

622,692.4.052/043
Б 24

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Івано-Франківський національний технічний університет
нафти і газу

Басараб Роман Миколайович



УДК 622.692.4

**ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ
ВНУТРІШНЬОСТАНЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ
НАФТОПРОВІДІВ НА ОСНОВІ ДІАГНОСТУВАННЯ ЇХ
ТЕХНІЧНОГО СТАНУ**

05.15.13 – трубопровідний транспорт, нафтогазосховища

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Івано-Франківськ – 2014

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Фізико-механічному інституті ім. Г.В. Карпенка
Національної академії наук України.

Науковий керівник доктор технічних наук, професор **Скальський
Валентин Романович**, Фізико-механічний інститут ім.
Г.В. Карпенка Національної академії наук України
(Львів), завідувач відділу акустико-емісійного
діагностування елементів конструкцій.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор **Білобран Богдан
Степанович**, Національний університет “Львівська політехніка”
Міністерства освіти і науки України (Львів),
професор кафедри опору матеріалів;

кандидат технічних наук, доцент **Яворський Андрій
Вікторович**, Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу Міністерства освіти і науки
України (Івано-Франківськ), доцент кафедри технічної
діагностики та моніторингу.

Захист відбудеться “24” червня 2014 року о 14 год. 00 хв. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.04 при Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою: вул. Карпатська, 15, Івано-Франківськ, Україна, 76019.

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

Автореферат розісланий “22” травня 2014 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
к.т.н., доцент



Пилипів Л.Д.

Актуальність теми. Надійна експлуатація магістральних нафтопроводів є однією із найважливіших науково-технічних загальнодержавних задач, оскільки наслідки їх аварій часто стають значними техногенними катастрофами. За час довготривалої експлуатації внаслідок старіння в матеріалах елементів обладнання нафтопроводів пройшли зміни структури металу, його механічних властивостей, з'явилися корозивно пошкодженні та суттєво напружені ділянки. Проте негайна заміна вузлів чи окремих ділянок трубопроводів у більшості випадків є технічно та економічно недоцільною, оскільки метал ще не вичерпав свій залишковий ресурс і за належної організації експлуатації можна забезпечити їхню надійну безаварійну роботу поза регламентованим терміном. Для цього необхідно проводити технічне діагностування (ТД) та моніторинг найнебезпечніших ділянок сучасними методами і засобами неруйнівного контролю (НК), які побудовані на різних фізичних явищах, та використовувати новітні досягнення теоретичних і експериментальних досліджень для побудови ефективних методик розрахунку залишкового ресурсу.

Найскладнішими вузлами, що входять до складу магістральних нафтопроводів, є внутрішньостанційні технологічні нафтопроводи та обладнання нафтопомпувальних станцій (НПС), які найчастіше визначають терміни їх безпечної експлуатації. Внаслідок цього саме таке обладнання потребує найбільше обстежень та моніторингу з використанням сучасних методологічних підходів та методик для ТД і розрахунку залишкового ресурсу. Адже експлуатація його в умовах дії зовнішніх силових навантажень, перепадів температур, високих механічних напружень, циклічної зміни експлуатаційного тиску, протікання корозії, наводнення тощо призводить до виникнення у матеріалі різного роду дефектів, найнебезпечніші з яких є тріщини.

На даний час у ТД згаданого вище обладнання та трубопроводів поєднують підходи оцінювання міцності матеріалів, металознавство і неруйнівний контроль. Однак відомі методи розрахунку залишкового ресурсу не повністю враховують окремі особливості умов експлуатації. У зв'язку з цим виникла необхідність удосконалення існуючих і створення нових методів і засобів ТД та оцінки залишкової довговічності, які дали б змогу визначати координати місць зародження чи розвитку руйнування, брати до уваги такі важливі умови експлуатації технологічних нафтопроводів як високі механічні напруження у низькочастотних циклах перепадів тиску робочого середовища, вплив водневого чинника і циклічного навантаження у разі наявності у матеріалі тріщини.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Вибраний напрям досліджень відповідає науковій тематиці відділу акустико-емісійної діагностики елементів конструкцій ФМІ ім. Г.В. Карпенка НАН України, де виконана дисертація. Дослідження за темою дисертації проводились у рамках держбюджетної наукової теми за відомчим замовленням НАН України у 2011–2013 рр. – “Дослідження особливостей впливу наводнення та концентрації водню на параметри магнетопружної акустичної емісії”, номер держреєстрації 0111U002378, а також дослідження тематики інституту: “Акустико-емісійне діагностування обладнання станцій”, гд №693, “Акустико-емісійна локація місць виникнення тріщин у конструкціях обладнання нафтопом-

НТБ
ІФТУНГ



an2441



пувальних станцій” г/д №880; “Розроблення, виготовлення та налаштування портативної восьмиканальної вимірювальної системи SKOP-8M для АЕ-діагностування промислових об’єктів”, г/д №1086, де дисертант був виконавцем.

Мета і задачі дослідження. Прогнозування залишкового ресурсу внутрішньостанційних технологічних нафтопроводів тривало експлуатованих НПС на підставі застосування акустичних методів неруйнівного контролю та підходів лінійної механіки руйнування для діагностування їх стану.

Для досягнення поставленої в роботі мети необхідно розв’язати такі науково-технічні задачі:

- зробити аналіз і синтез фізичних процесів, що призводять до зародження і розвитку дефектів різної природи у матеріалах внутрішньостанційних технологічних нафтопроводів НПС і побудувати модель їхнього взаємозв’язку, а відтак і модель розрахунку залишкового ресурсу за наявності в них тріщин;

- дослідити вплив експлуатаційного динамічного навантаження на руйнування нафтопроводів на основі побудови діаграми малоциклової втоми для трубних сталей таких нафтопроводів з урахуванням різного ступеню їхнього деградування.

- експериментально дослідити реальний опір руйнуванню деградованого за час тривалої експлуатації матеріалу фрагмента нафтопроводу під дією внутрішнього циклічного гідравлічного тиску;

- оцінити характер зміни технічного стану внутрішньостанційних технологічних нафтопроводів комплексним акустичним діагностуванням і на цій основі зробити прогноз їх залишкової довговічності за наявності тріщин і під дією багатоциклового навантаження та водню;

Об’єктом досліджень є процес зміни технічного стану внутрішньостанційних технологічних нафтопроводів за час довготривалої експлуатації та їхнє руйнування.

Предметом досліджень є методи та засоби контролю технічного стану внутрішньостанційних технологічних нафтопроводів нафтопомпувальних станцій та розроблення методик розрахунку залишкового ресурсу за наявності в матеріалах тріщин і дії циклічного навантаження та наводнювання.

Методи дослідження. У дослідженнях використано методи і критерії механіки руйнування за малоциклової втоми та циклічної тріщиностійкості, методи фізико-хімічної механіки руйнування з урахуванням сумісної дії експлуатаційних навантажень і водневовмісного середовища, метод триангуляції для визначення координат джерел акустичної емісії (АЕ), числовий метод Рунге-Кутта для розв’язування диференціальних рівнянь поширення контуру півеліптичної втомної тріщини, узагальнений закон Фіка для визначення концентрації водню у вершині тріщини, методи магнетної та ультразвукової дефектоскопії, фізичний експеримент та методи статистичного опрацювання результатів випробувань.

Положення, що захищаються.

Встановлення закономірностей зміни амплітудно-частотних характеристик сигналів АЕ для виявлення місць утворення та типів руйнування шляхом поширення тріщин у внутрішньостанційних технологічних нафтопроводах НПС з метою розрахунку їх залишкового ресурсу за швидкістю росту макротріщини із урахуванням концентрації водню у її вершині.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у такому.

