

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

На правах рукопису

УДК 622.692.4: 539.4

ТАЦАКОВИЧ НАЗАРІЙ ЛЮБОМИРОВИЧ

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ
НАФТОГАЗОПРОВОДІВ**

**Спеціальність 05.15.13 – Трубопровідний транспорт,
нафтогазосховища**

**Дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

*Всі примірники
дисертації ідентичні.
Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
Д 20.052.04
доц., к.т.н. Патимів А.В.*

**Науковий керівник:
доктор технічних наук,
професор Карпаш О.М.**

Івано-Франківськ – 2009



d 352

ЗМІСТ

ВСТУП	5
 РОЗДІЛ 1	
АНАЛІЗ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ОЦІНЮВАННЯ ФАКТИЧНОГО	
ТЕХНІЧНОГО СТАНУ НАФТОГАЗОПРОВІДІВ ТА РОЗРАХУНКУ ЇХ	
ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ	
	10
1.1. Характеристика об'єкта контролю.....	10
1.2. Аналіз методів і засобів визначення фактичного технічного стану	
нафтогазопроводів та розрахунку залишкового ресурсу	17
1.3. Вибір та обґрунтування напрямку досліджень	25
 РОЗДІЛ 2	
ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЩОДО ВИБОРУ ПОКАЗНИКА УДАРНОЇ	
В'ЯЗКОСТІ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ФАКТИЧНОГО ТЕХНІЧНОГО СТАНУ	
НАФТОГАЗОПРОВІДІВ ТА РОЗРАХУНКУ ЇХ ЗАЛИШКОВОГО	
РЕСУРСУ.....	
	27
2.1. Аналіз впливу зміни ударної в'язкості на фактичний технічний стан	
нафтогазопроводів.....	27
2.2. Розроблення моделі впливу зміни ударної в'язкості на фактичний	
технічний стан трубопроводу.....	37
2.3. Розроблення методу розрахунку залишкового ресурсу трубопроводу за	
зміною ударної в'язкості металу труби	44
Висновки до розділу	51

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ З ВИЗНАЧЕННЯ УДАРНОЇ В'ЯЗКОСТІ МЕТАЛУ НАФТОГАЗОПРОВІДІВ 53

3.1. Вибір інформативних параметрів контролю ударної в'язкості трубних сталей.....	53
3.2. Аналіз можливості вимірювання інформативних параметрів контролю	56
3.2.1. Вимірювання твердості	57
3.2.2. Вимірювання коерцитивної сили	57
3.2.3. Вимірювання інформативного параметра I	58
3.3. Розроблення нового неруйнівного методу визначення ударної в'язкості.....	60
3.4. Підвищення інформативності розробленого неруйнівного методу визначення ударної в'язкості	76
3.5. Метрологічна оцінка розробленого методу визначення ударної в'язкості	84
Висновки до розділу	91

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБЛЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЗРАЗКА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ФАКТИЧНОГО ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ ТА МЕТОДИКИ ЇЇ ВИКОРИСТАННЯ 93

4.1. Розроблення експериментального зразка інформаційно-вимірювальної системи для визначення фактичного технічного стану металоконструкції за зміною ударної в'язкості металу	93
---	----

4.2. Проект методики неруйнівного контролю ударної в'язкості матеріалу нафтогазопроводів	97
4.3. Промислові випробування експериментального зразка інформаційно-вимірювальної системи та методики контролю	99
4.4. Розроблення бази даних публікацій щодо визначення фізико-механічних характеристик матеріалу металоконструкцій довготривалої експлуатації ..	101
4.5. Розроблення банку даних фізико-механічних характеристик матеріалів металоконструкцій довготривалої експлуатації нафтогазової галузі	107
Висновки до розділу	113
ВИСНОВКИ	114
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	116
ДОДАТОК А Акт промислових випробувань експериментального зразка ІВС І-2	131
ДОДАТОК Б Програма і методика експериментальних випробувань	133
ДОДАТОК В Акт впровадження результатів роботи у навчальний процес спеціалістів Сирійської газової компанії	146
ДОДАТОК Г Патент на корисну модель	148
ДОДАТОК Д Витяг з СОУ “Магістральні газопроводи. Оцінка фактичного технічного стану потенційно небезпечних ділянок. Методи і методики” ..	154

ВСТУП

Актуальність теми. Масштаби трубопровідної системи України, велике різноманіття складних гідрогеологічних умов прокладання трубопроводів та значна кількість таких, що відпрацювали 50-75% нормативного ресурсу, зумовлюють особливе ставлення до робіт із забезпечення їх надійного функціонування.

Застосування методів технічного діагностування та неруйнівного контролю для визначення фактичного технічного стану є штатною технологічною операцією і, як показує досвід, ефективним шляхом забезпечення технічної надійності та безпечної експлуатації трубопроводів і газотранспортної системи в цілому.

Одними з основних характеристик фактичного технічного стану трубопроводу є фізико-механічні властивості (ФМХ) металу труби, що змінюються (деградують) у процесі багаторічної експлуатації. Загальний характер змін полягає у підвищенні границі плинності, границі міцності, твердості та відносного видовження, зниженні відносного звуження та ударної в'язкості. Питання вимірювання твердості, геометричних характеристик та виявлення дефектів вирішено на достатньо високому рівні і реалізується за допомогою низки технічних засобів. Невирішеною залишається проблема визначення зміни механічних характеристик, у тому числі ударної в'язкості металу трубопроводу неруйнівними методами, яка відповідно до чинних нормативних документів є параметром, за яким розраховують залишковий ресурс нафтогазопроводу.

Таким чином, актуальним є розроблення нових методів технічної діагностики нафтогазопроводів і набуває особливо важливого значення для оцінювання його фактичного технічного стану та забезпечення безпечної експлуатації.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась у рамках із Державною науково-технічною

програмою „Ресурс” (затверджено постановою КМУ від 8.10.2004, № 1331), науково-дослідних робіт „Розроблення нових методів та технічних засобів визначення фізико-механічних характеристик технологічних об’єктів довготривалої експлуатації для створення банків даних про фізико-механічні властивості конструкційних матеріалів” (№ держреєстрації 0107U008068, угода ІФНТУНГ із МОН України), „Розроблення нових неруйнівних методів та технологій визначення міцнісних характеристик металоконструкцій довготривалої експлуатації” (№ держреєстрації 0107U010020, угода ІФНТУНГ із МПЕ України), “Оцінка напружено-деформованого стану МГП “Союз” на переході р. Айдар (1239 км.), визначення активності зсуву ґрунтів на ділянці 1152-1154 км. та оцінка залишкового ресурсу досліджених ділянок” (угода ІФНТУНГ із УМГ “Донбастрансгаз”). Ці роботи виконувались за безпосередньою участю автора.

Мета роботи полягає у розв’язанні важливої науково-прикладної задачі в галузі забезпечення надійної експлуатації нафтогазопроводів – удосконалення експрес-методу технічного діагностування металоконструкцій тривалої експлуатації шляхом визначення ударної в’язкості неруйнівним методом і удосконаленні методу розрахунку залишкового ресурсу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- проаналізувати сучасний стан методів та засобів оцінювання фактичного технічного стану металоконструкцій, у тому числі за зміною фізико-механічних характеристик матеріалу;
- уточнити функціональні залежності впливу зміни ударної в'язкості на ресурс металоконструкцій;
- провести експериментальне дослідження можливості визначення ударної в'язкості неруйнівним методом;
- розробити новий експрес-метод визначення квазі ударної в'язкості матеріалу металоконструкцій неруйнівним методом;

- розробити, виготовити та здійснити дослідну перевірку експериментального зразка інформаційно-вимірювальної системи для неруйнівного визначення ударної в'язкості сталей і методики його застосування на практиці.

Об'єктом дослідження є нафтогазопроводи тривалої експлуатації.

Предметом дослідження є методи і засоби технічної діагностики лінійної частини трубопровідних систем.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених у роботі задач використовувались методи неруйнівного контролю, кореляційного аналізу та сучасні методи статистичного оброблення експериментальних і довідкових даних (штучні нейронні мережі). Під час проведення теоретичних досліджень було використано методи факторного та регресійного аналізу. У ході виконання експериментальних досліджень використовувались методи планування експерименту, теорії ймовірності. Розроблення технічного засобу здійснювалось із використанням методів схемотехніки та системотехніки. Для розроблення програмного забезпечення мікропроцесорної системи технічного засобу використовувались методи алгоритмізації та програмування.

Наукова новизна одержаних результатів. На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень одержано такі основні наукові результати:

- вперше запропоновано графоаналітичний метод розрахунку залишкового ресурсу елементів металоконструкцій за зміною ударної в'язкості матеріалу, що дає змогу підвищити точність визначення їх безпечного терміну експлуатування;

- вперше розроблено новий неруйнівний метод визначення ударної в'язкості, який дає можливість розширити кількість вимірюваних інформативних параметрів, що характеризують фактичний технічний стан металоконструкцій довготривалої експлуатації;

- вперше встановлено наявність та характер залежності між вимірюваним електромагнітним параметром і фактичними значеннями ударної в'язкості

матеріалу металоконструкцій, що дає змогу підвищити швидкість оцінювання зміни ударної в'язкості матеріалу металоконструкцій довготривалої експлуатації;

- удосконалено метод оцінювання фактичного технічного стану металоконструкцій тривалої експлуатації шляхом застосування технології штучних нейронних мереж для встановлення залежності між вимірюваними параметрами та ударною в'язкістю.

Положення, що виносяться на захист.

1 Графоаналітичний метод розрахунку залишкового ресурсу трубопроводу з урахуванням зміни ударної в'язкості металу

2 Новий неруйнівний експрес-метод контролю квазі ударної в'язкості матеріалу трубопроводу в процесі експлуатації.

Практичне значення одержаних результатів полягає в розробленні технології та технічного засобу для оцінки фактичного технічного стану трубопроводів (пройшов успішну промислову апробацію на виробничих об'єктах УМГ “Донбастрансгаз” ДК „Укртрансгаз”, акт промислових випробувань від 20.05.2009р.), а також проекту методики його застосування у розрахунках залишкового ресурсу трубопроводів. Розроблений експрес-метод є корисним інструментом для збору даних про характер зміни ударної в'язкості матеріалу металоконструкцій з часом експлуатування. Даний матеріал використано під час розроблення Стандарту організації України 60.3-30019801-067:2009 “Магістральні газопроводи. Оцінка фактичного технічного стану потенційно небезпечних діляниць. Методи і методики” (наказ по ДК “Укртрансгаз” №126 від 27.04.2009р.), а також впроваджено в навчальний процес підготовки спеціалістів Сирійської газової компанії (акт впровадження від 18.10.2009р.)

Публікації та особистий внесок здобувача. Результати досліджень, що відображені у дисертації, опубліковані у 14-и працях. Серед них: 6 праць, що

опубліковані у наукових фахових виданнях; 6 – у збірниках праць та тезах конференцій; 1 – патент на корисну модель, 1 – стандарт організації України.

Основні положення та результати дисертаційної роботи одержані автором самостійно. У працях, написаних у співавторстві, дисертанту належить: новий графоаналітичний метод розрахунку залишкового ресурсу з урахування зміни ударної в'язкості з часом експлуатування [1,2,6,8,14], встановлення наявності та характеру залежності між вимірюваними параметрами та ударною в'язкістю [3,5,9-11], розроблений новий неруйнівний метод визначення ударної в'язкості [7,13], підготовка і проведення експериментальних досліджень [12], оброблення одержаних результатів експериментальних робіт [4], розроблена конструкція експериментальної установки, а також розроблений алгоритм її роботи [10].

Апробація роботи. Основні результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на наукових семінарах кафедри „Нафтогазового обладнання” Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (ІФНТУНГ) у 2007-2009р.р., на міжнародній науково-практичній конференції “Міцність та надійність магістральних трубопроводів” (м. Київ), міжнародній науково-технічній конференції молодих вчених “Техніка і прогресивні технології в нафтогазовій інженерії” (м. Івано-Франківськ), на міжнародній конференції „Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів „Леотест-2009” (м.Славське, Львівської області), на 6-ій національній науково-технічній конференції і виставці “Неруйнівний контроль та технічна діагностика” (м. Київ), міжнародній науково-технічній конференції “Нафтогазова енергетика: проблеми та перспективи” (м. Івано-Франківськ).

Структура та об'єм роботи. Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, списку використаних джерел та додатків. Дисертація викладена на 115 сторінках. Крім того робота проілюстрована 35 рисунками, включає 8 таблиць, список використаних джерел із 106 найменувань та 4 додатки.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ВИЗНАЧЕННЯ ФАКТИЧНОГО ТЕХНІЧНОГО СТАНУ НАФТОГАЗОПРОВІДІВ ТА РОЗРАХУНКУ ЇХ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ

1.1. Характеристика об'єкта досліджень

Проблеми визначення і подовження ресурсу безпечного експлуатування металоконструкцій за останній час набула гострої актуальності у всіх промислово розвинутих країнах. Для України важливість їх вирішення обумовлено зниженням об'ємів виробництва металоконструкцій на заміну тих, що виводять з експлуатації. Це в першу чергу відноситься до об'єктів теплової і ядерної енергетики, нафтогазопроводів, хімічної промисловості, наземного і повітряного транспорту, будівництва [1].

Забезпечення безперебійного транспортування енергоресурсів територією України є однією зі складових її енергетичної безпеки. Україна є основним транзитером російського газу у Європу [2]. Газотранспортна система України – це 22,2 тис. км магістральних газопроводів, 72 компресорні станції, 13 підземних сховищ газу з активним об'ємом більше 32 млрд. м³. Пропускна здатність української ГТС на вході складає 287 млрд. м³ в рік, на виході – 178 млрд. м³ [3].

Більша частина магістральних газопроводів (близько 30%) була побудована у період з 1966 до 1970р.р., тобто 39-43 роки тому. Близько 21% всіх газопроводів мають термін експлуатування, що перевищує нормативний. Згідно норм експлуатування до 2010 року повній заміні підлягає 1,7 тис. км з 13,2 тис. км основних магістральних трубопроводів, 0,8 тис. км із 9,5 тис. км інших

магістральних трубопроводів та 0,3 тис. км із 13,8 тис. км трубопроводів-відведень.

Розподіл газопроводів за терміном експлуатування за даними ДК “Укртрансгаз” представлено на рис.1.1.



Рис. 1.1. Розподіл газопроводів за термінами експлуатування

Система магістральних нафтопроводів України включає в себе 19 нафтопроводів діаметром до 1220мм включно, загальною довжиною 4766,1 км в одну нитку, 51 нафтоперекачувальну станцію, 11 резервуарних парків з 79 резервуарами загальною номінальною ємністю 1083 м³ [4].

Розподіл нафтопроводів за терміном експлуатування за даними ВАТ “Укрнафта” представлено на рис.1.2.

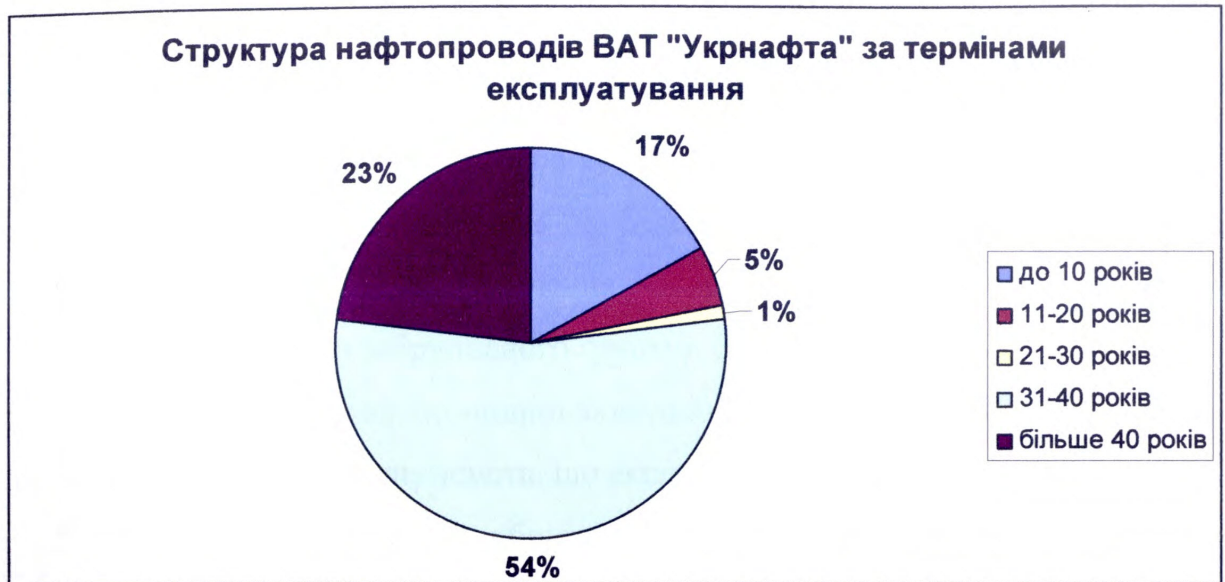


Рис. 1.2. Структура нафтопроводів за термінами експлуатування

Як видно зі структури трубопроводів за термінами експлуатування, 33% магістральних газопроводів та 77% магістральних нафтопроводів експлуатуються понад 30 років. Зі збільшенням терміну експлуатування трубопроводів, що мають високі експлуатаційні параметри – діаметр, тиск, протяжність і т.п., з’являються нові науково-технічні проблеми, серед яких, перш за все, необхідно виділити проблему оцінювання та подовження безпечного терміну експлуатування.

