 2003.–P.173–176. (Вивчено вплив попереднього пластичного деформування на тріщиностійкість трубної сталі, 30%).

АНОТАЦІЯ

Рудко В.П. Забезпечення безаварійної роботи газопроводів в зсувонебезпечних гірських районах.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.13 – нафтопроводи, бази та сховища. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, 2005.

Розглянуті методи і засоби оперативного контролю за напружено-деформованим станом масивів гірських порід по трасах трубопроводів, що дозволяють відстежити динаміку поля напружень і спрогнозувати розвиток геологічних процесів, а також побудувати схему навантаження об'єкта. Розроблена методика з визначення допустимого рівня довільно орієнтованого навантаження на трубу в області сповзання ґрунту.

Наведені результати експериментальних досліджень з визначення механічних характеристик пластично деформованих при перевантаженнях трубних сталей. Дана науково обґрунтована основа доцільності оцінки опору поширення тріщини трубої сталі за δ_k -критерієм. Тривала експлуатація магістральних трубопроводів зумовлює зниження опору поширенню тріщини.

Ключові слова: магістральний трубопровід, природне імпульсне електромагнітне поле Землі (ПЕМПЗ), напружено-деформований стан, в'язкість руйнування, циклічна тріщиностійкість, критичний коефіцієнт інтенсивності напружень, δ_k -критерій.

АННОТАЦИЯ

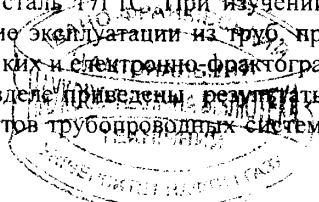
Рудко В.П. Обеспечение безаварийной эксплуатации газопроводов в оползнеопасных горных условиях. – Рукопись. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.13 – нефтегазопроводы, базы и хранилища, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Ивано-Франковск, 2005.

Диссертация состоит из введения, пяти разделов, общих выводов, списка использованных литературных источников и приложения.

В **первом** разделе выполнен анализ факторов, которые влияют на безаварийную эксплуатацию газопроводов в оползнеопасных горных условиях, обоснованы основные задачи исследований.

Во **втором** разделе описаны объекты и методы исследований. Для изучения напряженно-деформированного состояния массивов горных пород использовали новый экспресс-метод геофизических исследований естественного импульсного электромагнитного поля Земли. В механических испытаниях использовали образцы, вырезанные с новых труб диаметром 1020мм (толщина стенки 12мм). Материал – сталь 17ГПС. При изучении закономерностей деградации материала вследствие эксплуатации из труб проработавших 29 лет. Описаны методики механических и спектрально-фрактографических исследований.

В **третьем** разделе приведены результаты исследований предохранения от перегрузок объектов трубопроводных систем в оползнеопасной зоне. Пока-



зано, что любое вмешательство в равновесие горного массива провоцирует образование очагов механических напряжений, которые являются концентратором напряжений и источником зарождения будущих оползней при соответствующих условиях. К таким концентраторам напряжений принадлежат трасы магистральных газопроводов, проложенных в горах. Оперативный контроль за напряженно-деформированным состоянием массивов горных пород по трасах трубопроводов, повторные наблюдения на особо опасных участках позволяют отследить динамику поля напряжений и спрогнозировать развитие геологических процессов, а также построить схему нагрузки объекта.

Разработана методика определения допускаемого уровня произвольно ориентированной нагрузки на трубу в области оползней почвы. Реальную величину добавочной нагрузки, которую создает движимая почва на трубопровод и ее зависимость от сползания надлежит найти на основании натуральных наблюдений или структурной теории. Сравнивая реальную или прогнозируемую величину напряжения с допускаемой, можно судить о безопасности объекта.

В четвертом разделе показано, что предварительная пластическая деформация стали 17Г1С независимо от знака напряжений, вызывающих наклеп, приводит к изменению упругих характеристик. Старение материала содействует возвращению его свойств вплоть до исходного состояния. Пластическая деформация до $\epsilon_p = 18\%$ приводит к росту предела усталости стали 17Г1С, достигая максимума при $\epsilon_p = 5...7\%$. При дальнейшем увеличении ϵ_p значения σ_1 падают.

Небольшая предварительная пластическая деформация стали 17Г1С ($\epsilon_p = 5\%$) несущественно снижает статическую трещиностойкость (до 16%) и резко повышает сопротивление усталостному росту трещины (K возрастает к 50%) при низких припороговых уровнях усталостного нагружения. Рост пластического деформирования до $\epsilon_p = 25\%$ существенно снижает как статическую, так и циклическую трещиностойкость.

Циклическая тренировка при повышенных амплитудах ($\sigma_a = 370\text{МПа}$), циклическая тренировка и старение, разовые нагрузки образцов с трещинами, разовые перегрузки и старение приводят к спаду величины K_C по сравнению с исходными значениями. При наведении трещины в присутствии дистиллированной воды практически устраняется влияние циклического наклепа и старения на величину K_C стали 17Г1С.

Пятый раздел посвящен оценке остаточной прочности магистральных трубопроводов с трещинами. Сравнительная оценка трещиностойкости трубной стали 17Г1С по критическим коэффициентам интенсивности напряжений и δ_k - критерием показала, что при температуре испытаний 240К и выше параметр K_{IC} становится недостоверным. Потому при таких эксплуатационных условиях оценку сопротивлению распространению трещины целесообразно проводить по δ_k - критерию.

Дистиллированная вода снижает уровень вязкости разрушения материала.

Длительная эксплуатация магистральных газопроводов снижает сопротивление стали 17Г1С распространению трещины. Эффект снижения вязкости разрушения более чувствителен для трещин, ориентированных вдоль образующей

трубы, чем поперек. Продольно ориентированные трещины более чувствительны к влиянию дистиллированной воды.

Ключевые слова: магистральный трубопровод, естественное импульсное электромагнитное поле Земли (ЕИЭМПЗ), напряженно-деформированное состояние, вязкость разрушения, циклическая трещиностойкость, критический коэффициент интенсивности напряжений, δ_k - критерий.

SUMMARY

Rudko V. P. Providing of accident-free exploitation of gas pipelines in a landslide dangerous mountain areas.

The thesis for obtaining the degree of the Candidate of Technical Science in the speciality 05.15.13 – Oil Pipelines, Tank Farms and Storages. – Ivano-Frankivsk: National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2005.

Methods and means for operational control of rock massifs deflection mode along the routes of pipelines are considered. These methods and means allow to follow the dynamics of stress field and to make a forecast of the development of geological processes and also to scheme the object's loading. The methods of determination of permissible level of free-oriented loading on the pipe in the area of landslides developed.

The results of experimental researches of mechanical characteristics determination of plastically-deformed pipe steels during overloading are given. Scientifically substantiate base of advisability of estimation of resistance of pipe steel crack spreading according to δ_k – criterion is given. Durational exploitation of main pipelines determines the decrease of resistance to the spreading of a crack.

Keywords : main pipeline, natural impulsive electromagnetic field of Earth, deflection mode, fracture toughness, cyclic crack-resisting, critical coefficient of stress intensity, δ_k – criterion.