- вперше побудовано описову фізичну модель взаємозв'язку факторів впливу, що спричиняють зародження і розвиток руйнування елементів внутрішньостанційних технологічних нафтопроводів НПС і на цій основі також модель алгоритму розрахунку їх залишкового ресурсу за наявності тріщин;
- розвинуто методи акустичного неруйнівного контролю стану таких нафтопроводів і на підставі цього запропоновано нову комплексну методику, яка дає змогу виявляти як динаміку та координати руйнування, так і визначати його типи;
- вперше показано, що розрахунок залишкового ресурсу за параметрами малоциклової втоми зразків-вирізків не є коректним, оскільки при цьому можуть не попадати у місця вирізання макротріщини і не ураховується вплив середовища, що підтверджено результатами натурних випроб'ювань фрагментів нафтопроводу;
- для ідентифікування типів руйнування за сигналами АЕ розвинуто застосування методу їх вейвлет-перетворення, що дозволило розрізнити ріст тріщини від інших джерел генерування пружних хвиль, а відтак і підвищило достовірність результатів діагностування;
- вперше у новоствореній методиці аналітичного розрахунку залишкового ресурсу внутрішньостанційних технологічних нафтопроводів та обладнання НПС за результатами діагностування їх стану не тільки враховано кінетику росту втомної тріщини, а й вплив концентрації водню у її вершині і показано, що такий підхід дає зменшення залишкового ресурсу на 25– 30%, що йде у запас міцності і наближається до даних експериментальних випробувань фрагментів напрацьованого нафтопроводу.

Практична цінність отриманих результатів: створено комплексну методику акустичного діагностування внутрішньостанційних технологічних нафтопроводів, яка дає змогу визначати місця локального руйнування і після цього визначати розміри та глибину залягання дефектів типу тріщин. Її застосування показало високу ефективність за співвідношенням вартість затрат – якість і достовірність отриманих результатів за рахунок того, що майже виключено необхідність підготовки чистоти поверхні до обстеження.

Практична реалізація положень методики дала змогу виявити місця непроварів й інших дефектів зварного з'єднання трійника труби технологічної об'язки НПС, тріщин в околі кільцевого зварного з'єднання труб, неякісні ремонтні роботи засувки фільтрів тощо на реально діючому обладнанні НПС в польових умовах обстежень.

Проведено розрахунок за запропонованою новою методикою залишкового ресурсу елементів внутрішньостанційних технологічних нафтопроводів НПС та іншого обладнання, урахувавши дані їх акустичних обстежень. Отримані результати дали змогу підвищити достовірність діагностування, а відтак і гарантувати безпеку експлуатації об'єктів впродовж визначеного таким чином терміну його роботи.

Встановлено критичне початкове значення радіуса півеліптичної тріщини, за якого за певних умов експлуатації елемент трубопроводу з дефектом можна безпечно експлуатувати під дією втомного циклічного навантаження.

Одержані у дисертаційній роботі результати та рекомендації щодо технічної діагностики внутрішньостанційних технологічних нафтопроводів тривало експлуатованих НПС магістральних нафтопроводів успішно впроваджено в інженерно-технічних структурах Філії “Магістральні нафтопроводи “Дружба” ПАТ “Укртранснафта” НАК “Нафтогаз України”.

Достовірність отриманих результатів і висновків забезпечується використанням фундаментальних положень фізики і механіки руйнування конструкційних матеріалів, застосуванням сучасних числових методів розрахунку, коректною постановкою експериментальних досліджень, зіставленням деяких часткових і узагальнених результатів із відомими, застосуванням в експериментальних дослідженнях сучасних метрологічно атестованих засобів вимірювання і опрацювання результатів експериментів.

Особистий внесок здобувача. Основні наукові положення та результати, які становлять суть дисертаційної роботи, одержані автором самостійно. У публікаціях, написаних у співавторстві, здобувачеві належить: огляд літературних джерел [2], аналіз найсуттєвішого впливу різних фізичних чинників на зародження і ріст макротріщин [10, 13]; участь у розробленні та виготовленні обладнання для випробувань зразків–вірізок і проведенні експериментальних випроб зразків та фрагментів напрацьованого трубопроводу [7]; вибір варіантів встановлення первинних перетворювачів на об’єкті контролю з урахуванням згасання пружних хвиль АЕ в матеріалі труб; налаштування портативної АЕ-системи SKOP-8M за розробленою методикою [5, 9]; проведення АЕ-локації джерел небезпечних сигналів, що свідчать про динаміку руйнування [4]; отримання даних для розрахунку залишкового ресурсу елементів НПС з наявними макротріщинами [8]; опрацювання результатів розрахунку [3, 6, 11, 12] та підготовка рукописів до друку [1, 4, 9, 10]; розроблення рекомендацій щодо подальшого експлуатування обладнання.

Автор брав безпосередню участь у плануванні, організації і проведенні всіх експериментальних досліджень і натурних випробувань та аналізі їх результатів, розробці практичних рекомендацій щодо підвищення ефективності проведення діагностики технологічних трубопроводів та обладнання НПС з тривалим терміном експлуатації.

Апробація результатів дисертації. Результати досліджень доповідались на міжнародних науково-технічних конференціях: “Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах” (ВКДТС – 2013), (29–30 жовтня 2013, м. Вінниця); “Втома та термовтома матеріалів і елементів конструкцій” (28-31 травня, м. Київ, 2013); 19th Europ. Confer. on Fracture “Fracture Mechanics for Durability, Reliability and Safety” (Kazan, Russia, 26–31 August, 2012); 6 Міжнар. конф. “Математичне моделювання та інформаційні технології у зварюванні та споріднених технологіях” (29 травня – 1 червня 2012, Казивелі); IV Міжнар. конф. “Актуальні проблеми прикладної механіки та міцності конструкцій”, 8–12 червня 2012, м. Запоріжжя); “Проблеми і перспективи транспортування нафти і газу” (15 – 18 травня 2012 м. Івано-Франківськ); “Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтопромислового облад-

нання” (29 листопада – 2 грудня 2011 р., м. Івано-Франківськ); “Нафтогазова енергетика–2011” (10–14 жовтня 2011 р., м. Івано-Франківськ).

У повному обсязі робота доповідалась і обговорювалась на наукових семінарах відділу акустико-емісійного діагностування елементів конструкцій Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпена НАН України (м. Львів) та розширеному науковому семінарі факультету нафтогазопроводів Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (м. Івано-Франківськ).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 13 друкованих наукових праць, з них 6 – у фахових наукових виданнях, 3 з яких входять до наукометричної бази даних Scopus, отримано 1 патент України на винахід, решта праць – у збірниках міжнародних конференцій.

Структура дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновку, списку використаних джерел (162 посилання) і додатку. Її загальний обсяг становить 153 сторінки, куди входять 67 рисунків і 13 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано доцільність проведення досліджень та актуальність теми дисертації, сформульовано її мету і задачі, відзначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, наведено дані про їх апробацію і про публікації, які відображають основний зміст роботи.