На сьогодні умови експлуатування нафтогазопроводів характеризуються такими особливостями.

- Відбувається природне старіння металу магістральних трубопроводів. Старіння – це явище, що призводить до змін у структурі матеріалів, з яких виготовлені трубопроводи, і відповідно до зниження їх експлуатаційних характеристик [5].

- База нормативних документів знаходиться в стані постійних змін. З’являються нові вимоги до надійності і безпеки. Багато із раніше прийнятих технічних рішень не відповідають сучасним вимогам стандартів та усталеної практики.

- Підвищуються вимоги до екологічної безпеки нафтогазопроводів. Практично будь-які аварії, пов'язані з розгерметизацією трубопроводу і виходом транспортованого продукту, тягнуть за собою немалі витрати. Значна частина витрати йде на штрафи і на відновлення навколишнього середовища (очищення ґрунтів, води, утилізацію забрудненого ґрунту).

- Об'єми ремонтно-відновлювальних робіт досі обмежуються фінансовими ресурсами підприємств, що експлуатують нафтогазопроводи;

Ураховуючи всі наведені обставини у забезпеченні безпеки та надійної роботи нафтогазопроводів можна виокремити два аспекти:

- необхідність моніторингу реального стану матеріалу нафтогазопроводів, що експлуатуються понад нормативний ресурс або близькі до його вичерпання;
- необхідність оцінки фактичного стану матеріалу трубопроводів з метою розрахунку безпечного терміну експлуатування.

Сучасна концепція оцінювання залишкового ресурсу нафтогазопроводів включає в себе такі основні етапи (рис. 1.3.) [6]:

- Аналіз вихідної інформації, її оброблення, накопичення, вибір потенційно небезпечних ділянок.

- Інструментальний етап – обстеження ділянки з дефектами методами неруйнівного контролю застосовні до конкретного дефекту: тріщина – ультразвуковий контроль, зменшення товщини стінки – товщиномір, оцінювання рівня НДС – електромагнітний контроль і т.п.

- Розрахунковий етап – оцінювання безпеки дефекта і безпечності потенційно небезпечної ділянки. Використовують розрахункові методики і програмні засоби. Особливу увагу приділяють класифікації дефектів за ступенем критичності, а також оцінюванні ймовірності виявлення дефекта на обстежуваній ділянці трубопровода.

- Розрахунок залишкового ресурсу трубопроводу та складання експертного заключення для експлуатаційної організації.

Для прийняття обґрунтованих рішень відносно терміну подальшого експлуатування трубопроводу, порядку та обсягів проведення ремонтних робіт, встановлення придатних термінів до найближчих діагностичних обстежень або експлуатаційного моніторингу параметрів, що є критичними, проводять оцінювання фактичного технічного стану трубопроводу, а за його результатами – розрахунок залишкового ресурсу. Розрахунок залишкового ресурсу полягає у перевірці виконання умови переходу конструкції (з дефектом чи без) у критичний стан за максимальних робочих параметрів навантажувальних та врахування швидкості росту дефектів з плином часу (зміни розмірів дефекту), зміни механічних характеристик матеріалу [7]. Розрахунковий залишковий ресурс визначається мінімальним проміжком часу від поточного стану до кінцевого, який відповідає руйнуванню конструкції. Виходячи з цього, поняття ресурсу допускає різне пояснення у залежності від вибраного критерію. За відсутності макродефектів (типу тріщин) граничний стан визначається критичними величинами локальних напружень або деформацій з урахуванням зон концентрації напружень і виділення характерних місць і величин напружень. Необхідно відзначити, що значний вплив на накопичення пошкоджень, а відповідно і на ресурс, здійснюють як конструкційні фактори, включаючи концентратори напружень, так і технологічні, що визначаються механічними властивостями матеріалу.



Рис. 1.3. Структурна схема оцінювання залишкового ресурсу нафтогазопроводу

Світовий досвід подовження терміну безпечного експлуатування трубопроводів викладено у міжнародному стандарті ISO 13623 Нафтова і газова промисловість – трубопровідні системи (Petroleum and natural gas industries – pipeline transportation systems) [8]. Процедура подовження терміну експлуатування трубопроводу складається з таких етапів (рис.1.4.)

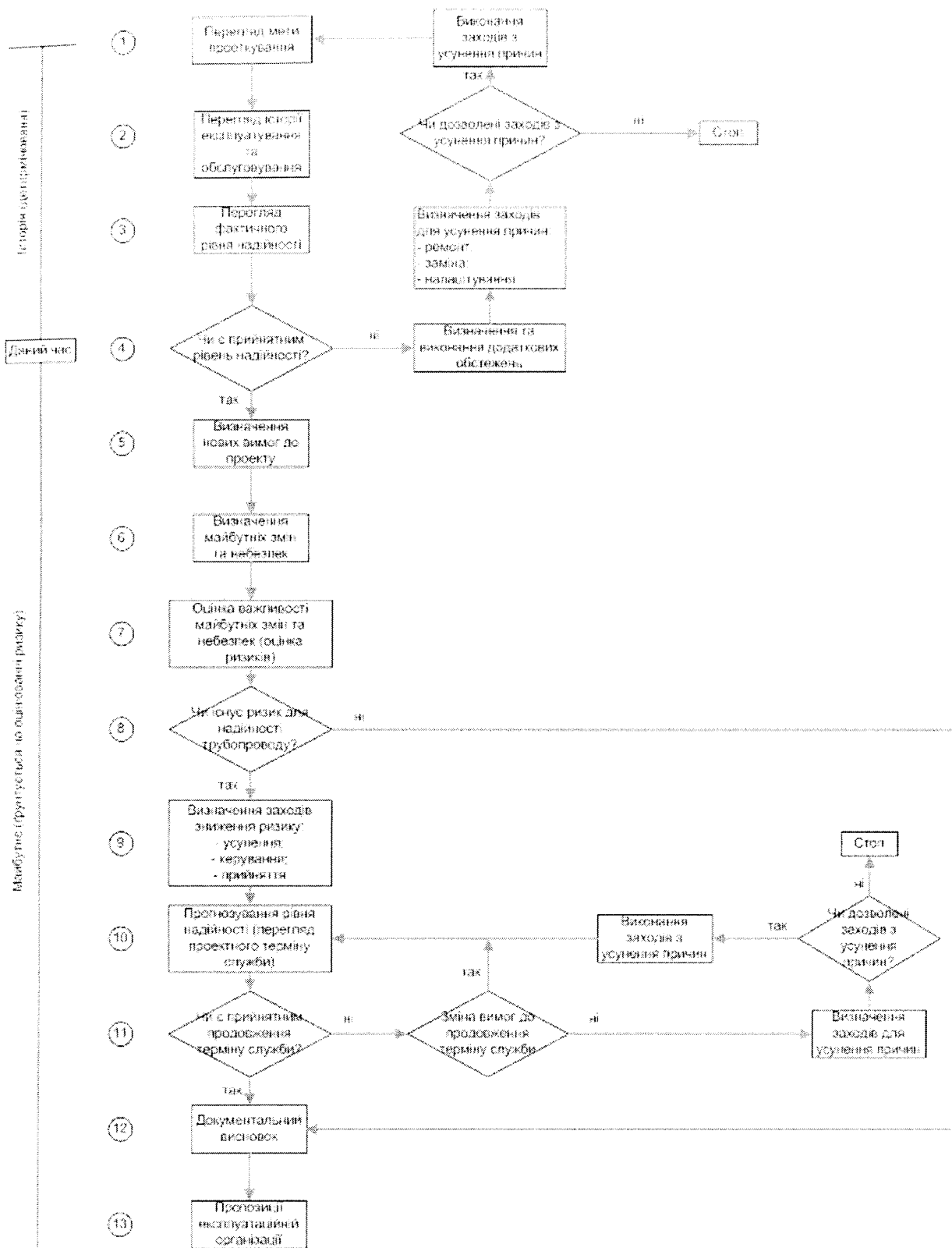


Рис. 1.4. Процедура подовження терміну експлуатації трубопроводу

1.2. Аналіз методів і засобів визначення фактичного технічного стану нафтогазопроводів та розрахунку залишкового ресурсу

Основний принцип діагностування металоконструкцій довготривалої експлуатації, та трубопроводів зокрема, ґрунтується на послідовних і систематичних вимірюваннях певних параметрів конструкції, на виявленні змін цих параметрів у процесі експлуатування і порівнянні їх з вихідними та на прогнозуванні зміни цих параметрів [9].

Фізичні параметри поділяють на такі групи: кінематичні, геометричні, статичні, динамічні, теплові, акустичні, електричні та магнітні, механічні, атомно-фізичні, а також такі, що ґрунтуються на молекулярних властивостях матеріалів [10]. Вимірювання фізичних параметрів покладено в основу різних методів і засобів технічної діагностики, за допомогою яких аналізують стан конструкції. Найбільш важливими у практиці технічного діагностування є параметри надійності та живучості металоконструкції, що знаходяться у функціональній залежності від виміряних значень, отриманих за проведення електрометрії, віброакустики, дефектоскопії, структуроскопії, вимірювання механічних властивостей, складу речовини, деформацій і т.д.

Ускладнення сучасної техніки, підвищення вимог до її надійності та неприпустимість виникнення аварійних ситуацій призводять до збільшення числа контрольованих структурних параметрів, а отже, необхідних вимірювальних засобів. Технічні засоби діагностування за характером використання можна умовно розділити на два класи: оперативні засоби та засоби діагностування, що застосовують при виготовленні, профілактичних оглядах, ремонтах, технологічних випробуваннях, передпускових випробуваннях і т.д. Ці засоби можуть бути як апаратними, так і програмними.

Сучасні підходи до оцінювання технічного стану трубопроводів довготривалої експлуатації і розрахунку залишкового ресурсу передбачають ведення історії експлуатування конструкції, вимірювання і моніторинг достатньо великої кількості діагностичних параметрів, передачу отриманих даних, їх оброблення та інтерпретацію [10].

Оцінювання фактичного технічного стану трубопроводів та прийняття рішень прийняття рішень про їх подальше експлуатування здійснюють з допомогою двох підходів – розрахункового, на основі існуючих моделей механіки руйнування, та фізичного, коли вимірюють і оцінюють визначені параметри матеріалу, зокрема фізико-механічні характеристики [11].

Перший підхід ґрунтується на принципах або лінійної механіки руйнування (ЛМР), або методик граничного переходу матеріалів, що деформуються, у нестійкий стан. Метод ЛМР дозволяє для різних класичних видів дефектів визначити критичні значення їх розмірів, тобто розмірів, які є нестійкими для заданої у розрахунках ситуації і повинні приводити до руйнування конструкції. До недоліків методу можна віднести відсутність чіткої теорії переходу від конфігурації реальної тріщини, виявленої у матеріалі металоконструкції, до тієї, яка покладена у основу розрахунків лінійної механіки руйнування; широкі діапазони зміни фізичних сталих, які входять у формули розрахунку, що приводить до суттєвих помилок у розрахунках. Так, наприклад величина коефіцієнта інтенсивності напружень може відрізнятись для одного і того ж матеріалу, випробуваного за однакових умов, у 2,4 рази у відношенні до свого найменшого значення [12].

Застосування методу ЛМР на практиці потребує попереднього виконання широкого об'єму підготовчих робіт і власне робіт з контролювання. Необхідно контролювати достатньо велику кількість параметрів, що входять у розрахункову модель, а потім за ними розраховувати початок руйнування.

Щодо другого підходу, то фактичні фізико-механічні характеристики матеріалу металоконструкцій довготривалої експлуатації визначають на взірцях-свідках або на взірцях, що вирізані з конструкції. Вирізати взірець з діючої металоконструкції економічно недоцільно. При виготовленні взірців із аварійних елементів металоконструкції виникає ряд запитань, зокрема чи відповідає ступінь пошкодження металу аварійної ділянки основному об'єму металу всієї конструкції, оскільки при виготовленні взірця пошкоджений метал може видалятися, що приведе до суперечливих результатів.

Існують спроби екстраполяції фізико-механічних характеристик зразків, отриманих за лабораторних випробувань, що імітують експлуатаційні, а також зразків, вирізаних із зруйнованої конструкції, на реальні, які знаходяться у роботі. Проте коректних кореляційних залежностей не отримано.

Тому, більш перспективним видається визначення фізико-механічних характеристик матеріалу металоконструкції неруйнівними методами [13, 14].

Існуючі методи неруйнівного контролю, які використовують на трубопроводах у процесі їх експлуатування, у залежності від фізичних принципів роботи класифікують таким чином (рис.1.5.) [11].

Усі методи, перераховані на рисунку, мають ті чи інші суттєві недоліки, через які використання їх для реєстрації пошкоженості металу конструкції, що змінюється у процесі експлуатування, практично неможливо. До них відносяться: жорсткі вимоги до підготовки поверхні, складність та громіздкість апаратури, труднощі однозначної інтерпретації отриманих результатів і т.д. Проте, основним недоліком є недостатня чутливість методів, і тому розмір дефектів, що виявляють, є для металоконструкцій близьким до критичного.

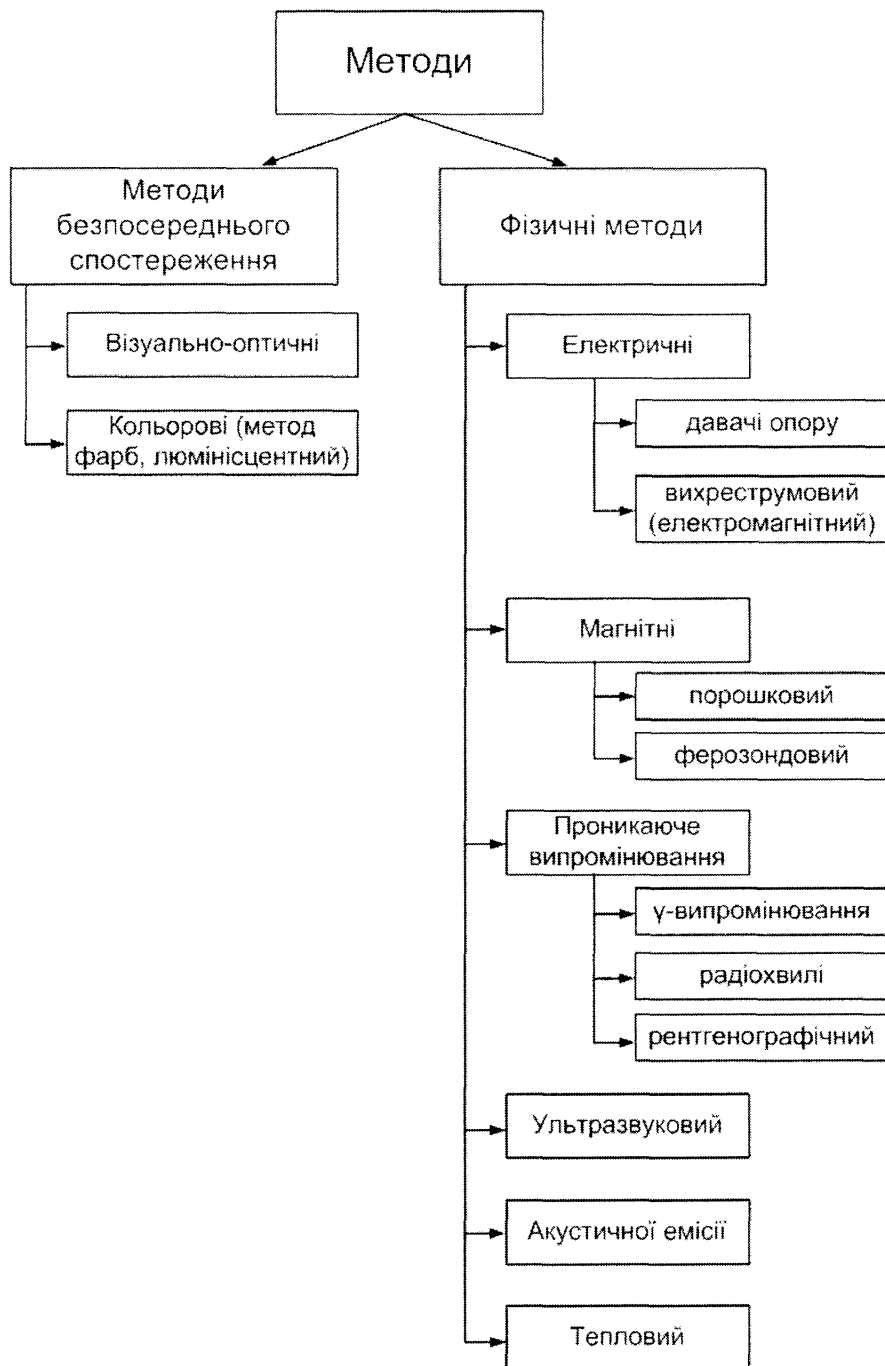


Рис. 1.5. Неруйнівні методи виявлення та спостереження за дефектами на трубопроводах

Для оцінювання фактичного стану металу трубопроводів позитивно себе зарекомендували електромагнітні методи неруйнівного контролю [15]. Завдяки

своїй специфіці - електрофізичні властивості металів на рівні кристалічної решітки пов'язані з механічними властивостями, пошкодженням структури, хімічним складом, режимами термообробки, пружними і пластичними деформаціями - електромагнітні методи дозволяють виявити не тільки розвинені дефекти, а також зони концентрації напружень і елементи конструкцій, у яких на рівні структури металу відбулися незворотні зміни. Тому кожна стадія процесу деформування-руйнування металу в умовах дії стискаючих і розтягуючих зусиль, температури може бути охарактеризована сукупністю електрофізичних параметрів, значення яких можуть бути виміряні. Таким чином, електромагнітні методи спрямовані не тільки на пошук розвинених дефектів, але і на здійснення ранньої діагностики, виявляючи ділянки обладнання, найбільш схильні до пошкоджень.