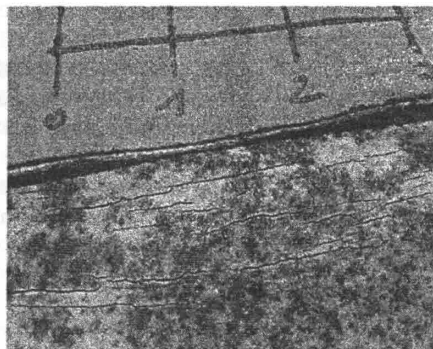
У першому розділі проаналізовано методи сучасного діагностування обладнання НПС та розрахунку їх довговічності за наявності дефектів та визначені основні задачі досліджень. Показано, що розв’язанню широкого кола теоретичних і практичних задач проектування, будівництва, експлуатації і діагностування технічного стану трубопроводів присвячені праці відомих вчених та спеціалістів: А.Б. Айбіндера, Ю.В. Банахевича, В.П. Березіна, Б.С. Білобрана, П.П. Бородавкіна, В.Я. Грудза, І.М. Дмитраха, В.М. Івасіва, І.І. Капцова, А.Я. Красовського, О.М. Карпаша, М.О. Карпаша, Є.І. Крижанівського, Г.М. Никифорчина, І.В. Орника, Й.В. Перуна, Ю.Д. Петрини, В.І. Похмурського, А.О. Рибаківа, М.Д. Середюк, О.З. Студент, Д.Ф. Тимківа, Л.С. Шлапака та інших. Розроблення методик технічного діагностування конструкцій і споруд висвітлено в працях О.С. Андрейківа, В.А. Вінокурова, К.М. Гатовського, Б.С. Касаткіна, В.І. Кир’яна, В.В. Книша, Л.М. Лобанова, В.І. Махненка, З.Т. Назарчука, А.Я. Недосеки, Г.А. Ніколаєва, Д.В. Руданського, В.Р. Скальського, Т.В. Талипова, І.П. Трочуна, А.В. Яворського та інших.

Проведено аналіз стану сучасної технічної бази засобів діагностування і проведення НК та моніторингу обладнання нафтопроводів, підходів щодо розрахунку залишкового ресурсу елементів конструкцій, які мають втомні тріщини. Підкреслено переваги і недоліки деяких найпоширеніших методів акустичного контролю.

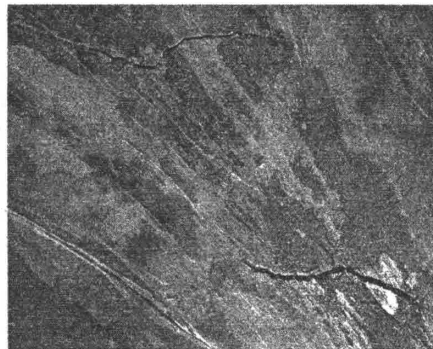
Підсумовано, що регламентовані у нормативних документах і нині діючі розрахункові методи обстеження та прогнозування залишкового ресурсу технологічних нафтопроводів НПС розвинуті недостатньо і потребують створення нових методик з урахуванням досягнень сучасної науки з руйнування матеріалів, технічних засобів неруйнівного контролю, а також числових методів розрахунку кінетики поширення втомних тріщин.

Другий розділ роботи містить аналіз отриманих автором результатів експертних багаторічних обстежень стану обладнання НПС, а також модель розрахунку його залишкового ресурсу за найвпливовішими чинниками макроруйнування, а також приведено алгоритм практичної реалізації моделі.

На рисунку 1 показані виявлені найпоширеніші дефекти металу нафтопроводів.



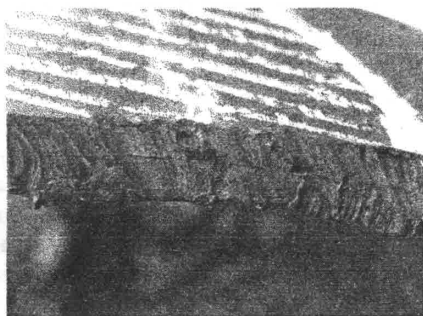
а



б



в



г

а – система паралельних поверхневих тріщин; б – довільно орієнтовані макротріщини; в – електрокорозивні пошкодження; г – розшарування металу

Рисунок 1 – Вигляд найпоширеніших дефектів металу трубопроводів технологічної обв'язки та обладнання НПС магістральних нафтопроводів

За результатами аналізу експертних обстежень створено фізичну модель взаємозв'язків описаних процесів (рисунок 2), а також показано їхній вплив на спричинення зародження і розвитку руйнування в обладнанні НПС. Як впливає із проведеного аналізу впливу різних чинників, серед найважливіших, які суттєво змінюють швидкість росту тріщин, а відтак і визначають ресурс обладнання НПС, необхідно виділити фізико-механічні. Тут, у свою чергу, особливе місце посідають

циклічні і статичні навантаження, наслідком впливу яких на зародження та розвиток руйнування деградованих за час експлуатації (особливо у разі окрихчення) матеріалів нафтотранспортного обладнання відводиться головна роль.

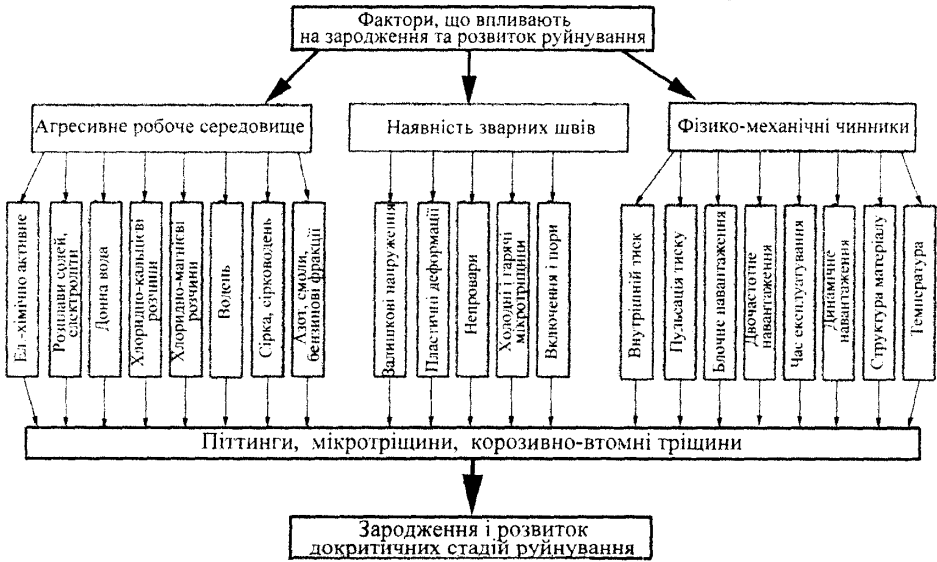


Рисунок 2 – Взаємозв'язок факторів, що діють на матеріал агрегатів працюючого обладнання НПС і спричиняють зародження і розвиток руйнування

Виходячи із викладеного вище, для визначення загальної довговічності елемента металоконструкції з тріщиною необхідно мати функції швидкості росту втомної тріщини, які визначають кінетику втомного руйнування. Для їх визначення запропоновано розрахункові моделі, що базуються на енергетичному підході механіки руйнування. В їхню основу закладено рівняння балансу енергій в термодинаміці (перший закон термодинаміки) та наступна гіпотеза: величина сумарного розсіювання енергії пружно-пластичних деформацій в матеріалі, що припадає на одиницю площі новоутвореної поверхні внаслідок росту втомної тріщини, є константою матеріалу за заданих зовнішніх умов і температури.

На підставі цього сформульовано фізичну модель протікання руйнування в обладнанні НПС, яка представлена у вигляді певних фізичних зв'язків, як показано на рисунку 3. Вона слугує основою алгоритму розрахунку залишкового ресурсу елементів НПС, які мають наявні макротріщини. Виходячи з цієї моделі, алгоритм розрахунку представлений у виконанні такої послідовності дій:

1. Провести методами неруйнівного контролю діагностику елементів обладнання НПС на предмет виявлення макротріщин.
2. У випадку виявлення оцінити їх розмір та орієнтацію у матеріалі.
3. З урахуванням режимів експлуатації визначити робоче напруження у перерізі матеріалу.

4. Визначити товщину стінки елемента конструкції з наявною макротріщиною та параметри циклу навантаження (амплітуду, частоту, асиметрію циклу).

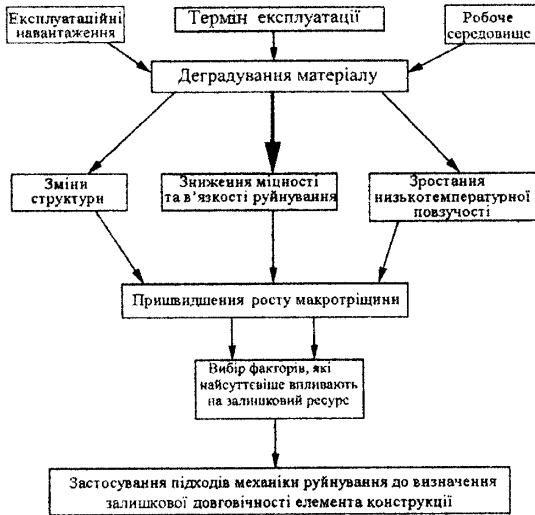


Рисунок 3 – Фізична модель алгоритму розрахунку залишкового ресурсу елементів НПС з урахування дії найвпливовіших чинників руйнування

5. За наявними довідниковими чи експериментально встановленими даними визначити необхідні для розрахунку залишкової довговічності елемента конструкції механічні характеристики та статичну тріщиностійкість напруженого матеріалу (σ_0 , K_{IC} чи K_{IAE}).
6. Провести розрахунок кінетики поширення наявної макротріщини на основі енергетичного підходу механіки руйнування.
7. Розрахувати залишковий ресурс елемента конструкції з тріщиною, виходячи з кінетики поширення макротріщини.
8. На підставі розрахунків прийняти рішення щодо можливості оптимальної подальшої експлуатації обладнання НПС з наявною макротріщиною або проведення необхідних ремонтно-профілактичних робіт.

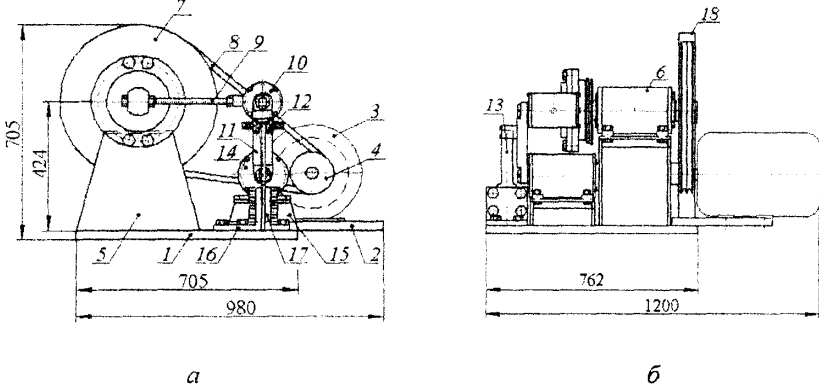
Таким чином встановлено, що для реально діючих наземних та підземних елементів обладнання НПС, найпоширенішими дефектами є тріщини, які мають довільну орієнтацію як на поверхні, так і в об'ємі матеріалу. Найсуттєвіше на тріщиноутворення впливають механічні навантаження (особливо циклічні і динамічні), які зумовлюють передчасне зародження та розвиток цих дефектів, особливо в окрихченому матеріалі обладнання. Негативний вплив на окрихчення та тріщиностійкість має й водень, який інтенсивно дифундує в матеріал в атомарному стані, а також агресивні робочі середовища, що прискорюють деградацію трубних сталей у взаємодії із механічними напруженнями.

На підставі цього впливає, що визначальним фактором для оцінки залишкової довговічності елементів обладнання НПС є циклічні (малоциклова та багатоциклова

втому) та динамічні навантаження, які в окремих випадках можуть досягати межі міцності матеріалів, а також наявність водню у вершині тріщини.

У *третьому* розділі подано результати експериментальних випроб зразків-вирізок, які виготовлені із сталей запасу та тривало експлуатованих протягом 48 років на нафтопроводах. Їх випробовували на малоциклову втому, а отримані результати зіставляли з даними натурних випроб фрагментів труб цієї ж тривалої експлуатації.

Для проведення випроб зразків-вирізок за малоциклової втоми розроблено і виготовлено спеціальну установку (рисунок 4). Вона працює у такий спосіб.



1 – основа; 2 – плита; 3 – електродвигун; 4 – шків електродвигуна; 5 – тумба;
6 – блок ексцентрика; 7 – шків; 8 – клиновий пас; 9 – тяга; 10 – вузол підшипника;
11 – важіль; 12 – вилка; 13 – зразок; 14 – нижній блок; 15 – нижній захоп;
16, 17 – кутники; 18 – захисний кожух

Рисунок 4 – Конструкція випробувальної установки

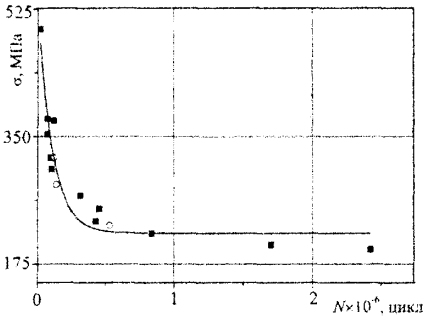
Крутний момент від електродвигуна через клинові паси передається на блок ексцентрика, який надає зворотно-поступального руху верхньому блоку, що відповідно призводить до коливального руху важеля. Дослідний зразок в нижній частині закріплений між кутниками, а у верхній – вставлений у вилку важеля, частота коливань якого змінюється заміною пар шківів електродвигуна і блока з ексцентриком і може мати дискретні значення 8 і 4 Гц. Амплітуда коливань встановлюється під час обертання диска з підшипником відносно диска на валу блока з ексцентриком і може становити від 0 до 30 мм.

На рисунку 5 приведені результати випроб. Як бачимо, найкращі характеристики втому виявилися у сталі 13 ГС, а найгірші – у сталі 13Г1С-У, про що свідчить як поріг витривалості, так і максимальні напруження циклу.

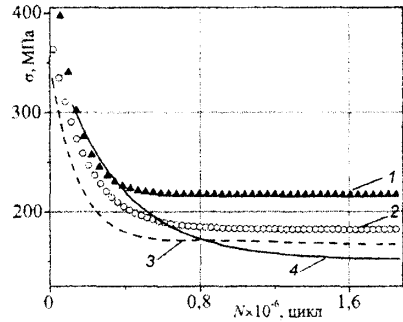
Експериментальні дані апроксимували степеневою залежністю (1)

$$\sigma = y = A_1 \exp(x/t_1) + y_0, \quad (1)$$

де A_1 , t_1 , y_0 – параметри апроксимації (див. табл.); x – кількість циклів навантаження; σ – максимальне напруження циклу.



а



б

1 – сталь 13ГС; 2 – сталь 12Г2С; 3 – сталь 20; 4 – сталь 13Г1С-У; (світлі кружечки на діаграмі втоми – суміщені дані випроб зразків з експлуатованої сталі 19Г)

Рисунок 5 – Діаграма втоми для зразків зі сталі 13Г1С-У (а) та криві апроксимації (б) результатів експериментів для різних зразків трубних сталей

Таблиця 1 – Числові коефіцієнти апроксимаційних кривих

Марка сталі	A_1	t_1	y_0	r
13ГС	305	108709	217	0,90084
13Г1С-У	221	339594	152	0,85396
Ст20	181	139490	169	0,97771
19Г	6697	28783	228	1,0
12Г2С	201	-180003	182	0,95659

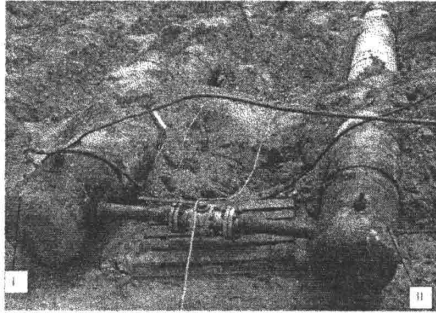
Примітка: r – коефіцієнт кореляції функції апроксимування.