У роботі [16] процес накопичення пошкоджень досліджують комплексним методом, який включає в себе вихреструмний контроль, вимірювання мікротвердості та металографічний аналіз. Інформацію про накопичення пошкоджень отримують у процесі випробувань при виявленні екстремумів у співставленні параметрів вихреструмного контролю, мікротвердості та мікроструктури зразків. Однак застосування на практиці такого комплексного підходу потребує спеціальної підготовки поверхні та неперервного спостереження за об'єктом.

У роботах [17 – 22] оцінку рівня пошкоженості запропоновано проводити методом акустичної емісії. Цей метод розроблений на достатньо високому рівні та використовується для обстеження конструкцій. Складність його застосування полягає у однозначному виділенні корисного сигналу, що відповідає розвитку дефекту, який в даних умовах експлуатації розвивається з найбільшою швидкістю і може привести до руйнування конструкції.

У роботі [23] описані дослідження з визначення кореляційних залежностей між різними механічними і магнітними характеристиками феромагнітних сталей, при цьому магнітні характеристики визначались на основі аналізу електрорушійної сили (ЕРС) від шумів Баркгаузена (СБ). Експериментальна установка містила П-подібний електромагніт, що живився струмом низької частоти та вимірювальну котушку на феритовому сердечнику, сигнал з якої подавався на цифровий осцилограф з системою фільтрів. Відфільтровані сигнали ЕРС від ШБ після їх перетворення у цифровий вигляд аналізувались на комп'ютері. Дослідженню піддавались зразки розміром 10x10x55 мм, виготовлені із сталі 09Г2С з різною термообробкою. Після вимірювання характеристик сигналів ЕРС від ШБ зразки випробовувались руйнівними методами з метою визначення їх ударної в'язкості.

Числовому аналізу піддавались характерні пакети стохастичних імпульсів ЕРС від ШБ, отримані при перемагнічуванні досліджуваних зразків. При цьому кожному півперіоду перемагнічування відповідав один пакет таких імпульсів. Проінтегрувавши отримані пакети по намагнічуючому полю, отримали ряд часткових петель гістерезису, після аналізу яких відтворили криву початкового намагнічування. Провівши аналіз кривої початкового намагнічування. Отримали залежність диференціальної магнітної проникності від прикладеного магнітного поля.

Експерименти показали, що максимум диференціальної магнітної проникності пропорційний ударній в'язкості металу. При цьому кореляційна залежність максимуму диференціальної магнітної проникності від ударної в'язкості, у досліджуваному діапазоні, близька до лінійної. Крім того, значення намагнічуючого поля, що відповідає середині області Релея, прямо пропорційний межі міцності матеріалу.

Останнім часом великий інтерес представляють непрямі магнітні методи контролю напружено-деформованого стану трубопроводів, що ґрунтуються на кореляції магнітних і механічних параметрів металу. Розроблені методи і технічні засоби вимірювання механічних напружень металу за магнітними діагностичними параметрами володіють рядом важливих для раннього діагностування напружено-деформованого стану елементів металоконструкції переваг. Це неруйнівна дія процесу контролю, висока продуктивність контролю у польових умовах, можливість дистанційного контролю з моніторингом напружено-деформованого стану металоконструкції у процесі експлуатування. Проте є й недоліки: однозначність показів індикаторів механічних напружень за магнітними шумами і магнітною анізотропією металу тільки в області пружної деформації металу і невизначеність показів в області його пластичної деформації; значна похибка (близько 30%) визначення величини механічних напружень у металі за пружних та пружно-пластичних деформацій та ін.

Контроль напружено-деформованого стану елементів металоконструкцій проводять із використанням технічних засобів для реєстрації магнітних шумів, магнітної анізотропії металу, коерцитивної сили та магнітної пам'яті металу [24 – 28].

Очевидно, що всі або навіть більшість факторів, що впливають на технічний стан трубопроводу, а отже і на його залишковий ресурс експлуатування, врахувати неможливо. Однак розширення кількості таких факторів буде сприяти підвищенню точності розрахунку залишкового ресурсу.

У більшості практичних розрахунків залишкового ресурсу трубопроводів застосовують підхід, що ґрунтується на оцінюванні зносу стінки за рахунок поверхневої корозії (загальної або локальної). У деяких випадках такий підхід є виправданим, проте у решті він є занадто спрощеним, оскільки у розрахунок враховують і використовують тільки один найбільш доступний фактор, який

впливає на ресурс – корозійний знос [29]. Проте добре відомо, що у процесі експлуатування метал деградує, а ступінь деградування у кінцевому результаті визначає залишковий ресурс металоконструкції. Цей процес є багатофакторним і, зокрема, залежить не тільки від поверхневого корозійного зносу, але й від процесів, що погіршують тріщиностійкість металу, у тому числі зміни (погіршення) механічних характеристик.

У роботі [30] для розрахунку залишкового ресурсу запропоновано використовувати комплексну методику аналізу безпеки, яка окрім оцінювання фактичного технічного стану, ще й врахування ризику експлуатування. Такий підхід ґрунтується на поєднанні існуючих методів оцінки фактичного технічного стану, які, в свою чергу, потребують доповнення, і методів аналізу ризику. Проведення ризик-аналізу дає змогу врахувати такі чинники, зокрема, як помилкові дії персоналу, зовнішні впливи природного і техногенного характеру, що не беруться до уваги в існуючих методиках розрахунку, але які, як свідчать статистичні дані, не рідко стають причиною виникнення аварії в межах розрахованого безпечного терміну експлуатації металоконструкцій [31]. Серед існуючих методів аналізу ризику у даній методиці рекомендовано використовувати метод дослідження небезпеки і пов'язаних з нею проблем (HAZOP-метод), аналіз видів і наслідків відмов (FMEA-метод), аналіз всіх можливих наслідків відмов і аварій системи (FTA-метод або метод «дерева відмов»), аналіз можливих наслідків події (ETA-метод або метод «дерева подій») та оцінювання впливу на надійність людського фактору (HRA-метод) [32, 33].

Ще одним із основних аспектів вирішення проблеми безпечного експлуатування трубопроводів, які відпрацювали значну частину проектного ресурсу або вже вичерпали його, є удосконалення методик розрахунку залишкового ресурсу з урахуванням зміни механічних характеристик металу.

Розраховуючи [34] залишкову міцність трубопроводів, в основному використовують межу текучості та межу міцності, які і обмежують допустимі напруження. Разом з тим літературні дані свідчать, що показники міцності сталей можуть неоднозначно змінюватися після експлуатування впродовж 10–30 років: міцність або залишається незмінною [35 – 37], або ж підвищується [38 – 41]. Зрозуміло також, що завершальному етапу руйнування металоконструкції повинна передувати зміна механічних властивостей металу, які забезпечували її роботоздатність на початку експлуатування. Тому розрахунок залишкового ресурсу металоконструкції з використанням показників, які однозначно знижувалися би зі зростанням тривалості експлуатації і були б максимально чутливими до змін у металі, відкриє перспективу коректного прогнозування ресурсу таких відповідальних об'єктів, як металоконструкції довготривалої експлуатації [42].

1.3. Вибір та обґрунтування напрямку досліджень

1 Аналіз об'єкта досліджень показав, що більшість нафтогазопроводів вже вичерпали свій нормативний ресурс експлуатування або близькі до цього. Тому оцінювання їх фактичного технічного стану є необхідною і невід'ємною частиною визначення терміну їх безпечної подальшої експлуатації.

2 Існуючі методи оцінювання фактичного технічного стану металоконструкцій довготривалої експлуатації ґрунтуються на двох підходах – розрахункового, на основі існуючих моделей механіки руйнування, та фізичного, коли вимірюють і оцінюють визначені параметри матеріалу, зокрема фізико-механічні характеристики.

3 Фактичні фізико-механічні характеристики матеріалу металоконструкцій довготривалої експлуатації визначають на взірцях-свідках або на взірцях, що вирізані з конструкції. Вирізати взірець з діючої металоконструкції економічно

недоцільно. Тому, більш перспективним видається визначення фізико-механічних характеристик матеріалу металоконструкції неруйнівними методами.

4 Розраховуючи залишковий ресурс трубопроводів, в основному використовують границю текучості та границю міцності, які і обмежують допустимі напруження, і не використовують ударну в'язкість, хоча вона є нормативною характеристикою пластичності металу, а що саме основне її величина може значно знижуватись після 25-30 років експлуатування. Крім того, зниження ударної в'язкості металу трубопроводу може призводити до зниження показників його тріщиностійкості та підвищення температури переходу з в'язкого у крихкий стан до діапазону експлуатаційних.

Тому метою роботи є удосконалення методу технічного діагностування нафтогазопроводів шляхом врахування зміни ударної в'язкості металу труб при оцінюванні його фактичного технічного та у розрахунку залишкового ресурсу. Для реалізації такого підходу необхідно розроблення нового неруйнівного методу та засобу визначення ударної в'язкості металу трубопроводів.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЩОДО ВИБОРУ ПОКАЗНИКА УДАРНОЇ В'ЯЗКОСТІ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ФАКТИЧНОГО ТЕХНІЧНОГО СТАНУ НАФТОГАЗОПРОВОДІВ ТА РОЗРАХУНКУ ЇХ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ

2.1. Аналіз впливу зміни ударної в'язкості на фактичний технічний стан нафтогазопроводів

Газонафтопроводи експлуатують в умовах, що значно відрізняються від умов роботи інших металоконструкцій. Це пов'язано з різноманітністю природнокліматичних умов, дією постійних (газ) або циклічних (нафта) навантажень, а також з акумулюванням великої кількості енергії стиснутого газу. Запас внутрішньої енергії магістрального газопроводу зростає зі збільшенням діаметра труби і робочого тиску транспортованого газу. У таких умовах за наявності дефекту або при зародженні в металі труби тріщини може відбуватись руйнування трубопровода лавинного типу [43].

Цілісність трубопроводів та їх експлуатаційна надійність визначаються рівнем властивостей і якістю труб, а також рівнем навантажень, що викликані внутрішнім тиском середовища, що транспортується. Існуючі методи розрахунку труб на міцність достатньо точно відображають роботоздатність трубопроводів [44]; це підтверджується тим, що руйнування трубопроводів, як правило, були пов'язані не з недостатньою міцністю металу, а в основному з недостатньою його в'язкістю або корозійною стійкістю.

Відомо, що з пониженням температури у трубних сталях знижується в'язкість, пластичність і опір крихкому руйнуванню. Якщо виникають дефекти

типу тріщин, то навіть за напружень нижче розрахункових відбувається швидке розповсюдження тріщини [45].

Для підвищення густини газу у сучасних трубопроводах його охолоджують до визначеної температури і у такому стані транспортують на великі відстані. У такому випадку крім попередження утворення дефектів при будівництві вимагається визначена холодостійкість для забезпечення експлуатаційної надійності. Це не стосується нафтопроводів, бо якщо в ньому утворюється тріщина, то руйнування звичайно носить локальний характер. На ділянці руйнування проходить витік нафти, у результаті чого тиск знижується, причому знижується швидше, ніж розповсюджується тріщина і подальше руйнування зупиняється. У газопроводах зниження тиску при руйнуванні (декомпресія) у зв'язку з високим коефіцієнтом стиснення газу відбувається повільніше, ніж розповсюджується тріщина, тому руйнування проходить практично миттєво лавинно і має велику протяжність. Ця обставина обґрунтовує жорсткі вимоги до в'язкості сталі.

Крихкі (лавинні) руйнування у газопроводах відбуваються без зниження тиску газу у вершині тріщини, що рухається, так як швидкість їх поширення перевищує швидкість декомпресії більш ніж у 1,5 рази [43]. Такі руйнування розповсюджуються за траєкторією типу "синусоїда" під дією пружної енергії металу труб внаслідок недостатнього опору його крихкому руйнуванню. Утворення такої тріщини пов'язано з внутрішнім або зовнішнім дефектом [46-48].

Велику небезпеку для магістральних газопроводів становлять в'язкі руйнування, що характеризуються великою протяжністю [49, 50]. Такі руйнування розповсюджуються строго за прямолінійною траєкторією вздовж осі газопроводу. Причиною виникнення в'язкого руйнування є недостатньо висока ударна в'язкість металу труб. Рушійною силою в'язкого руйнування у газопроводах є пружна енергія металу труб і стиснутого газу. Зі збільшенням швидкості поширення

тріщини за в'язкого руйнування зростає його протяжність, оскільки в меншій мірі знижується тиск у вершині тріщини. У зв'язку з цим повністю обґрунтованими є високі вимоги до в'язкості металу магістральних газопроводів. У нафтопроводах зниження тиску в трубі відбувається швидше, ніж поширюється тріщина, тому руйнування носить локальний характер. Однак і у цьому випадку відбувається забруднення навколишнього середовища, тому необхідно приймати міри з попередження руйнування нафтопроводів.

Сьогодні оцінювання опору металу труб в'язкому руйнуванню проводять непрямыми методами за величиною роботи руйнування зразків DWTT або ударною в'язкістю з гострим надрізом (V-подібним) [44, 51]. Розрахункові методи визначення в'язкості сталі газопроводу для попередження переходу в'язкого руйнування в крихке розроблені різними організаціями, проте рахують, що найкращий результат дає формула, розроблена інститутом нафти і газу Баттеля (США)

$$KCV = 2,38 \cdot 10^{-5} \cdot \sigma_n \cdot (R \cdot t)^{\frac{1}{3}}, \quad (2.1)$$

де KCV – ударна в'язкість, визначена на зразках з гострим надрізом, необхідна для попередження переходу в'язкого руйнування у квазікрихке;

R – радіус труби, мм;

t – товщина стінки труби, мм;

σ_n – номінальні кільцеві напруження у стінці труби за робочого тиску, МПа.

Ударна в'язкість металу є механічною характеристикою, мінімальні значення якої регламентуються нормативними документами. Так, СНІП 2.05.06-85 встановлює мінімальні значення ударної в'язкості металу трубопроводів [44]. Ці норми вимагають дотримання визначених величин ударної в'язкості як при випробуваннях на зразках Шарпі (з гострим надрізом), так і на зразках Менаже (з півкруглим надрізом). При цьому регламентування ударної в'язкості за Шарпі

залежить від діаметра труби, робочого тиску і повинна дотримуватись за мінімальної температури стінки труби під час експлуатування.

Таблиця 2.1

Мінімальні значення ударної в'язкості металу трубопроводів

Умовний діаметр труб, мм	Робочий тиск, МПа	Ударна в'язкість на зразках типів 11-13 ГОСТ 9454-78 за температури, що дорівнює мінімальній температурі стінки трубопровода за експлуатування, Дж/см ² , не менше
До 500	10,0 і менше	24,5
500-600	10,0 і менше	29,4
700-800	10,0 і менше	29,4
1000	5,5 і менше	29,4
1000	7,5	39,2
1000	10,0	58,8
1200	5,5 і менше	39,2
1200	7,5	58,8
1200	10,0 і менше	78,4
1400	7,5 і менше	78,4
1400	10,0 і менше	107,8

Необхідно відзначити, що вимоги вітчизняних норм [44] до ударної в'язкості металу трубопроводів є досить жорсткими. Цей фактор і є однією з причин малої кількості випадків протяжного руйнування трубопроводів в останні роки їх експлуатації.

У відповідності до нормативних документів на трубопроводи, що застосовуються у Канаді та США, неможливість утворення крихких зламів з

наступним поширенням тріщини забезпечується задоволенням вимог до ударної в'язкості металу труб [52]. Мінімальний рівень ударної в'язкості залежить від температури експлуатування, величини розтягуючи робочих напружень і товщини стінки. Всі труби з умовним діаметром більше 60мм діляться за опором крихкому руйнуванню на різні категорії.

Підвищення вимог до ударної в'язкості передбачається для газопроводів, у яких робочі напруження задовольняють такій умові

$$\sigma_{роб} > 0,72\sigma_T, \quad (2.2)$$

а товщина стінки перевищує 12,7мм.

Для визначення мінімальної величини ударної в'язкості металу труб у нормах Канади та США [52] пропонується формула:

$$C_v = 3,6 \cdot 10^{-4} \cdot S^{1,5} \cdot D^{0,5}, \quad (2.3)$$

де C_v – величина поглинутої енергії при випробуваннях зразків з гострим надрізом (Шарпі), Дж;

S – максимальне очікуване розтягуючи зусилля під час експлуатування або випробування, МПа;

D – зовнішній діаметр трубопровода, мм.

Визначену за формулою (2.3) величину ударної в'язкості використовують як задане мінімальне усереднене значення незалежно від температури експлуатування.

На сьогодні в Україні чинним є ДСТУ-Н Б В.2.3-21:2008 Визначення залишкової міцності магістральних трубопроводів з дефектами, розроблений Інститутом проблем міцності ім. Г.С.Писаренка НАН України та Інститутом

електрозварювання ім. Є.О.Патона НАН України [53]. Відповідно до положень цього стандарту при проведенні розрахунків трубопроводу на статичну міцність необхідно використовувати такі механічні характеристики матеріалу: границю міцності, границю текучості, ударну в'язкість та значення критичного коефіцієнта інтенсивності напружень (K_{Ic}). Крім того, за відсутності довідкової інформації про K_{Ic} для трубних сталей, а також через певні методичні труднощі при експериментальному визначенні критичного КІН, дозволяється використання кореляційних залежностей між K_{Ic} і ударною в'язкістю, а в разі наявності лише одиничних значень ударної в'язкості можна скористатись консервативним підходом для визначення K_{Ic} , а саме:

$$K_{Ic} = 7,36 \cdot KCV^{0,63}, \quad (2.4)$$

де розмірність величини K_{Ic} - МПа $\sqrt{м}$, а ударної в'язкості KCV – Дж/см²;

Однак забезпечення необхідної величини ударної в'язкості на початку експлуатування трубопроводу ще не гарантує збереження її рівня через 25-30 років експлуатування, оскільки результати експериментальних досліджень та спостережень свідчать про зміну механічних властивостей матеріалу трубопроводів, зокрема і ударної в'язкості, за тривалого експлуатування [5, 54 – 56].

Численні експериментальні [5, 34, 57, 58] спостереження та дослідження показують, що залежність ударної в'язкості від часу експлуатування трубопроводу характеризується двома характерними інтервалами. У першому інтервалі ударна в'язкість мало змінюється, у другому – відбувається більш значне її зниження. Перехід між першим і другим інтервалом у більшості випадків залежить від матеріалу і умов експлуатування, тому є індивідуальним для окремої металоконструкції. Проте, незаперечним залишається той факт, що зниження

ударної в'язкості відбувається, а ступінь деградування може досягати 30-40% після 20-25 років експлуатування (рис. 2.1.).

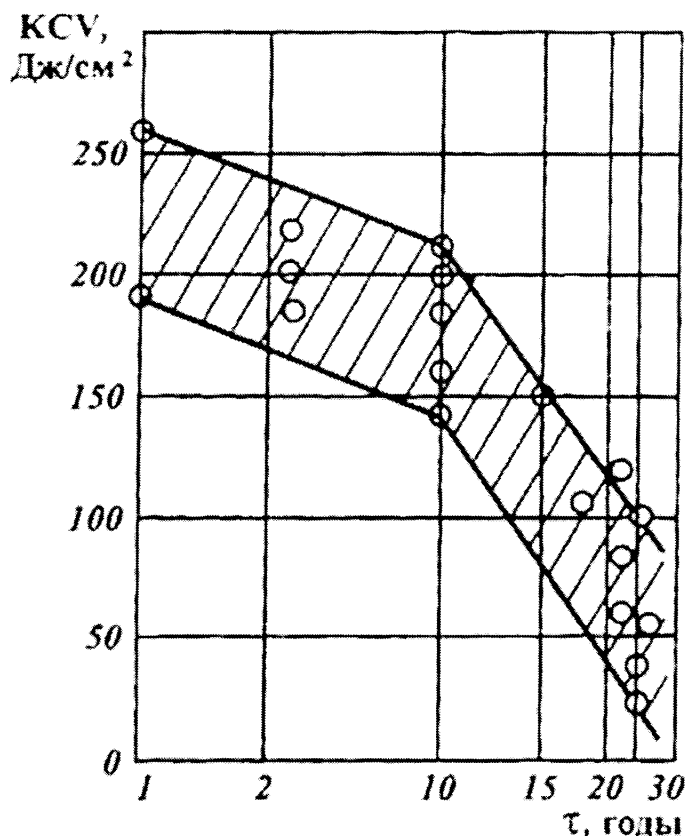


Рис. 2.1. Залежність зміни ударної в'язкості від часу експлуатування (на прикладі трубних сталей 09Г2С, 17Г1С та 19Г) [55]

Відповідно до ДСТУ-Н Б В.2.3-21:2008 одним з пошкоджуючи факторів, що з плином часу погіршують стан трубопроводу, і який необхідно брати до уваги при розрахунку його довговічності є деградація механічних властивостей матеріалу.

Моделі зміни ударної в'язкості встановлюють на основі емпіричних залежностей, отриманих за даними періодичних діагностичних обстежень неруйнівними методами або на основі проведення експериментальних досліджень матеріалу труб, зразки для яких виготовлені з вирізаних під час ремонтів котушок для різних термінів експлуатування трубопроводу. На основі експериментальних

даних будують графічні або табличні залежності механічних характеристик від часу експлуатації. Необхідні значення механічних характеристик на певний, наперед заданий момент часу визначають із апроксимаційної аналітичної залежності або за процедурою екстраполяції.

Як приклад розрахунку залишкового ресурсу трубопроводу на основі моделі, що описує зміну ударної в'язкості KCV_n від терміну експлуатування, можна навести такий [6]:

$$KCV_n = \begin{cases} \gamma^2 + \eta t + KCV_{n0}, & 0 \leq t < 5 \\ \mu \exp(-(\lambda t + \beta t^3)), & t \geq 5 \end{cases}, \quad (2.5)$$

де γ , η , μ , t , λ , β – параметри, що відображають процес деградування відносно вихідного значення ударної в'язкості KCV_{n0} і визначаються на основі наявних експериментальних даних шляхом їх апроксимування та у відповідності до критерію подібності процесів деформування і руйнування металів однієї групи;

KCV_{n0} - вихідне значення ударної в'язкості, яке приймається рівним мінімальному нормативному значенню або за даними базового шурфа, Дж/см²;

t - термін експлуатування, роки.

Визначення залишкового ресурсу експлуатування проводять шляхом побудови графіка функції KCV_n , формула (2.5), з інтервалом точності (-10%) у вигляді двох кривих: KCV_n , формула (2.5), і KCV_1 - нижньої границі 10%-го інтервалу точності кривої KCV_n в координатах «ударна в'язкість - час» і двох прямих, побудованих в тих же координатах, паралельних осі абсцис: $KCV_n = KCV_{нгр}$ ($KCV_{нгр}$ - мінімально допустиме значення ударної в'язкості), $KCV_n = KCV_{нф}$.

Нехай $t_{нр}$ - абсциса точки перетину кривої KCV_1 з прямою $KCV_n = KCV_{нгр}$.

Визначаємо точку перетину $t = t_{нф}$ і $KCV_n = KCV_{нф}$. У випадку, коли вказана точка

попадає в інтервал точності функції за (2.5) або в область над кривою KCV_{II} , різниця $t_{кр} - t_{\phi}$ дає шукану величину залишкового ресурсу $t_{зали} = t_{кр} - t_{\phi}$. Якщо ж отримана точка виявиться за межами інтервалу точності (в області під кривою KCV_I), необхідно уточнювати параметри, що використовуються у функції (2.5) або замість t_{ϕ} використовувати для розрахунку умовно-фактичний час експлуатування газопроводу $t_{уф}$, який дорівнює абсцисі точки перетину кривої KCV_I з прямою $KCV_{II} = KCV_{II\phi}$. У цьому випадку $t_{зали} = t_{кр} - t_{уф}$.

Принцип розрахунку залишкового ресурсу за цією моделлю представлено на рис. 2.2.

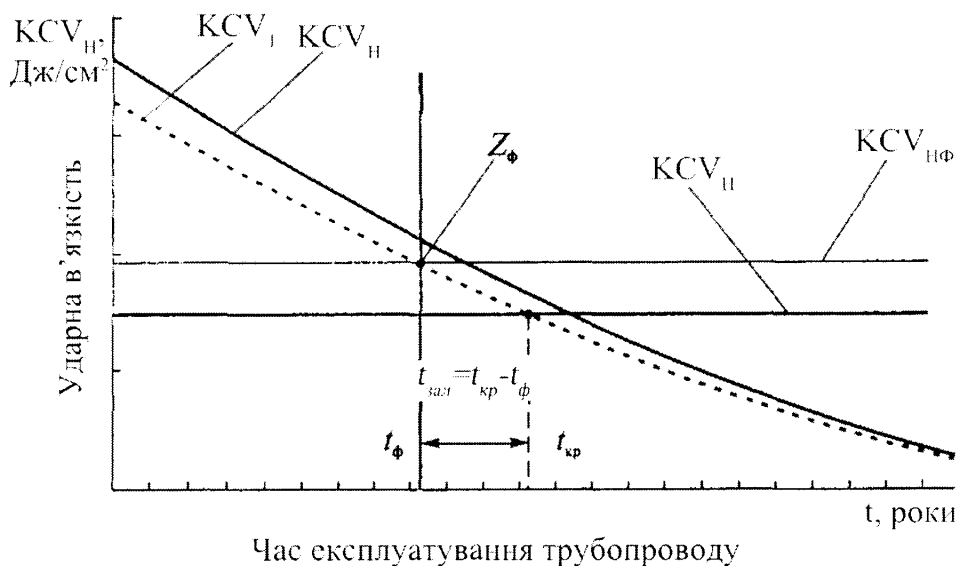


Рис. 2.2. Приклад розрахунку залишкового ресурсу за швидкістю зміни ударної в'язкості

Недоліком такого типу моделей є велика кількість параметрів, що характеризують зміну ударної в'язкості металу трубопроводу і які встановлюють експериментальним шляхом для кожного окремого трубопроводу, а саме матеріалу, з якого він виготовлений. Крім того такі моделі враховують власне тільки зниження ударної в'язкості з часом експлуатації, а не вплив такої зміни

на решту параметрів технічного стану трубопроводу, зокрема металу труби. Тому виникає необхідність у побудові моделі, яка б описувала вплив зміни ударної в'язкості на технічний стан трубопроводу та розроблення методу розрахунку залишкового ресурсу з рахуванням такої зміни.

Відповідно, залишковий ресурс трубопроводу, що розраховується за зміною ударної в'язкості металу, є часом від проведення останнього вимірювання до моменту, коли ударна в'язкість досягне мінімально допустимої величини (рис. 2.3.) [59].

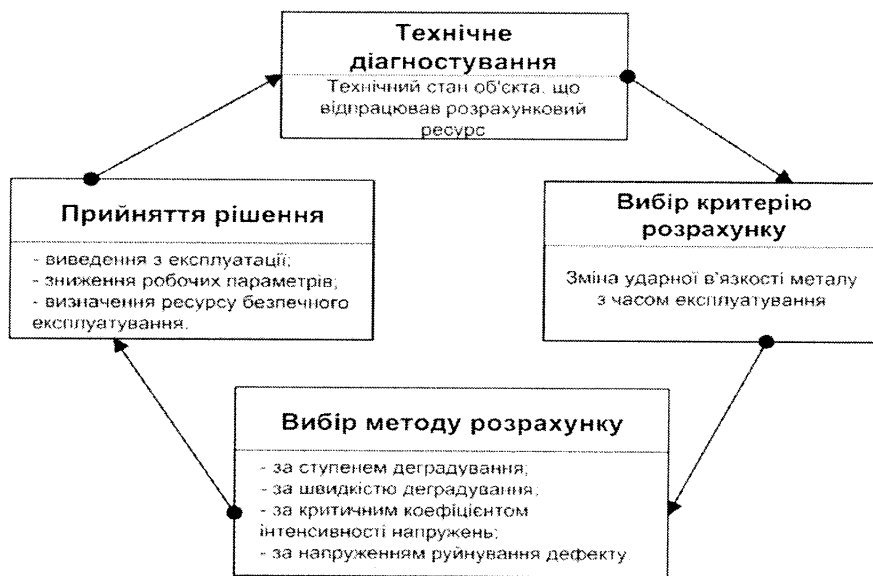


Рис. 2.3. Загальний принцип розрахунку залишкового ресурсу трубопроводу за зміною ударної в'язкості

Щодо вимірювання ударної в'язкості, то найбільш широко використовують руйнівний метод, що ґрунтується на руйнуванні зразка з концентратором посередині одним ударом маятникового копра. Випробування проводять відповідно до ГОСТ 9454-78 [51]. Під ударною в'язкістю в такому випадку розуміють роботу удару, що віднесена до початкової площі поперечного перерізу зразка в місці концентратора. Роботу удару визначають за шкалою маятникового копра. Основним недоліком такого методу є необхідність вирізання зразків для випробування з діючого трубопроводу.

Існують ряд неруйнівних методів визначення ударної в'язкості. Зокрема один з них ґрунтується на аналізі магніто-шумових сигналів матеріалу трубопроводу [6]. Проте такий підхід потребує значних матеріальних та інтелектуальних зусиль для створення графічних залежностей ударної в'язкості металу труби від магніто-шумового сигналу для того типу матеріалу (марки сталі), з якого виготовлений досліджуваний трубопровід.

Відомі спроби застосування акустичного методу визначення ударної в'язкості металу [60]. Суть досліджень полягала у встановленні кореляційної залежності ударної в'язкості та швидкості поширення ультразвуку. Проте основним недоліком такого методу, як і всього ультразвукового контролю, є необхідність забезпечення акустичного контакту перетворювача з об'єктом контролю.

Таким чином, постає необхідність у розробленні неруйнівного методу та засобу визначення ударної в'язкості, які б були простими у використанні та застосовними до всіх марок трубних сталей.

2.2. Розроблення моделі впливу зміни ударної в'язкості на фактичний технічний стан трубопроводу

У підрозділі 2.1. досліджуваним параметром фактичного технічного стану трубопроводу визначено ударну в'язкість, як характеристику матеріалу, що є чутливою до змін у структурі металу з часом експлуатації, а також ступінь деградування якої за певних умов може бути критичним для безпечного експлуатування трубопроводу. Для розроблення методу розрахунку залишкового ресурсу трубопроводу необхідно побудувати описову фізичну модель, яка б відображала вплив зміни ударної в'язкості на фактичний технічний стан трубопроводу.

Запропонована модель ґрунтується на ряду факторів, що мають суттєвий вплив на фактичний технічний стан трубопроводів, зокрема це зниження ударної в'язкості внаслідок старіння металу, зниження показників тріщиностійкості та підвищення температури холодноламкості.

1) Відбувається зміна механічних характеристик металу трубопроводу внаслідок старіння. Старіння – явище, пов'язане з переходом структури металів з нерівноважного в більш рівноважний стан в умовах достатньої дифузійної рухливості атомів, і відбувається внаслідок дії другого закону термодинаміки [61-63].

Причини старіння металу полягають у структурних змінах, пов'язаних, головним чином, з динамікою дислокаційної структури, розпадом цементитної складової, перерозподілом атомів вуглецю та азоту, накопиченням мікрODEформацій, ростом внутрішнього напруження в структурі металу. У трубних сталях, особливо в сталях контрольованої прокатки, внаслідок перенасичення ґраток α -заліза вуглецем, утворюється нерівноважна феритова структура. Це забезпечує високу міцність сталей в стані поставки, але надлишковий вуглець з часом виходить із ґраток до їхніх дефектів. Якщо перенасичення вуглецем є порівняно невеликим, то весь вуглець може осісти на дислокаціях. У випадку значного перенасичення дислокації не можуть поглинути весь вуглець і він виходить на межі зерен.