Маючи такі дані, можна для будь-яких значень напружень σ знайти кількість циклів навантаження N до руйнування за залежністю (2) і навпаки

$$N = x = t_1 \ln[A_1 / (\sigma - y_0)]. \quad (2)$$

Це означає, що за цими результатами експериментальних досліджень можна визначити довговічність внутрішньостанційних технологічних нафтопроводів чи іншого обладнання НПС за зразками-вирізками, з точки зору впливу втоми в області обмеженої довговічності матеріалу, яка зумовлена перевантаженнями під час динамічного наростання в них тиску нафти тощо, як пропонують у своїх працях Є.К. Почтенний, А.С. Аїстов, М.І. Вольський, В.О. Кудін та інші. Це твердження перевіряли за результатами випроб вирізаних з тривало експлуатованого нафтопроводу фрагментів (котушок) труб зі сталі 19Г (DN 700) і зі сталі 20 (DN 500), які були в експлуатації 48 років (з 1963 по 2012 рр.). До них приварили еліптичні заглушки та різьбові з'єднувальні штуцери для подачі води (рисунок 6), а також в лінію нагнітання води були включені манометр і самопис. На зовнішній поверхні труби DN 720 виявлено корозивні дефекти, а трубу DN 500 у місцях дефектів

підсилили бандажем. Випробування проводили на спеціально сконструйованому і виготовленому стенді.



I – труба DN700; II – труба DN500

Рисунок 6 – Загальний вигляд котушок труб нафтопроводів під час стендових випроб

Після 6300 циклів навантаження тиском, що дорівнював 6,4 МПа, виявлено витікання води з котушки труби DN 500 під бандажем. Вирізвавши частину бандажа, встановлено місце витіку в зоні термічного впливу поздовжнього заводського зварного з'єднання. Труба DN700 зруйнувалася після циклічного навантаження за схемою: 6,4 МПа – 10000 циклів; 9, 10, 11, та 12 МПа – по 10 циклів кожне; 13 МПа – 5 циклів та 13,4 МПа – 1 цикл. В обох випадках асиметрія циклів навантаження була близькою до нуля.

Отже, випробування котушок показали неоднозначність оцінок їх втомних випроб порівняно з випробуваннями зразків-вирізків, оскільки на реально діючих нафтопроводах та їх обладнанні дефекти розташовані випадковим чином і у будь-який момент часу експлуатації можуть проявитися спорадично у довільному місці.

Четвертий розділ роботи присвячено розробленню методики комплексного акустичного діагностування, а відтак і обстеженню стану реально діючого обладнання НПС. Тут також описано методику оцінки залишкового ресурсу обладнання за даними таких обстежень для випадку виявлення тріщин.

Акустичні методи, які мають високу чутливість, надійність, простоту застосування, дозволяють отримати найкраще співвідношення “ціна затрат – ефективність та достовірність контролю” порівняно з іншими методами НК. Саме тому вони обрані для створення комплексної методики. Для цього обґрунтовано вибір двох сучасних методик акустичного діагностування – на основі методу акустичної емісії (АЕ) та ультразвукового контролю (УЗК). Це зумовлено тим, що саме вибрані методики дозволяють оцінити як динаміку розвитку тріщини і координати місця її знаходження (метод АЕ), так і достовірно оцінити після цього її розміри, глибину залягання й орієнтацію (метод УЗК)

Оскільки метод АЕ є пасивним методом НК і реагує тільки на динаміку зародження та розвитку дефектів, то спочатку ним виявляли місця руйнування (координати джерел АЕ), які надалі обстежували УЗК. Для цього використовували як лінійну локацію джерел АЕ на об'єкті контролю, так і метод їх локації на пло-

щині та циліндричній поверхні. У даному розділі описано алгоритм реалізації методики на об'єктах контролю, подано технічні характеристики вимірювальних засобів, які використовували під час проведення ТД.

Так, спочатку на всіх об'єктах контролю проводили АЕ-діагностування. Для цього використовували одночасно необхідну кількість вимірювальних каналів АЕ-системи SKOP-8M. Всі елементи обладнання випробовували внутрішнім тиском із одночасною реєстрацією сигналів АЕ. Для випробувань на окремих ділянках НПС тиск у нафтопроводі змінювали двома способами: ступінчастим зменшенням від робочого значення до деякої мінімальної межі, а також збільшенням до 6,25 МПа. В якості первинних перетворювачів АЕ використали квазірезонансні сенсори з робочою смугою частот 0,2...0,6 МГц. Коефіцієнт підсилення попередніх підсилювачів становив 34 дБ.

Перед початком робіт здійснювали відповідні налаштування портативних АЕ-систем SKOP-8M: кількість вимірювальних каналів – 8 (підсилення кожного 40 дБ); тривалість вибірки (мс) – 2; період дискретизації аналогового сигналу (мкс) – 0,5; частота зрізу фільтра низьких частот (кГц) – 600; фільтра високих частот (кГц) – 200; поріг дискримінації (%) – 28; рівень власних шумів, приведених до входу попереднього підсилювача (мкВ) – 7.

У результаті налаштувань та оцінки заникання пружних коливань у матеріалах обладнання НПС отримали, що первинні перетворювачі на прямих ділянках можна розташувати з кроком не більше 4 м, а на технологічному обладнанні (засувки, клапани, трійники, коліна, корпуси обладнання, що виготовлені за допомогою литва) – не більше 2 м.

На рисунку 7 показано характерний вигляд сигналів АЕ та їх неперервне вейвлет-перетворення (НВП), які були отримані нами під час діагностування об'єкта I. За допомогою неперервного вейвлет-перетворення сигналів встановили, що: діапазон значень максимальних вейвлет-коефіцієнтів $WT_{max} - 0,08...0,16$; ширина смуги спектрів частот Δf на рівні $0,7 \times WT_{max} - 55...170$ кГц; діапазон значень критеріального параметра $\kappa - 0,2...1,0$, що відповідає крихкому руйнуванню, за критеріями, які приведено у працях В.Р. Скальського з учнями. За даними значеннями критеріального параметра було зроблено висновок про необхідність додаткових обстежень досліджуваної ділянки іншими методами НК на предмет виявлення та оцінки розмірів тріщиноподібних дефектів. У результаті додатково проведених досліджень ультразвуковим та магнетним методами виявили тріщину на згині трубопроводу, яка розвивалась. Для забезпечення подальшої безпечної експлуатації об'єкта ділянку з виявленим дефектом замінили новим елементом.

Аналогічним чином під час діагностування елементів об'язки фільтрів на об'єкті II було встановлено, що проведені раніше ремонтні роботи з профілактики обладнання НПС виконані неякісно, у результаті чого сигнали АЕ були спричинені вібрацією запираючого клапана (клина) всередині засувки.

На об'єкті III діагностували трійник між двома засувками. На рисунку 8 подано хвильове відображення типового сигналу, який реєстрували одним із вимірювальних АЕ-каналів. Координати джерела вказували на один зі швів трійника. Вейвлет-перетворення сигналів показало їхню відповідність за критеріальним

показником до крихкого та в'язкого руйнування, механізми яких чергувались між собою.