Кінетика процесу старіння залежить від структурних параметрів матеріалу, температури експлуатації й рівня напружень у стінці труби. На характерний час старіння сталі суттєво впливає технологія виготовлення труб, якою визначаються концентрація вуглецю у твердому розчині (ступінь перенасичення), розмір зерна, вміст легуючих елементів, які перешкоджають рухові вуглецю, і щільність дислокацій, а також від умов експлуатування, а саме, від температури експлуатування й від рівня механічних напружень.

Як правило, процеси старіння металів супроводжуються зміною їхніх механічних характеристик, зокрема знижується ударна в'язкість, підвищується межа міцності та межа текучості. Основна проблема такого металу – зниження опору в'язкому руйнуванню і пов'язані з цим підвищення його чутливості до концентраторів напружень і дефектів, посилення схильності металу до утворення осередків руйнування.

Виходячи із експериментальних даних та графічних залежностей, отриманих раніше у роботах [5, 11, 55], нами запропоновано залежність для опису зміни ударної в'язкості від терміну експлуатування:

$$KCV_{\phi} = KCV_0 - a \cdot t_{\phi}, \quad (2.6)$$

де KCV_0 – значення ударної в'язкості металу трубопроводу на момент початку експлуатування;

a – величина, що дорівнює середньому значенню ступеня зміни ударної в'язкості за один рік експлуатування трубопроводу; визначається на основі моніторингу стану металу трубопроводу та встановлення ступеня деградування ударної в'язкості з часом експлуатації;

t_{ϕ} – фактична тривалість експлуатування.

Така залежність є наближеною, оскільки лінійно описує зміну ударної в'язкості з часом експлуатування. Вона є виправданою, якщо розглядати період експлуатування трубопроводу після 10-15 років з моменту введення його в експлуатацію. Тоді ударна в'язкість починає різко знижуватись, а характер її зміни, відповідно і залежність (2.6), можна уточнювати за рахунок експериментального спостереження за ступенем деградування ударної в'язкості.

2) Ударна в'язкість характеризує схильність матеріалу до крихкого руйнування, а саме нормується рівень пластичності у вихідному стані за її відносним значенням.

Велика кількість трубопроводів у процесі експлуатування піддається впливу циклічно змінних навантажень, що призводить до розвитку втомних ушкоджень. Трубопроводи експлуатують у таких режимах, коли навантаження нестабільне (у результаті роботи насосних та компресорних станцій, зміни тиску та температури перекачуваного продукту, биття, зміни режимів перекачування), через що на трубопроводах виникають циклічні деформації. Такі циклічні деформації в металі труб відповідають критеріям малоциклового навантаження. Тому для нафтогазопроводів, зокрема для їх лінійної частини, властива малоциклова (часто і корозійна) втома, яка супроводжується виникнення і розвитком тріщин [64].

Відповідно до силового критерію тріщина отримує можливість поширення у тому випадку, коли коефіцієнт інтенсивності напружень (КІН) K_I досягає критичної величини $K_{Ic} = const$ - так званої в'язкості руйнування сталі. Отже, умовою непоширення дефекта (умова тріщиностійкості) за плоского деформування у вершині тріщини має вигляд:

$$K_I < K_{Ic}. \quad (2.7)$$

Як уже згадувалось, за відсутності довідкової інформації про K_{Ic} для трубних сталей можна використовувати кореляційні залежності між K_{Ic} і ударною в'язкістю KCV [53].

Крім того у разі наявності експериментальної залежності ударної в'язкості KCV або енергії руйнування U_c від температури для визначення характеристики тріщиностійкості матеріалу - критичного КІН (K_{Ic}) можна скористатись наступною покроковою процедурою.

Для матеріалу труби необхідно побудувати експериментальну залежність енергії руйнування U_c [Дж] від температури [°C] (рис. 2.8., а)), що отримана на стандартних зразках з V -подібним надрізом (ГОСТ 9454-78).

На осі абсцис помічають точку $T = T^{28}$, що відповідає значенню $U_c = 28$ Дж.

Розраховують дискретні значення K_{Ic} через відповідні значення U_c для конкретної температури за наступною формулою:

$$K_{Ic} = 19(U_c)^{\frac{1}{2}}, \quad (2.3)$$

де розмірність енергії руйнування необхідно брати в Дж.

Будують графічну залежність отриманих значень K_{Ic} (МПа $\sqrt{м}$) від температури (крива 1, рис. 2.8, б)).

Температурі, що відповідає точці з абсцисою $T = T^{28}$ ставлять у відповідність значення $K_{Ic} = 100$ МПа $\sqrt{м}$ (рис. 2.8., б)).

Обчислюють значення температури $T = T^{100}$ згідно з формулою:

$$T^{100} = 9 + 1,37 \cdot T^{28}. \quad (2.8)$$

Зміщують паралельно осі абсцис графік $K_{Ic} - T$ (крива 1, рис. 2.8., б)) до перетину з точкою з координатами $K_{Ic} = 100$ і $T = T^{100}$ (крива 2, рис. 2.8., б)). Крива 2 є шуканою залежністю K_{Ic} від температури для заданого матеріала труби. Конкретні значення K_{Ic} визначають графічно, використовуючи криву 2.

3) Велике значення також має схильність металу трубопроводу до крихкого руйнування за пониженої температури випробувань – холодноламкості [65], оскільки вона залежить від процесів взаємодії атомів домішок з дефектами кристалічної будови, крім того, холодноламкість є одним з критеріїв оцінювання схильності металу до крихкого руйнування.

Температурою холодноламкості є величина критичної температури крихкості матеріалу металоконструкції, за яку приймають температуру зміни характеру руйнування – від в'язкого до крихкого. Її визначають за енергією, витраченою на руйнування, показником якої є значення ударної в'язкості. Зниження ударної в'язкості може спричинити підвищення температури холодноламкості до діапазону експлуатаційних температур металоконструкції

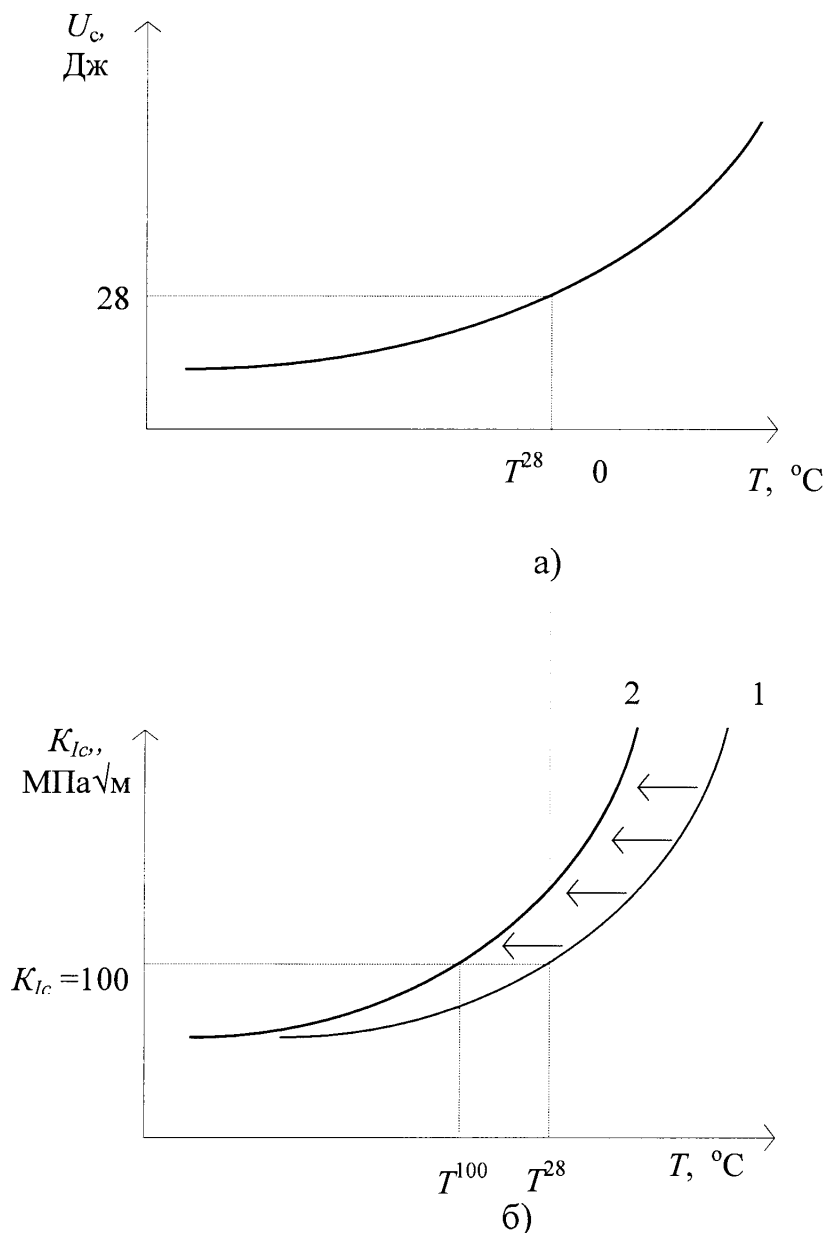


Рис. 2.3. Схема побудови емпіричної залежності K_{Ic} від температури за експериментальними даними енергії руйнування.

Експериментальні дослідження свідчать, що після 25-35 років експлуатування труб температурний поріг холодноламкості може переходити в область плюсових температур (рис. 2.4.) [66].

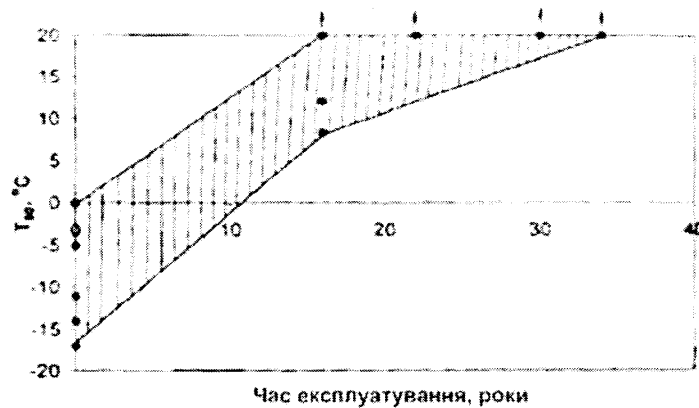


Рис. 2.4. Вплив тривалого експлуатування на температуру переходу в крихкий стан металу труб зі сталі 17ГС (знак ↑ означає, що спостерігаються випадки переходу в крихкий стан за температури вище +20°C)

На основі цього запропоновано описову фізичну модель впливу зміни ударної в'язкості металу трубопроводу на його фактичний технічний стан та залишковий ресурс (рис.2.5.) [67].

Ураховуючи основні положення моделі, згідно з якими, фактичний технічний стан трубопроводу визначає ряд факторів, у основі яких лежить зміна ударної в'язкості металу, нами запропоновано описувати залишковий ресурс металоконструкції такою функцією:

$$R_3 = f(KCV_{\phi}, a, t_{\phi}, F), \quad (2.9)$$

де F – це функція, що описує зміну розмірів дефекту з часом експлуатування. Такою можна вважати швидкість росту корозії (у випадку корозійного дефекту) або швидкість росту тріщини (якщо у металі трубопроводу виявлено тріщину).



Рис. 2.5. Структурна схема моделі впливу зміни ударної в'язкості

2.3. Розроблення методу розрахунку залишкового ресурсу трубопроводу за зміною ударної в'язкості металу труби

Запропонований графоаналітичний метод розрахунку залишкового ресурсу трубопроводу з дефектом ґрунтується на положеннях моделі впливу зміни ударної в'язкості на його фактичний технічний стан та функції (2.6) і полягає у визначенні часу, за який напруження руйнування дефекту (визначається за допомогою рівняння NG-18 з урахуванням зниження ударної в'язкості з часом експлуатування) досягне фактичного напруження металу стінки труби.

Методика NG-18 була розроблена наприкінці 1960-х в інституті Бателля.

Протягом декількох десятиліть вона постійно удосконалювалась на основі нових експериментальних даних. Як результат, ця методика лягла в основу стандарту Американського товариства інженерів-механіків ASME B31G [68] і широко використовується у міжнародній інженерній практиці. Цей метод можна застосовувати відносно дефекту, для якого можна визначити розміри та його поведінку в часі [69 – 71].

Рівняння NG-18 має вигляд [72]:

$$\sigma_{fs} = \left(\frac{\bar{\sigma}}{M} \right) \left(\frac{2}{\pi} \right) \cos^{-1}(e^{-x}), \quad (2.10)$$

де σ_{fs} - напруження, при якому відбувається руйнування дефекту заданого розміру;

$\bar{\sigma}$ - напруження текучості (напруження, що викликає пластичне деформування);

$$\bar{\sigma} = SMYS + 69 \text{ МПа}, \quad (2.11)$$

де $SMYS$ - нормативна межа текучості.

M - фактор деформування Фоліаса, що враховує вплив концентрації напруження у дефекті.

$$M = \left(\frac{1 - \left(\frac{A}{A_0} \right) \left(\frac{1}{M_T} \right)}{1 - \left(\frac{A}{A_0} \right)} \right), \quad (2.12)$$

$$A_0 = 2c \cdot \delta, \quad (2.13)$$

де c - половина довжини дефекту; δ - номінальна товщина стінки труби;

A - розрахункова площа корозії,

$$A = d \cdot 2c \text{ (прямокутний)}, \quad (2.14)$$

$$A = \frac{2}{3} \cdot d \cdot 2c \text{ (параболічний)}, \quad (2.15)$$

$$A = 0,85 \cdot d \cdot 2c \text{ (приблизно середнє між прямокутним і параболічним)}, \quad (2.16)$$

де d - максимальна глибина корозії;

$$M_r = \sqrt{1 + 0,62756 \frac{(2c)^2}{D\delta} - 0,003375 \frac{(2c)^4}{(D\delta)^2}}, \quad (2.17)$$

де D - зовнішній діаметр труби

$$x = \left(\frac{12 \cdot KCV \cdot E \cdot \pi}{8c\bar{\sigma}^2} \right), \quad (2.18)$$

де KCV - ударна в'язкість;

E - модуль пружності.

Запишемо це рівняння з урахуванням зміни ударної в'язкості з часом експлуатування:

$$\frac{12 \cdot (KCV_0 - a \cdot t_\phi) \cdot E \cdot \pi}{8 \cdot c \cdot \bar{\sigma}^2} = \left[\ln \sec \left(\frac{\pi \cdot M \cdot \sigma_{fs}}{2\bar{\sigma}} \right) \right]. \quad (2.19)$$

Перевірку запропонованого методу проведемо на даних наближених до реальних ділянки трубопроводу, на якій було виявлено зниження ударної в'язкості та корозію [73].

Вихідними даними для розрахунку є

- марка сталі, Х60;
- зовнішній діаметр, $D=1420,0$ мм;
- товщина стінки, $\delta=19,5$ мм;
- ударна в'язкість на початку експлуатування, $KCV_0=175,0$ Дж/см²;
- ударна в'язкість на момент вимірювання, $KCV_\phi=113,02$ Дж/см²;
- мінімально допустима величина ударної в'язкості, $KCV_{ep}=78,4$ Дж/см²;
- робочий тиск, $P=6,7$ МПа;
- термін експлуатування, $t=31$ рік.
- нормативна межа текучості – 485МПа;
- розміри дефекта (корозія): довжина – 25мм, глибина – 3 мм.

Розрахуємо ступінь деградування ударної в'язкості за наступною формулою:

$$C = \frac{KCV_0 - KCV_\phi}{KCV_0} \cdot 100\% = \frac{175 - 113,02}{175} = 35,4\%. \quad (2.20)$$

Критичним ступенем деградування для даного трубопроводу буде величина:

$$C_{ep} = \frac{KCV_0 - KCV_{ep}}{KCV_0} \cdot 100\% = \frac{175 - 78,4}{175} = 55,2\%. \quad (2.21)$$

Такого ступеня деградації ударна в'язкість на даній ділянці трубопроводу досягне орієнтовно через 17 років. Цей період можна вважати залишковим ресурсом вказаної ділянки трубопроводу за зміною ударної в'язкості металу.

Залишковий ресурс експлуатування з урахуванням корозії і діючих напружень визначають за формулою [6]:

$$t_{\text{заг}} = \frac{(h_{\text{деф}} - h_{\text{зр}})}{V_{\kappa}'} , \quad (2.22)$$

де $h_{\text{деф}}$ – критична глибина дефекта при діючому рівні напружень, мм;

$h_{\text{зр}}$ – глибина дефекта у зоні максимальних пошкоджень, мм;

V_{κ}' – швидкість корозії, що розраховують за формулою:

$$V_{\kappa}' = \frac{V_{\kappa} + V_{\delta}}{2} , \quad (2.23)$$

де V_{κ} – середня швидкість корозії, мм/рік;

V_{δ} – швидкість росту дефекта у площині труби:

$$V_{\delta} = \frac{d_i}{t_{\phi}} , \quad (2.24)$$

де d_i – найбільший розмір корозійної язви по верхній кромці, мм;

t_{ϕ} – фактичний час експлуатування, роки.

$$h_{\text{деф}} = h_0 - d_i \left(\frac{0,19 P_{\phi}}{\sigma_{\text{max}}} \right)^{0,5} , \quad (2.25)$$

де h_0 – товщина стінки труби на початку експлуатування, мм;

P_{ϕ} – експлуатаційний тиск, МПа;

$$\sigma_{\text{max}} = 0,75 \sigma_T . \quad (2.26)$$

Середню швидкість корозії приймемо рівною 0,8мм за рік експлуатування трубопроводу.

Всі розрахунки згідно цієї методики проводять у середовищі MATLAB 7.1.0.246 (R14).

Згідно формули (2.22) розрахунковий залишковий ресурс складатиме 18,7 років.

Розрахуємо залишковий ресурс трубопроводу з дефектом за рівнянням (2.19). На основі цієї залежності побудуємо графік зміни напруження руйнування дефекту σ_{fs} з часом експлуатування. Залишковим ресурсом трубопроводу у цьому випадку буде час, за який σ_{fs} досягне значення фактичного напруження металу стінки труби.

При розрахунку залишкового ресурсу трубопроводу розглянемо 6 випадків:

- 1) швидкість росту дефекту складає 0,8мм в довжину і 0,1мм в глибину, ударна в'язкість знижується на 2 Дж/см² щороку;
- 2) швидкість росту дефекту складає 1,6мм в довжину і 0,2мм в глибину, ударна в'язкість знижується на 2 Дж/см² щороку;
- 3) швидкість росту дефекту складає 0,4мм в довжину і 0,05мм в глибину, ударна в'язкість знижується на 2 Дж/см² щороку;
- 4) швидкість росту дефекту складає 0,8мм в довжину і 0,1мм в глибину, ударна в'язкість знижується на 5 Дж/см² щороку;
- 5) швидкість росту дефекту складає 1,6мм в довжину і 0,2мм в глибину, ударна в'язкість знижується на 5 Дж/см² щороку;
- 6) швидкість росту дефекту складає 0,4мм в довжину і 0,05мм в глибину, ударна в'язкість знижується на 5 Дж/см² щороку;

За цією методикою залишковим ресурсом трубопроводу є час, за який напруження руйнування дефекту досягне рівня експлуатаційних напружень у

трубопроводі. Оскільки настання такого випадку призведе до аварії, то необхідно ввести коефіцієнт запасу, що становить 1,5.

Всі розрахунки згідно рівняння NG 18 проводять у середовищі MATLAB 7.1.0.246 (R14). Результати розрахунку представлені у вигляді графіка на рис. 2.6. і рис. 2.7.

Як бачимо, за найбільш песимістичного сценарію експлуатування ділянки трубопроводу залишковий ресурс, з урахуванням коефіцієнту запасу, складає 3,5 роки. За найбільш реального сценарію – залишковий ресурс складає 7,1 роки. За найбільш оптимістичного – залишковий ресурс складає 9,4 роки.

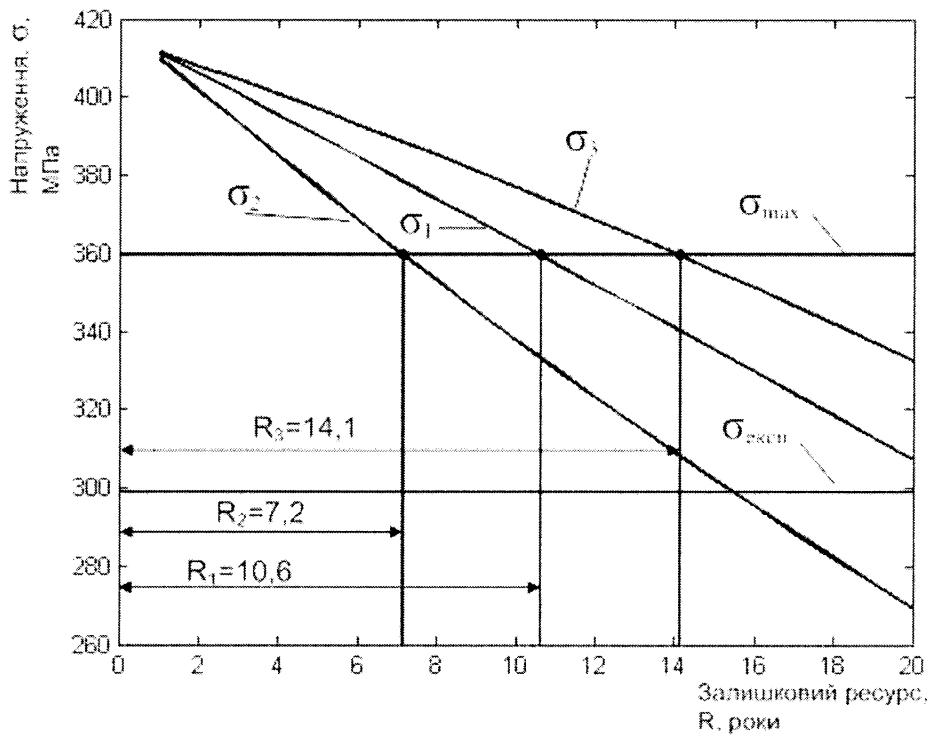


Рис. 2.6. Залишковий ресурс експлуатування ділянки трубопроводу за величини деградування ударної в'язкості 2 Дж/см² щороку

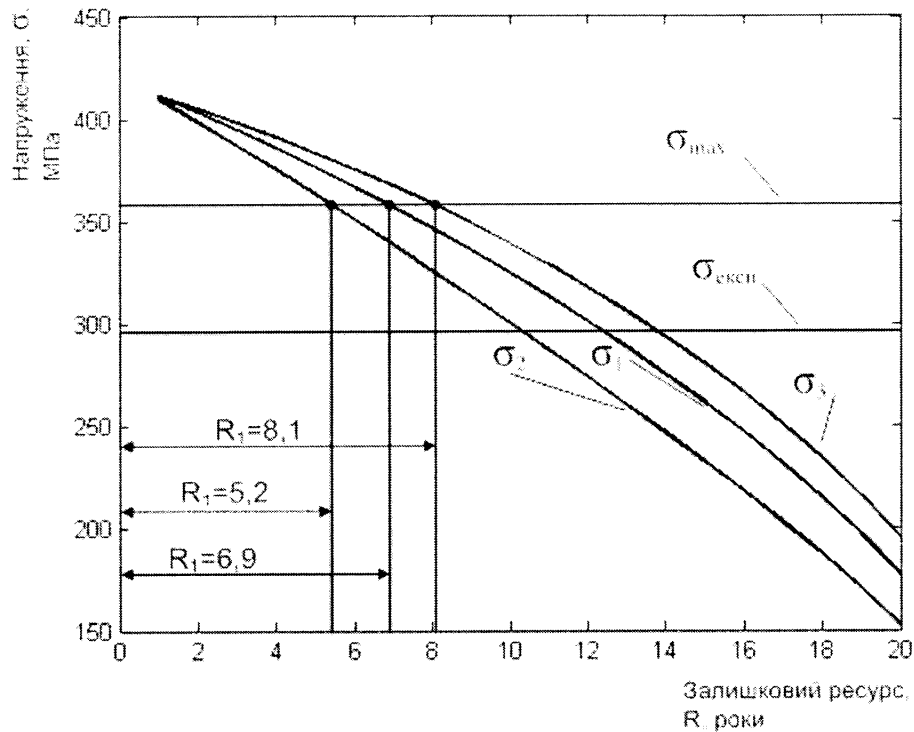


Рис. 2.7. Залишковий ресурс експлуатування ділянки трубопроводу за величини деградування ударної в'язкості 5 Дж/см^2 щороку

За результатами розрахунку залишкового ресурсу трубопроводу очевидно, що запропонований графоаналітичний метод розрахунку дозволяє врахувати зміну ударної в'язкості на ділянці трубопроводу з дефектом, тим самим підвищуючи точність розрахунку безпечного терміну експлуатування.

Крім того особливу увагу необхідно приділити створенню бази даних щодо експериментальних спостережень за зміною ударної в'язкості трубопроводів. База даних повинна містити параметри металу труби, ступінь зміни ударної в'язкості та термін експлуатування.

Описаний підхід розрахунку залишкового ресурсу передбачає ведення історії експлуатування трубопроводу, вимірювання і моніторинг ударної в'язкості, передачу отриманих даних, їх оброблення та інтерпретування. Тому виникає гостра потреба у методах та засобах, за допомогою яких можна швидко оцінити

параметри, що визначають фактичний технічний стан металоконструкції, та розрахувати залишковий ресурс.

Висновки до розділу

У ході проведених теоретичних досліджень щодо удосконалення методу оцінювання фактичного технічного стану та розрахунку залишкового ресурсу нафтогазопроводу отримано такі результати:

1) обґрунтовано необхідність врахування зміни ударної в'язкості для оцінювання фактичного технічного стану трубопроводів, оскільки ударна в'язкість є нормативною характеристикою пластичності металу труб, зниження якої після 25-30 років експлуатування може сягати 40%.

2) розроблено фізичну модель впливу зміни ударної в'язкості на фактичний технічний стан трубопроводу, що ґрунтується на ряду факторів, які мають суттєвий вплив на фактичний технічний стан трубопроводів, зокрема це зниження ударної в'язкості внаслідок старіння металу, зниження показників тріщиностійкості та підвищення температури холодноламкості.

3) ураховуючи основні положення моделі, запропоновано описувати залишковий ресурс металоконструкції функцією, яка враховує фактичне значення ударної в'язкості, ступінь деградування, час експлуатування та зміну розмірів дефекту з часом експлуатації.

4) розроблено графоаналітичний метод розрахунку залишкового ресурсу трубопроводу з дефектом, що ґрунтується на положеннях моделі впливу зміни ударної в'язкості на його фактичний технічний стан і полягає у визначенні часу, за який напруження руйнування дефекту (визначається за допомогою модифікованого рівняння NG-18 з урахуванням зниження ударної в'язкості з часом експлуатування) досягне фактичного напруження металу стінки труби.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ З ВИЗНАЧЕННЯ УДАРНОЇ В'ЯЗКОСТІ МЕТАЛУ НАФТОГАЗОПРОВОДІВ

У розділі 2 досліджуваним параметром фактичного технічного стану трубопроводу визначено ударну в'язкість, як механічну характеристику матеріалу, що є чутливою до змін структури з часом експлуатації, а також ступінь деградування якої за певних умов може бути критичним для безпечного експлуатування трубопроводу.

З метою розроблення нового методу визначення ударної в'язкості металу, необхідно виробити новий підхід, який б ґрунтувався на врахуванні кількох інформативних параметрів та провести на його базі комплекс експериментальних досліджень щодо вибору їх оптимального набору, а також проробити питання щодо їх вимірювання в польових умовах.

3.1. Вибір інформативних параметрів контролю ударної в'язкості металу

Проведений у 1 розділі аналіз методів та засобів технічної діагностики металоконструкцій довготривалої експлуатації показав, що стан розвитку неруйнівного контролю параметрів фактичного технічного стану в світі певною мірою не відповідає все зростаючим проблемам визначення фізико-механічних характеристик металопродукції. Спостерігається ситуація, коли підвищується рівень технічного оснащення, покращується фінансування служб неруйнівного контролю, підвищується кваліфікація персоналу, а загальної чи спеціальної методики визначення ФМХ хоча б для металів немає.

Вирішення даної проблеми можна досягти шляхом дослідження наявності і характеру взаємозв'язків між механічними характеристиками та параметрами, що можуть бути визначені неруйнівними методами, комплексне врахування багатьох параметрів різними методами та виконанням вимірювань додаткових параметрів згідно з фізичними явищами та законами, які не брались до уваги в неруйнівному контролі до цього часу [14].

Реалізація такого підходу може бути здійснена шляхом застосування сучасних способів розв'язання багатопараметрових задач із використанням нейронних мереж за умов можливої нелінійності взаємозв'язків між досліджуваними параметрами та недостатньої кількості результатів вимірювань [74 – 76]. Застосування алгоритмів нейромереж дасть змогу одержати нові, раніше не виявлені залежності між вхідним комплексом параметрів і вихідними параметрами (механічними характеристиками). За цільову механічну характеристику на даному етапі досліджень вибираємо ударну в'язкість, оскільки для трубопроводів вона є нормативною і такою, контроль якої є необхідним.

У першу чергу було проаналізовано доцільність використання існуючих структурно чутливих параметрів для реалізації запропонованого підходу. Це актуально, адже кількість вхідних (вимірюваних) параметрів повинна бути мінімальною і при цьому ці параметри повинні забезпечувати достовірне визначення вибраних механічних характеристик. Аналіз показав, що єдиним таким параметром, який стійко корелює з механічними характеристиками є твердість.

Очевидно, що для реалізації запропонованого комплексного підходу необхідно відібрати додаткові інформативні параметри.

Відомі дослідження закономірностей зміни магнітних властивостей стали різних класів при зміні структури (шляхом зміни температури гартування) вказують на принципову можливість використання магнітних характеристик для

неруйнівного контролю структурного стану і механічних характеристик сталей [77].

Зв'язки між магнітними властивостями матеріалу та його хімічним складом, кристалографічною та фазовою структурами дають змогу використовувати магнітні властивості матеріалу як індикатор його структурного стану, а звідси – і механічних характеристик [15]. Крива намагнічування, форма та площа петлі гістерезису, а також основні параметри, що їх характеризують, залежать від структурного стану і фазового складу феромагнетика, тобто втрати енергії на перемагнічування, коерцитивну силу, магнітну проникність та ряд інших магнітних параметрів кривої намагнічування і петлі магнітного гістерезису слід віднести до структурно-чутливих характеристик [78].

Магнітні методи застосовують для контролю структурно-механічних властивостей матеріалу виробу в тих випадках, коли існує однозначний зв'язок між вимірюваною характеристикою та контрольованим параметром. Для багатьох марок конструкційних сталей залежність структурно-чутливих магнітних характеристик від контрольованого параметра носить неоднозначний характер [79].

Як було сказано вище, для магнітного контролю фізико-механічних властивостей об'єктів використовується зв'язок між фізико-механічними характеристиками та магнітними параметрами. Цей зв'язок, часто не тільки неоднозначний, але й нестабільний, носить кореляційний характер і виникає тоді, коли одні і ті ж фізичні та хімічні процеси утворення структури і фазового складу феромагнітних сталей формують також і магнітні властивості. Складний характер одночасного впливу різних чинників на магнітні та фізико-механічні властивості феромагнітних матеріалів часто унеможливають визначення впливу кожного з них окремо [80]. Тому в магнітній структуроскопії оцінюють зміну магнітних параметрів і за ними визначають різні фізико-механічні властивості об'єктів, що

їм відповідають. Для магнітного контролю механічних характеристик феромагнітних матеріалів використовують відносні вимірювання, тобто не вимірюють деякий магнітний або механічний параметр, а тільки фіксують відповідність параметрів об'єкта контролю заданим. Щоб оцінити, наскільки при цьому механічні параметри деталі відрізняються від номінальних, потрібні додаткові порівняння із параметрами спеціально підібраних взірців.

До цього часу накопичений значний експериментальний матеріал з кореляції магнітних властивостей конструкційних сталей різних марок з їхніми механічними властивостями. Зокрема широко використовують коерцитивну силу як інформативний параметр магнітного контролю характеристик матеріалів. Вона є структурно-чутливою характеристикою, яка реагує на найдрібніші нюанси структурного стану речовини.

Таким чином, наступним інформативним параметром для визначення ударної в'язкості металу вибрано коерцитивну силу.

Широко відомі також можливості застосування електромагнітних методів для оцінювання структури матеріалу, зокрема вихрострумового методу. Інтенсивність і розподіл вихрових струмів в об'єкті контролю залежать від його геометричних розмірів, електричних і магнітних властивостей матеріалу, від наявності в матеріалі порушень суцільності, взаємного розташування перетворювача й об'єкта, тобто від багатьох параметрів [81, 82]. Тому ще одним інформативним параметром було обрано зміну електромагнітних коливань індуктивного перетворювача (описаного у 3.2) у залежності від механічних характеристик матеріалу.

3.2. Аналіз можливості вимірювання інформативних параметрів контролю

У попередньому підрозділі було обґрунтовано вибір комплексу з трьох

параметрів (твердості, коерцитивної сили та інформативного параметру L), які можуть бути використані як інформативні для контролю ударної в'язкості сталей.