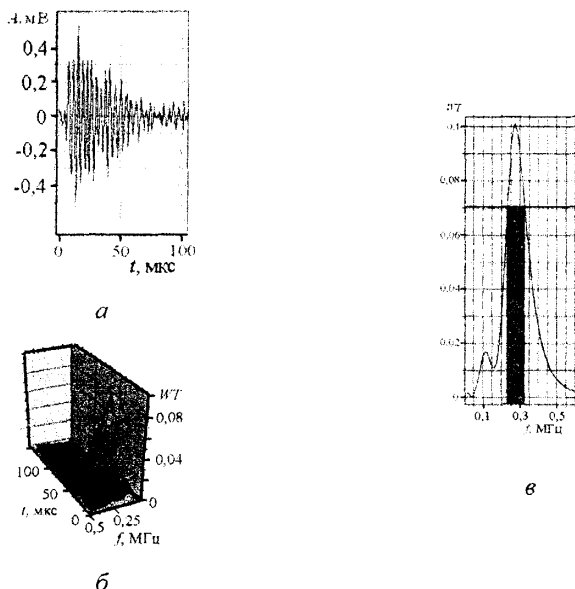


Рисунок 7 – Графік хвильового відображення САЕ (а); його НВП (б) та максимальне значення залежності “ $NBT-f$ ” (в)

Це дало підстави провести для підтвердження достовірності діагностування додаткові обстеження методом рентгенографії.

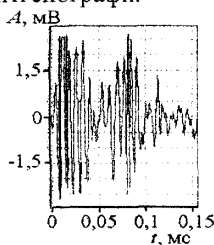


Рисунок 8 – Часовий характер зміни амплітуди типового САЕ, що проходив вимірвальним каналом №5 після досягнення 2,0 МПа тиску в трубопроводі

На рисунку 9 показані результати таких обстежень. Бачимо, що виявлені неякісні шви, руйнування яких генерувало сигнали АЕ.

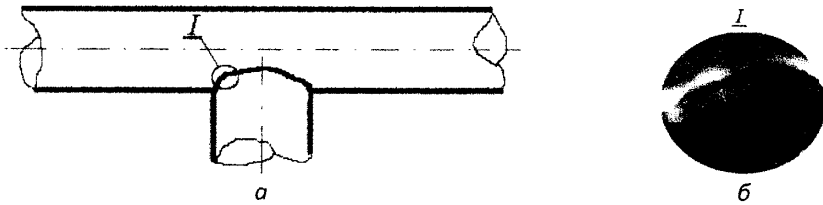


Рисунок 9 - Місце неякісного шва трійника, виявлене методом локації сигналів АЕ (а), та його рентгенограма (б)

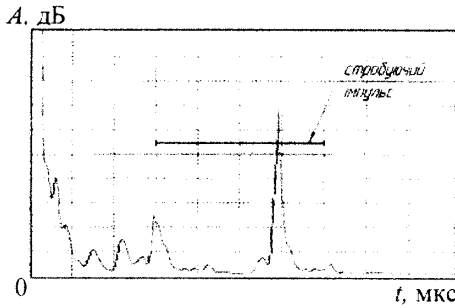
За результатами аналізу АЕ-обстежень та рентгенографії трійника відповідні служби НПС прийняли рішення про його вилучення з експлуатації та заміну.

На *об'єкті IV* проводили обстеження ділянки трубопроводу технологічної об'єкти. Виявлено АЕ-активність кільцевих швів, місця яких додатково перевіряли УЗК. Основні параметри УЗ-діагностування такі: частота випромінювання первинного п'єзоперетворювача – 5 МГц, кут введення променя – 65°; частота повторення імпульсів – 500 Гц, затримка у призмі – 7,5 мкс; швидкість пружної хвилі – 3320 м/с; бракувальний рівень – 50 дБ.

Використовували УЗК прямим і відбитим променями. Пошуковий рівень підсилення встановлювали на 6 дБ вище від контрольного, який в свою чергу був на 6 дБ вищий від бракувального. Сканування зварних швів трубопроводу проводили зворотно-поступальними переміщеннями п'єзоперетворювача, який був орієнтований перпендикулярно до зварного шва, з одночасним поворотом його на 10–15° по обидва боки від власної осі. У результаті УЗК прямим променем виявлені точкові та два протяжні площинні дефекти. Саме ці дефекти дали сигнали АЕ, що засвідчило розвиток наявної тріщини у зварному шві. Таким чином, УЗК підтвердив дефекти, локалізовані за даними АЕ-діагностування зварного шва і дозволив визначити точне розташування тріщин.

За даними АЕ-контролю на *об'єкті V* сканували поверхню згину трубопроводу зворотно-поступальними переміщеннями п'єзоперетворювача, який був орієнтований перпендикулярно до твірної згину, з одночасним поворотом його на 10–15° по обидва боки від власної осі. Під час появи дефекту в області сканування з'являвся луно-сигнал на відповідній ділянці розгортки (рисунок 10). За результатами ультразвукового контролю за вище описаною методикою один раз відбитим променем був виявлений плоский протяжний дефект довжиною 140 мм з амплітудою луно-сигналу на 5 дБ більшою від бракувального рівня для п'єзоперетворювача П121-5,0-50°. Після виявлення дефекту визначали місця його розташування за периметром згину і вимірювали параметри: амплітуду луно-сигналу, еквівалентну площу, глибину залягання, умовну висоту та протяжність. Місце розташування дефекту (дефектів) вздовж периметра згину належало до розтягнутої зони.

Остаточне підтвердження наявності тріщини, виявленої за комплексного акустичного діагностування згину трубопроводу, проводили методом магнетопорошкової дефектоскопії, яка підтвердила отримані дані. Параметри виявлених тріщин закладали у методику розрахунку залишкового ресурсу елементів обладнання НПС, у яких наявні такі дефекти.



1 клітинка по горизонталі – 2 мкс, по вертикалі – 10 дБ
Рисунок 10 – Вид відбитого від тріщини УЗ-сигналу

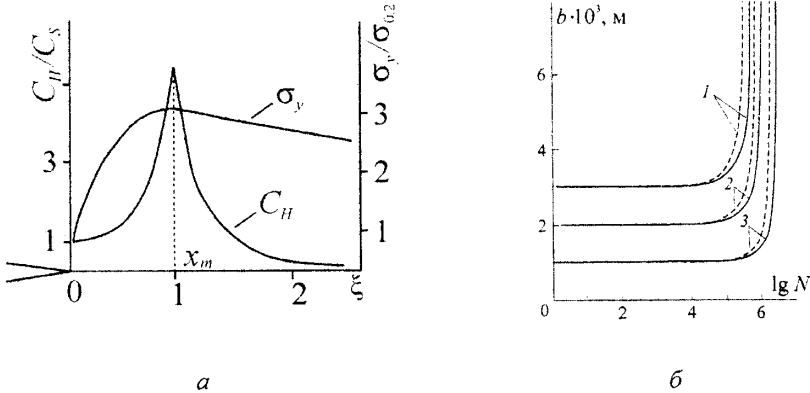
Суть методики полягає у такому. Розглядали спочатку задачу про ріст типової півеліптичної поверхневої втомної тріщини, що розташована, наприклад, на внутрішній стінці технологічного нафтопроводу обв'язки чи будь-якого елемента обладнання НПС. Для визначення кінетики росту контуру тріщини вважали, що він під час її поширення завжди залишається плоским та близьким до півеліптичного. Тоді скористалися залежністю швидкостей $V(a, b)$ підростання півосей цього контуру від кількості циклів навантаження, отриманою разом з О. Андрейківим, В. Скальським та Д. Рудавським з розв'язку системи двох звичайних диференціальних рівнянь у двох точках контуру, що відповідають великій та малій півосі, яка має вигляд

$$V(a, b) = \frac{0,03\sigma_T^2(1-R)^2(1-R^4)K_{I\max}^4(a, b)}{\alpha \cdot (K_{Ic}^2 - A_1 E \sigma_T C_H) - K_{I\max}^2(a, b)}, \quad (3)$$

де E – модуль пружності, α – коефіцієнт Морроу; A_1 – постійна матеріалу; R – коефіцієнт асиметрії циклу навантаження; σ_T – межа текучості матеріалу; C_H – концентрація водню у матеріалі; K_{Ic} – статична тріщиностійкість матеріалу; $K_{I\max}$ – максимальне значення коефіцієнта інтенсивності напружень за втомного навантаження.