На даному етапі необхідно провести аналіз можливостей вимірювання цих параметрів у польових (чи наближених) умовах з урахуванням вимог щодо точності та достовірності.

3.2.1. Вимірювання твердості

Виходячи з умов процесу контролю відомо, що твердість необхідно вимірювати з точністю до одиниць за шкалою Брінеля. Для цієї мети можуть бути використані динамічні твердоміри типу ТДМ-1, які дадуть змогу виконувати вимірювання твердості за шкалою Брінеля в діапазоні 90-450, що є прийнятним. Запропонований прилад є компактним і зручним у використанні, у ньому передбачені внутрішня енергонезалежна пам'ять та зв'язок із ПК.

3.2.2. Вимірювання коерцитивної сили

Найпоширенішими сьогодні є коерцитиметри з приставним електромагнітом, які є зручними для застосування у виробничих умовах. Схема перетворювача такого коерцитиметра зображена на рис. 3.1. П-подібний електромагніт, на бокових стержнях якого розміщена збуджуюча обмотка, призначений для створення намагнічуючого та розмагнічуючого полів. Ферозонд, увімкнений за схемою полеміра, є перемичкою цього електромагніта. Під час пропускання постійного струму через обмотку збудження намагнічується ділянка об'єкта контролю. Після вимкнення струму в обмотці в магнітному полі електромагніту утворюється залишковий магнітний потік, який спричинює сигнал на виході ферозонда. Під час пропускання по обмотці збудження струму протилежного напрямку починається процес розмагнічування. Струм розмагнічування збільшують доти, поки магнітний потік у колі не дорівнюватиме нулю, а сигнал на виході ферозонда при цьому – відсутній. Чим більше значення коерцитивної сили матеріалу, тим більшим повинен бути струм розмагнічування.

Таким чином, робота коерцитиметра ґрунтується на використанні кореляції між струмом розмагнічування, який є пропорційним коерцитивній силі і певним механічним характеристикам об'єкта контролю.

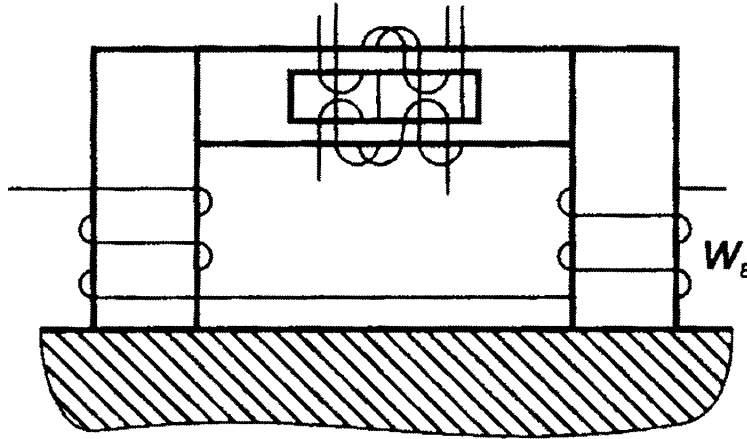


Рис. 3.1. Схема перетворювача коерцитиметра

3.2.3. Вимірювання інформативного параметра I

Вимірювання інформативного параметра I здійснюють з допомогою розробленої експериментальної установки І-1, принцип роботи якої ґрунтується на встановленій експериментальним шляхом залежності частоти електромагнітних коливань індуктивного контуру перетворювача від фазово-структурного складу та механічних характеристик матеріалу металоконструкцій. Блок-схема експериментальної установки зображена на рис. 3.2.

Вимірювання інформативного параметру I здійснюють таким чином (рис. 3.3). Електромагнітні коливання в контурі індуктивного перетворювача 2 збуджуються за допомогою автоколивного генератора 3. Індуктивний контур перетворювача являє собою розімкнуте феритове кільце, на яке виток до витка намотана індуктивна котушка. Величина частоти власних електромагнітних коливань індуктивного контуру перетворювача буде залежати від параметрів індуктивного контуру, зокрема кількості витків та матеріалу феритового осердя; параметрів автоколивного генератора; величини зазору розімкнутого феритового

кільця; відстані від індуктивного контуру перетворювача до елемента металокопструкції та механічних характеристик елемента металокопструкції. Оскільки в процесі контролю параметри індуктивного контуру (кількість витків, характеристика матеріалу феритового осердя, величина зазору розімкнутого феритового кільця), автоколивного генератора та відстань від індуктивного контуру перетворювача до елемента металокопструкції змінюватись не будуть, тому частота власних електромагнітних коливань індуктивного контуру перетворювача буде залежати тільки від механічних характеристик елемента металокопструкції.

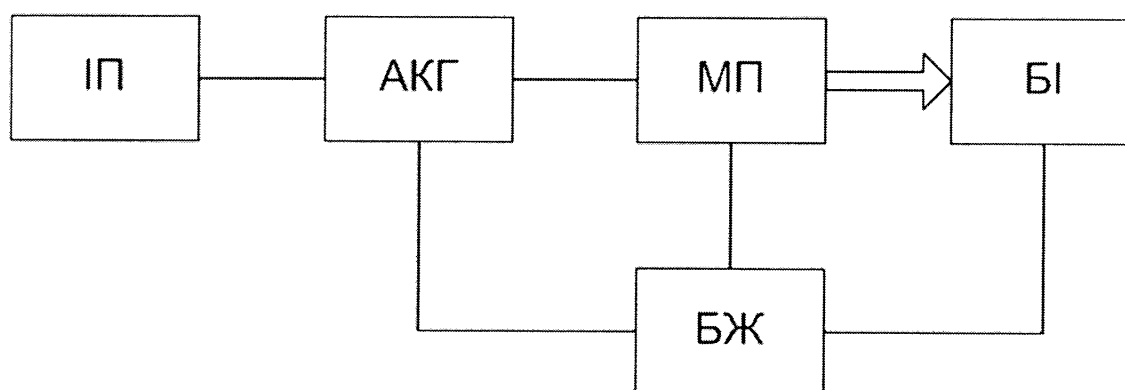


Рис. 3.2. Блок-схема експериментальної установки І-1

ІП – індуктивний перетворювач;

АКГ – автоколивний генератор;

МП – мікропроцесор;

БІ – блок індикації;

БЖ – блок живлення.

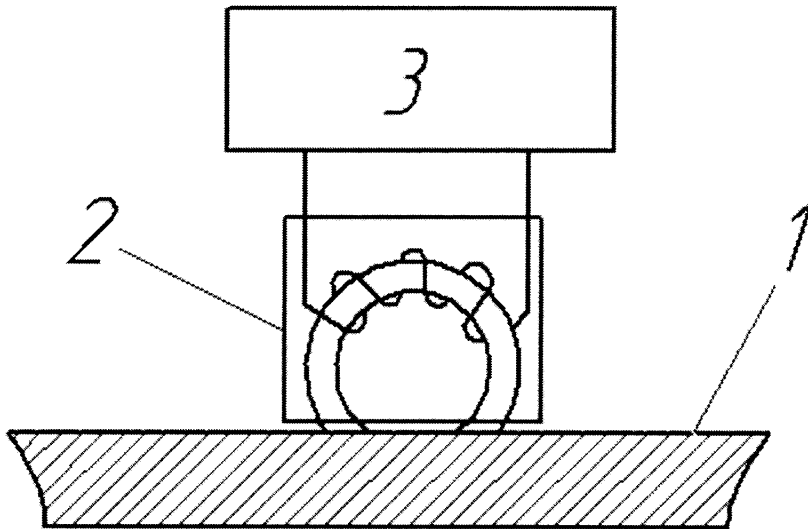


Рис. 3.3. Принцип вимірювання інформативного параметра I

- 1 – об'єкт контролю;
- 2 – індуктивний перетворювач;
- 3 – автоколивний генератор.

Оскільки частота дискретизації внутрішнього АЦП експериментальної установки I-1 не перевищувала 10 МГц, то з метою підвищення точності вимірювання, проводилось вимірювання часу восьми повних періодів електромагнітних коливань індуктивного перетворювача. З огляду на це, для визначення періоду електромагнітних коливань індуктивного перетворювача, отримане значення часового інтервалу ділилось на 8.

3.3. Розроблення нового неруйнівного методу визначення ударної в'язкості

Метою подальших досліджень стало встановлення залежності між ударною в'язкістю та вибраними інформативними параметрами (твердістю, коерцитивною силою та інформативним параметром I) контролю для розроблення нового методу контролю фізико-механічних характеристик [83, 84].

З огляду на те, що на даному етапі наявність такої залежності підтверджена тільки експериментально, то отримані результати ударної в'язкості вважатимемо квазі ударною в'язкістю.

Такі дослідження проводились на зразках трубних сталей різних марок, що широко використовуються для будівництва трубопроводів (09Г2С, 17Г1С, Х60, Х70 і т.п.). Було відібрано 18 зразків труб різних марок сталей. Зразки труб відбирались під час ремонту ділянок газопроводу на промислах Богородчанського ЛВУМГ, Бібрського ЛВУМГ та Боярського ЛВУМГ (рис.3.4.) [85].

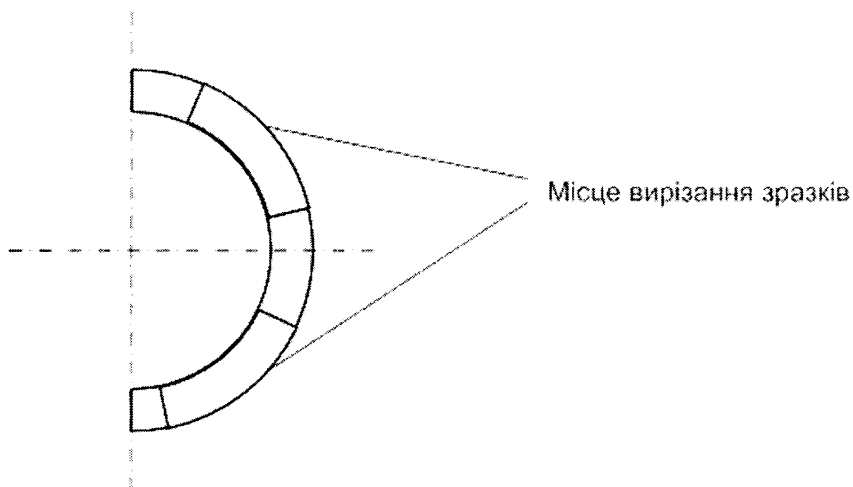
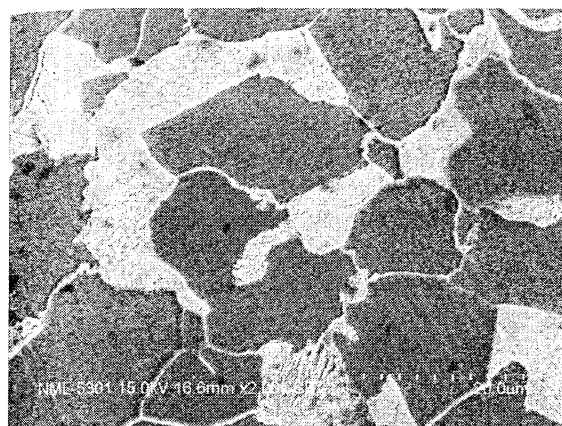


Рис.3.4. Схема вирізання зразків металу труб для проведення механічних випробувань

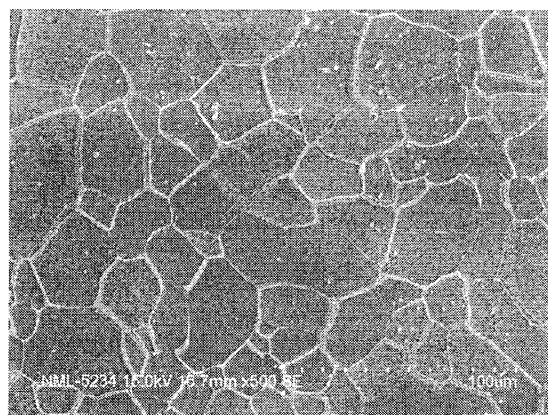
Було проведено їх дослідження мікроструктури та визначено фактичні фізико-механічні характеристики – твердість і коерцитивну силу, а також проведені вимірювання інформативного параметра I за допомогою експериментальної установки І-1. Маркування зразків було наступним 1П, 2П, 3П, 4П, 5П, 6П, 7П, 8П, 9П, 1Т, 4Т, 5Т, 8Т, 10Т, 13Т, 15Т, 21Т, 22Т.

На рис. 3.5. зображено мікроструктуру досліджуваних взірців. Дослідження проводились у Національній металургійній лабораторії (м. Джемшадпур, Індія) у

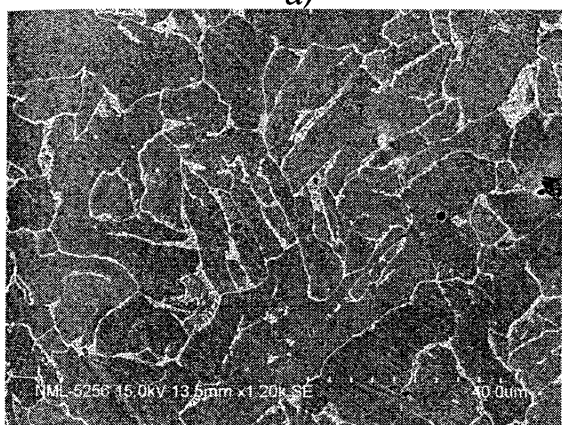
рамках міжурядового співробітництва в галузі науки і техніки (договір ІФНТУНГ з МОН України №М/88-2008).



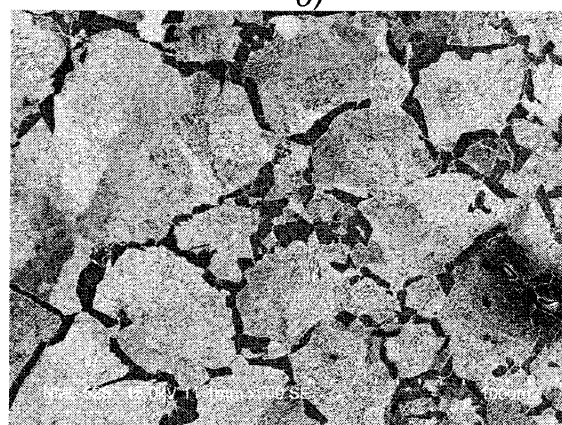
а)



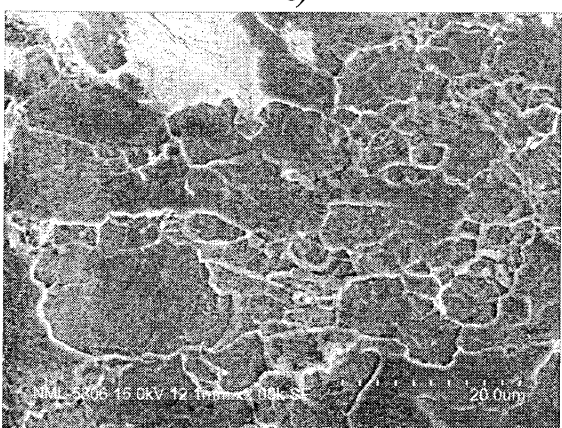
б)



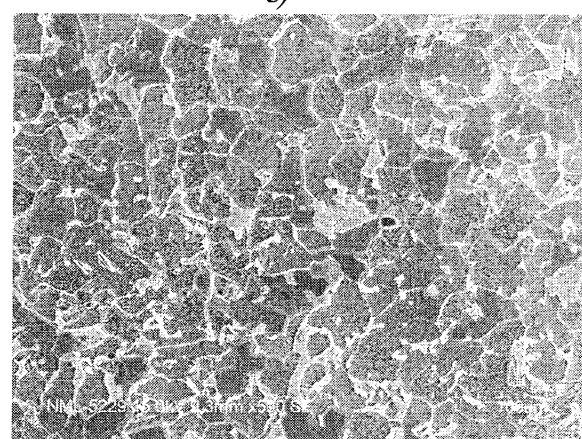
в)



г)



д)



е)

Рис. 3.5. Мікроструктура досліджуваних зразків

а) зразок 1Т;

б) зразок 4Т;

в) зразок 5Т;

г) зразок 10Т;

д) зразок 12Т;

е) зразок 4П.

Дослідження показали, що у зразках 1Т (рис.3.5., *a*) та 4П (рис.3.5., *e*) феритно-перлітна структура практично рівномірно розподілена по зразку, що свідчить про незначні зміни у структурі металу або їх відсутність. У зразку 4Т (рис.3.5., *б*) на деяких ділянках виявлено тільки ферит, тобто неоднорідність структури, зокрема скупчення вуглецю. Подібну структуру виявлено і у зразку 5Т (рис. 3.5., *в*), зокрема також необхідно відзначити дещо видовжену форму зерен фериту та їх орієнтацію у різних напрямках. У зразку 10Т (рис.3.5., *г*) спостерігались великі скупчення перліту, тоді як ферит розташовувався на границях зерен. Різні розміри зерен у металі зразка 12Т (рис.3.5., *д*), а також великі скупчення перліту, нерівномірно розподіленого по зразку, можуть свідчити про значну зміну вмісту вуглецю по структурі зразка.