Як бачимо, у рівняння (3) входить характеристика міцності матеріалу і показники його статичної і циклічної тріщиностійкості. Їх визначали експериментально для напрацьованого і ненапрацьованого матеріалів, значення коефіцієнта Морроу брали з літературних джерел, а концентрацію водню розраховували теоретично. Таким чином, отримали двопараметричну методику розрахунку, яка ураховує як механічні чинники впливу на ріст втомної тріщини, так і концентрацію водню у її вершині. Рівень концентрації водню C_H у стінці труби біля тріщиноподібного дефекту оцінювали за відомим розв'язком дифузійної задачі, де розглядали пружно-пластичне ізотропне тіло, яке початково рівномірно наводнене до деякого рівня концентрації водню C_0 і містить плоску тріщину розміром l в умовах симетричного відносно площини тріщини напруженого стану. Поле концентрацій водню в зоні біля вершини тріщини знайдено на основі узагальненого закону Фіка. Для побудови методики розрахунку залишкового ресурсу ми скористалися методиками числового розрахунку, які розроблено у відділі акустико-емісійного діагностування елементів конструкцій Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України. На

рисунку 11 приведені результати розрахунку залишкового ресурсу елементів обладнання НПС, які містять тріщини, з урахуванням розрахункового значення концентрації водню у їх вершині. Зазначимо, що у розрахунок були закладені такі вихідні дані: товщина стінки $h = 0,8 \cdot 10^{-3}$ м; коефіцієнт асиметрії циклу навантаження $R = 0,8$; внутрішній тиск у нафтопроводі $p = 3,7$ МПа.



1 – $b = 3 \times 10^{-3}$ м, 2 – $b = 2 \times 10^{-3}$ м, 3 – $b = 1 \times 10^{-3}$ м (суцільні лінії – без урахування наводнювання стінки труби, пунктирні лінії – із урахуванням: C_s – концентрація водню в поверхневому шарі біля вершини тріщини; $\xi = x/x_m$; $x_m = 2\delta$ – розкриття вершини тріщини)

Рисунок 11 – Графічне представлення розподілу концентрації водню C_H в полі механічних напружень σ_y біля вершини тріщини (а) та залежність залишкового ресурсу N_d (кількості циклів до розгерметизації стінки) нафтопроводу (б) за різних початкових розмірів малої півосі еліпса b

Отже, отримані нами за результатами обстежень обладнання НПС розрахункові дані щодо оцінки залишкового ресурсу обладнання НПС засвідчили (рисунок 11) добру кореляцію із результатами випробувань циклічним навантаженням фрагментів трубопроводів, що були тривало експлуатованими (див. розділ 3 роботи). Це підтвердило достовірність отриманих результатів та переваги новоствореної методики над методикою визначення залишкового ресурсу обладнання за даними випроб зразків-вирізків і дозволило ефективно використовувати її на об'єктах НПС магістральних нафтопроводів.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

За результатами проведених теоретичних і експериментальних досліджень вирішено актуальну науково-технічну задачу, що полягає в удосконаленні методів технічного діагностування й оцінки залишкового ресурсу безпечної експлуатації внутрішньостанційних технологічних нафтопроводів та обладнання нафтопомпвальних станцій шляхом комплексного обстеження їх акустичними методами

неруйнівного контролю і застосуванні у розрахунках двопараметричного підходу з урахуванням отриманих діагностичних даних.

За результатами виконання дисертаційної роботи зроблено такі висновки.

1. На підставі запропонованої вперше моделі розрахунку залишкового ресурсу елементів обладнання НПС за наявності у них втомних тріщин, використано двопараметричний підхід лінійної механіки руйнування, що дозволив, виходячи із дійсних значень циклічної і статичної тріщиностійкості матеріалу та його міцності, отримувати прогнозні показники залишкового ресурсу, які на 20...25% менші для випадку додаткового врахування концентрації водню у вершині тріщини, ніж з урахуванням лише самої кінетики її поширення.

2. У результаті моделювання динамічного навантаження реально діючих нафтопроводів побудовано криві малоциклової втоми в області обмеженої довговічності для їх трубних сталей 13ГС, 13Г1С-У, 12Г2С та сталі 20 аварійного запасу, що були зістарені у кліматичних умовах на повітрі більше 30 років, отримано розкид даних за показником порогу витривалості σ_1 і за максимальними напруженнями у циклі в межах 30%. Для тривало експлуатованої (48 років) сталі 19Г за результатами випроб зразків-вирізків, які мали корозивні виразки в області найбільших деформацій, за циклічного їх згину показники малоциклової втоми майже такі самі, як і зістарених на повітрі сталей 13ГС, 13Г1С-У та 12Г2С, але більші на 20...25% , ніж для зістареної сталі 20.

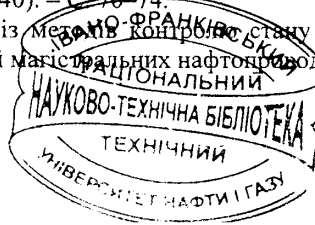
3. За результатами випроб фрагментів труб DN700 (сталь19Г) і DN 500 (сталь 20) нафтопроводу, які були в експлуатації 48 років, на підставі експериментальних досліджень вперше показано, що прогнозувати ресурс внутрішньостанційних технологічних нафтопроводів НПС за результатами випроб зразків-вирізків не коректно, оскільки при цьому на порядки може бути завищено їхній залишковий ресурс. Так, на зразках-вирізках отримали $5,3 \times 10^5$ циклів навантаження до руйнування за напруження у циклі 212 МПа для експлуатованої сталі 19Г, а у випадку натурних випроб внутрішнім циклічним гідравлічним тиском з аналогічним напруженням стінки нафтопроводу – $6,3 \times 10^3$ циклів.

4. Розроблено нову модель технічного діагностування стану внутрішньостанційних технологічних нафтопроводів НПС, побудовану на застосуванні акустичних методів і критеріїв оцінки типів руйнування конструкційних матеріалів за параметрами вейвлет-перетворення сигналів АЕ, що дало змогу на порядки скоротити час проведення, забезпечити ефективність і достовірність діагностичних обстежень.

Основний зміст дисертаційної роботи відображено у працях:

1. Експериментальна оцінка підсилюючої здатності зварних муфт пошкоджених труб магістрального нафтопроводу / Р. О. Дейнега, В. І. Артим, О. В. Івасів, В. М. Василюк, С. Р. Яновський, Р. М. Басараб // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2011. – № 3 (40). – С. 70-74.

2. Басараб Р. М. Аналіз методів контролю стану технологічної об'язки нафтоперекачувальних станцій магістральних нафтопроводів / Р. М. Басараб, В. С. Цих, О.



М. Карпаш // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2012. – № 3 (44). – С. 45–54.

3. Скальський В. Р. Оцінка залишкової довговічності труб магістральних нафтопроводів із поверхневими тріщинами / В. Р. Скальський, Д. В. Рудавський, Р. М. Басараб // Методи розв'язування прикладних задач механіки деформівного твердого тіла. – Дніпропетровськ: Ліра, 2012. – Вип. 13. – С. 344–350.

4. Скальський В. Р. Діагностування обладнання нафтопомпувальних станцій методом акустичної емісії / В. Р. Скальський, О. М. Станкевич, Р. М. Басараб // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2012. – №. 4. – С. 14–19 (*видання входить до наукометричної бази даних*).

5. Скальський В. Р. Акустико-емісійне діагностування обладнання нафтоперекачуючих станцій / Скальський В. Р., Станкевич Е. М., Басараб Р. М. // Нефтегазовое дело. – 2013. – 11 (2). – С. 86–90 (*видання входить до наукометричної бази даних*).

6. Skalsky, V. Nondestructive evaluation of pipelines: magnetoacoustic diagnostics of deformation / V. Skalsky, S. Hirnyj, R. Basarab // Нефтегазовое дело. – 2013. – 11 (5). – С. 301–313 (*видання входить до наукометричної бази даних*).

7. Патент України на винахід № 103338. Пристрій для регулювання змінних навантажень при випробуваннях зразка на втому при згині /В. І. Артим, В. В. Буй, Р. М. Басараб та ін. – Опубл. 10.10.2013. Бюлетень № 19.

8. Акустико-емісійне діагностування нафтопомпувального обладнання / В. Р. Скальський, О. М. Станкевич, Р. М. Басараб, Є. П. Почапський // VI Міжнародна науково-технічна конференція “Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтопромислового обладнання”: збірник тез доповідей (29 листопада – 2 грудня 2011 р., м. Івано-Франківськ, Україна). – Ів.-Франківськ, 2011 р. – С. 39–44.

9. Дослідження впливу корозійних дефектів на довговічність магістральних нафтопроводів / В. М. Василюк, С. Р. Яновський, В. І. Артим, Р. О. Дейнега, О. В. Івасів, Р. М. Басараб // Проблеми і перспективи транспортування нафти і газу: матеріали міжнар. наук.-техн. конф., Івано-Франківськ, 15 – 18 травня 2012. – Ів.-Франківськ, 2012. – С. 294–295.

10. Метод прогнозування залишкового ресурсу елемента нафтопроводу з тріщиною / З. Т. Назарчук, В. Р. Скальський, Д. В. Рудавський, Р. М. Басараб // 6-та міжнар. конф. “Математичне моделювання та інформаційні технології у зварюванні та споріднених технологіях” (29 травня – 1 червня 2012, Кацивели): програма та тези конф. – 2012. – С. 62.

11. Skalsky V. Fatigue fracture estimation of tough structural steels /V. Skalsky, D. Rudavskyy, R. Basarab // Proc. 19th Europ. Confer. on Fracture “Fracture Mechanics for Durability, Reliability and Safety”, Kazan, Russia, 26–31 August, 2012. – ID 217.

12. Джус А. П. Оцінка впливу корозійних дефектів на втомну міцність нафтогазопроводів за результатами випробувань моделей вирізок / А. П. Джус, Р. М. Басараб, О. В. Івасів // Міжнародна науково-технічна конференція “Втома та термовтома матеріалів і елементів конструкцій” (28–31 травня, м. Київ, 2013). – К., 2013. – С. 99–101.

13. Басараб Р. М. Модель впливу фізичних чинників на зародження у матеріалі нафтогону макротріщин / Р. М. Басараб // Тези II Міжнар. наук. конф. "Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах" (ВКДТС – 2013), (29–30 жовтня 2013, м. Вінниця). – Вінниця, 2013. – С. 241.

Анотація. Басараб Р.М. Прогнозування залишкового ресурсу внутрішньостанційних технологічних нафтопроводів на основі діагностування їх технічного стану. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.13 – трубопровідний транспорт, нафтогазосховища. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, 2014.

У дисертації розглянуто найважливіші аспекти побудови методики комплексного акустичного діагностування стану внутрішньостанційних технологічних нафтопроводів та обладнання нафтопомпувальних станцій і двопараметричну методику розрахунку їх залишкового ресурсу за наявності втомних макротріщин.

Запропоновано методику комплексного діагностування стану обладнання методом акустичної емісії та ультразвукового контролю, яка дозволила виявляти як динаміку розвитку тріщин, так і їхні геометричні розміри. Види руйнування матеріалу визначали на підставі застосування критерію оцінки типів руйнування конструкційних матеріалів за параметрами вейвлет-перетворення сигналів акустичної емісії.

Для випадку виявлених за розробленою методикою діагностування втомних тріщин запропоновано розраховувати залишковий ресурс обладнання, ураховуючи кінетику росту втомної тріщини та концентрацію водню у її вершині. Встановлено, що залишкова довговічність на 20...25% менша у випадку врахування концентрації водню у вершині тріщини, ніж з урахуванням лише самої кінетики її поширення у матеріалі.

Ключові слова: нафтопомпувальна станція, тріщина, водень, акустична емісія, ультразвук, вейвлет-перетворення, залишковий ресурс.

Аннотация. Басараб Р.М. Прогнозирование остаточного ресурса внутростанционных технологических нефтепроводов на основании диагностирования их технического состояния. – Рукопись .

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.15.13 – трубопроводный транспорт, нефтегазохранилища. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Ивано-Франковск, 2014.

В диссертации рассмотрены важнейшие аспекты построения методики комплексного акустического диагностирования состояния внутростанционных технологических нефтепроводов и оборудования нефтеперекачивающих станций и двопараметрическую методику расчета их остаточного ресурса при наличии усталостных макротрещин. На основании многолетнего опыта эксплуатации такого оборудования проведен анализ дефектов, которые были обнаружены в процессе технической диагностики трубопроводов и оборудования НПС и построено физическую модель взаимосвязи факторов, действующих на материал элементов

работающего оборудования станций и вызывающих зарождение и развитие разрушения, а также модель расчета остаточного ресурса при наличии в их материале трещин, а также алгоритм ее реализации.

Предложена методика комплексного диагностирования состояния оборудования методом акустической эмиссии и ультразвукового контроля, которая позволила выявлять как динамику развития трещин, так и их геометрические размеры. Виды разрушения материала определяли на основании применения критерия оценки типов разрушения конструкционных материалов по параметрам вейвлет-преобразования сигналов акустической эмиссии. Приведены примеры ее реализации на реально работающем оборудовании НПС магистральных нефтепроводов и сравнительный анализ эффективности с другими методиками расчета остаточного ресурса трубопроводов.

Для случая выявленных по разработанной методике диагностирования усталостных трещин предложено рассчитывать остаточный ресурс оборудования, учитывая кинетику роста усталостной трещины и концентрацию водорода в ее вершине. Показано, что остаточная долговечность на 20 ... 25% меньше в случае учета концентрации водорода в вершине трещины, чем на основании только самой кинетики ее распространения в материале.

Ключевые слова: нефтеперекачивающая станция, трещина, водород, акустическая эмиссия, ультразвук, вейвлет-преобразование, остаточный ресурс.

Abstract. Basarab R. M. Prediction of residual life of intrastation technological oil pipelines by diagnosing their technical state. – Manuscript.

The thesis presented for a Degree of Candidate of Sciences (Engineering) in speciality 05.15.13 – pipeline transfer, oil and gas storage. – Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2014.

The most important building aspects of complex acoustic methodology for diagnostics of pipelines and oil distillation equipment state are considered in the thesis. Two-parameter methodology of the equipment residual life calculation at the fatigue crack presence is also considered.

Based on long-term examination of the equipment, the physical model of factors relationship which influence the operating stations equipment material and cause fracture initiation and development is built at the thesis, as well as the model of the residual life calculation and algorithm its implementation.

A methodology of the equipment state complex diagnostics by methods of acoustic emission and ultrasonic testing, that allowed revealing crack growth dynamic and its geometry are proposed. Material fracture type was found using criteria by parameters of acoustic emission signals wavelet transform.

In the case of fatigue cracks identified by the developed method of diagnostics it was proposed to calculate the equipment residual life, taking into account the fatigue crack growth kinetics and hydrogen concentration at its tip.

It is shown that a residual life revealed 20...25 % less in the case of taking hydrogen concentration at the crack tip into account.

Keywords: oil distillation, crack, hydrogen, acoustic emission, ultrasonic, wavelet transform, residual life.