Зміни, виявлені у структурі зразків 4Т, 5Т, 10Т і 12Т, свідчать про розвиток процесів старіння металу зразків труб. Таким чином можна стверджувати, що у досліджуваний набір із 18 зразків трубних сталей увійшли як зразки із незначною зміною структури або її відсутністю, так і зразки, у металі яких розвиваються процеси старіння.

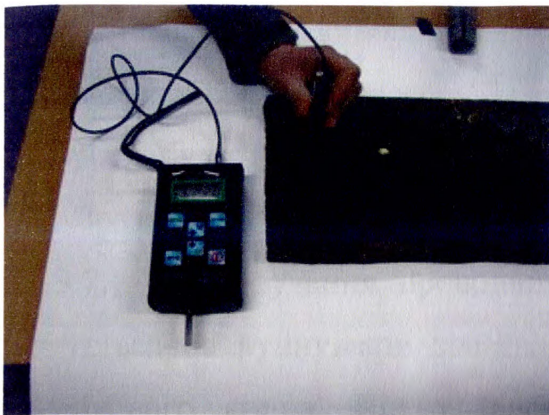
Методика досліджень полягала у наступному. Для визначення фактичних фізико-механічних характеристик матеріалу труб були використані такі технічні засоби:

- твердомір динамічний типу ТД-32 (зав. № 398, НВФ „Ультракон-Сервіс”, м.Київ) – рис.3.6.,а;

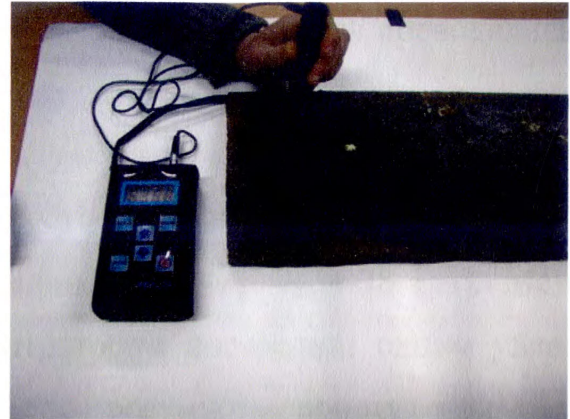
- твердомір резонансного типу ТКР-35 (зав. № 096, НВФ „Ультракон-Сервіс”, м.Київ) – рис. 3.6.,б;

- коерцитиметр КРМ-ЦК (зав. № 3006, НВФ „Спеціальні наукові розробки”, м.Харків) – рис. 3.6.,в;

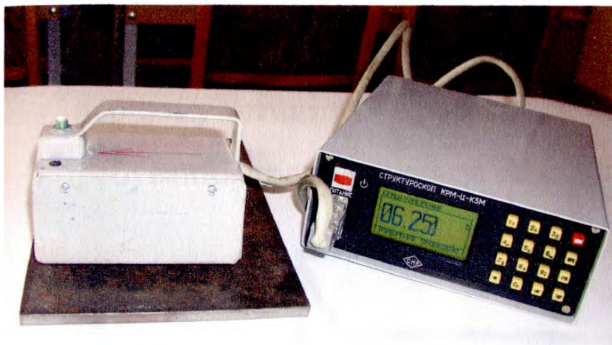
- розроблена експериментальна установка І-1 (рис. 3.6., г) для визначення інформативного параметру I .



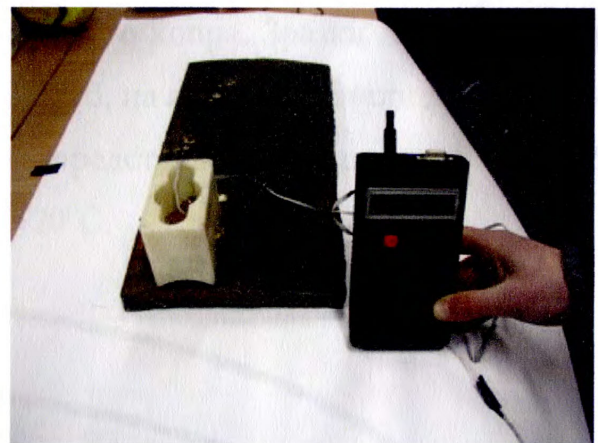
а)



б)



в)



г)

Рис. 3.6. Технічні засоби для вимірювання фізико-механічних характеристик.

а) – твердомір ТД-32;

б) – твердомір ТКР-35;

в) – коерцитиметр КРМ-ЦК;

г) – експериментальна установка І-1.

Для зменшення впливу різних факторів (анізотропії матеріалу зразків, шорсткості поверхні та інших) на результати вимірювань кожен зразок був поділений на 9 зон. У кожній зоні були виконані п'ятикратні вимірювання всіма

приладами, які були використані в ході досліджень. Вимірювання проводились в однакових лабораторних умовах.

Далі було проведено випробування на ударну в'язкість матеріалу зразків труб. Зразки для випробувань ударної в'язкості вирізали за наступною схемою (рис.3.7.). Випробування проводили відповідно до ГОСТ 9454-78 [51]. Метод ґрунтується на руйнуванні зразка з концентратором посередині одним ударом маятнікового копра. Під ударною в'язкістю розуміють роботу удару, що віднесена до початкової площі поперечного перерізу зразка в місці концентратора. Роботу удару визначають за шкалою маятнікового копра. Зразки для визначення ударної в'язкості були виготовлені із зразків труб, на яких проводили дослідження на першому етапі. Їх форма та розміри представлені на рис. 3.8. та 3.9. Випробування проводились за температура $+20^{\circ}\text{C}$.

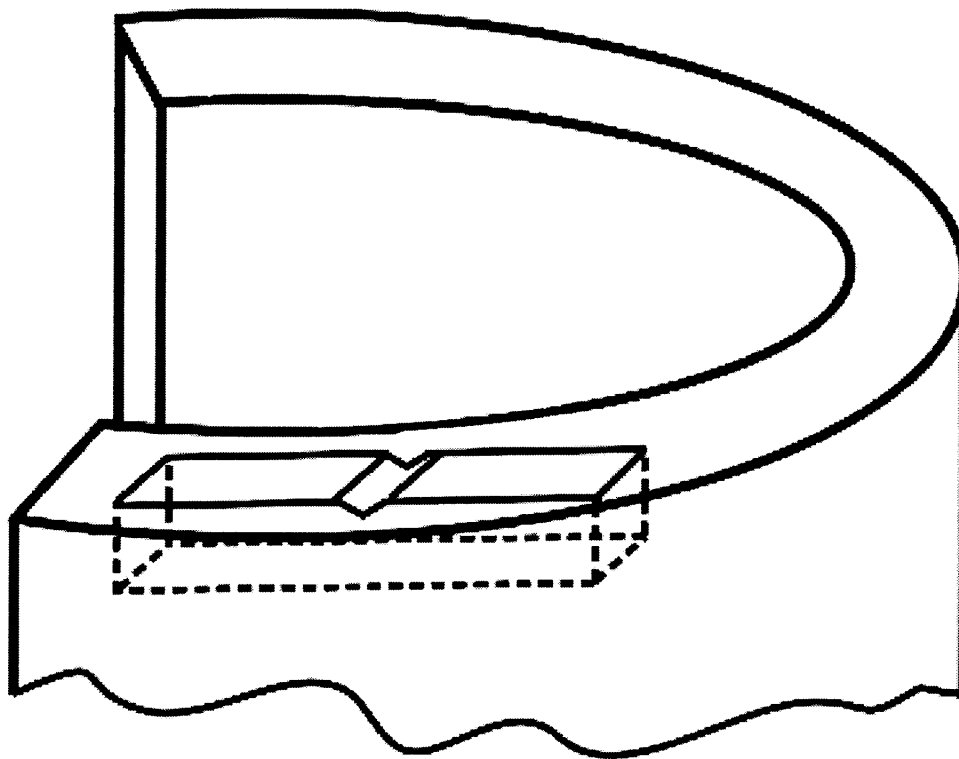


Рис. 3.7. Схема вирізання зразків

Ударну в'язкість (КСУ) Дж/см² обчислюють за формулою:

$$КСУ = \frac{K}{S_0}, \quad (3.1)$$

де K – робота удару, Дж;

S_0 – початкова площа поперечного перерізу зрізця в місці концентратора, см², обчислюємо за формулою:

$$S_0 = H_1 B, \quad (3.2)$$

де H_1 – початкова висота робочої частини зрізця, см;

B – початкова ширина зрізця, см.

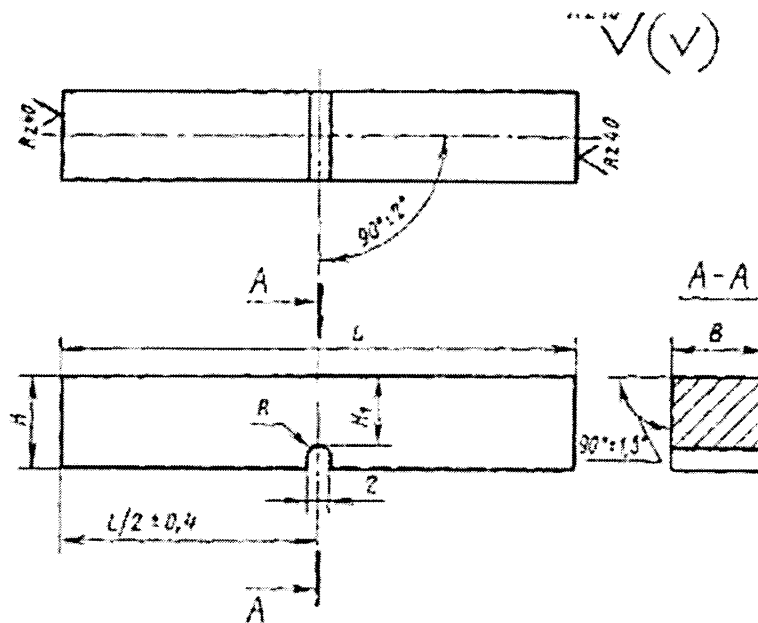


Рис. 3.8. Зразок для випробування на ударну в'язкість з U-подібним надрізом згідно ГОСТ 9454-78

радіус концентратора $R - 1 \pm 0,07$; довжина $L - 65 \pm 0,6$;

ширина $B - 10 \pm 0,10$; висота $H - 10 \pm 0,1$;

висота робочого перерізу $H_1 - 7 \pm 0,05$.

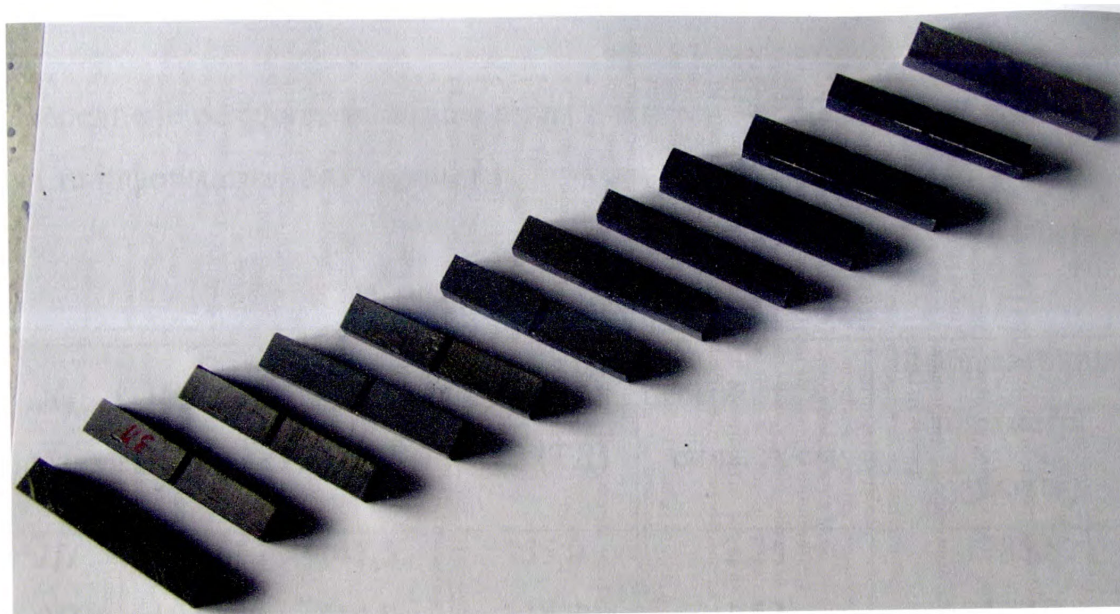


Рис. 3.9. Загальний вигляд зразків для випробування на ударну в'язкість



Рис. 3.10. Загальний вигляд маятникового копра, використаного для випробування на ударну в'язкість згідно ГОСТ 9454-78

Осереднені результати вимірювань твердості, коерцитивної сили, ударної в'язкості та інформативного параметру I представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

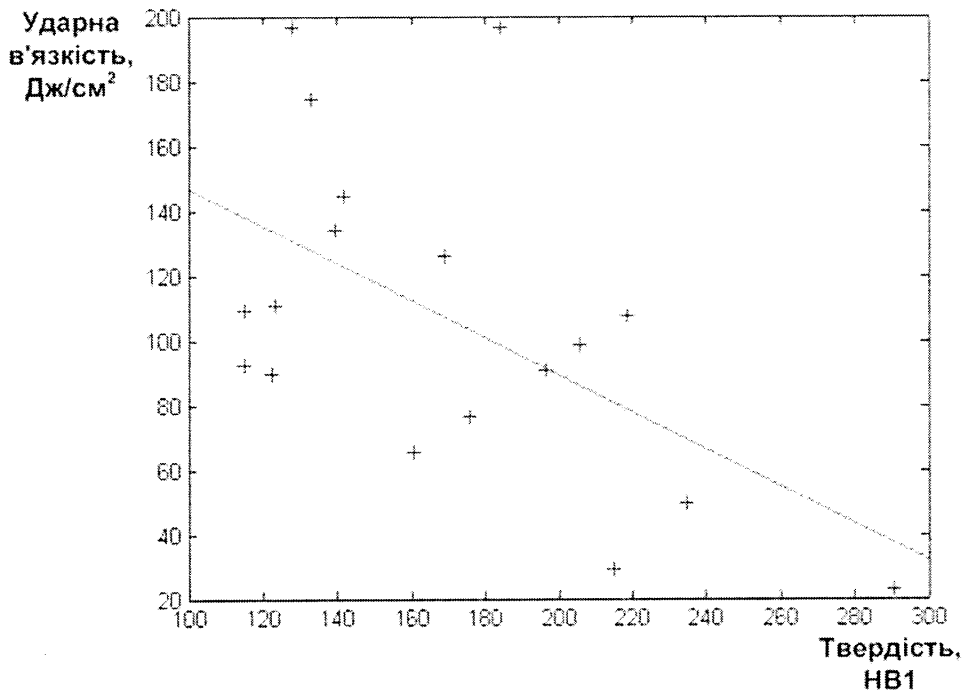
Результати дослідження

П.П.	№ зразка	КСУ, Дж/см ²	Твердість, НВ (ТКР)	Твердість, НВ (ТД)	Коерцитивна сила, А/см	Інформативний параметр, ум.од.
1	1П	144,6	141,5	135,0	2,26	1785,8
2	2П	109,1	114,9	114,3	1,53	2178,9
3	3П	89,5	122,2	116,0	1,82	1997,2
4	4П	76,7	175,6	136,6	3,25	1853,5
5	5П	110,9	123,2	138,3	1,43	2156,6
6	6П	22,7	290,7	249,6	11,83	1532,4
7	7П	174,7	133,1	134,6	3,01	1629,0
8	8П	134,0	139,2	126,3	1,99	1975,3
9	9П	65,6	160,6	134,0	3,19	1839,8
10	1Т	196,6	184,2	149,0	3,92	2450,1
11	4Т	92,2	114,8	118,6	2,24	1846,5
12	5Т	125,9	168,7	151,0	3,80	1729,6
13	8Т	29,1	215,2	187,0	5,61	1561,8
14	10Т	49,9	234,8	198,3	5,30	1573,7
15	13Т	196,5	127,8	119,0	1,98	2095,6
16	15Т	90,7	196,7	187,7	3,78	1705,7
17	21Т	107,5	218,6	203,0	3,14	1895,5
18	22Т	98,6	205,7	201,1	4,97	1943,5

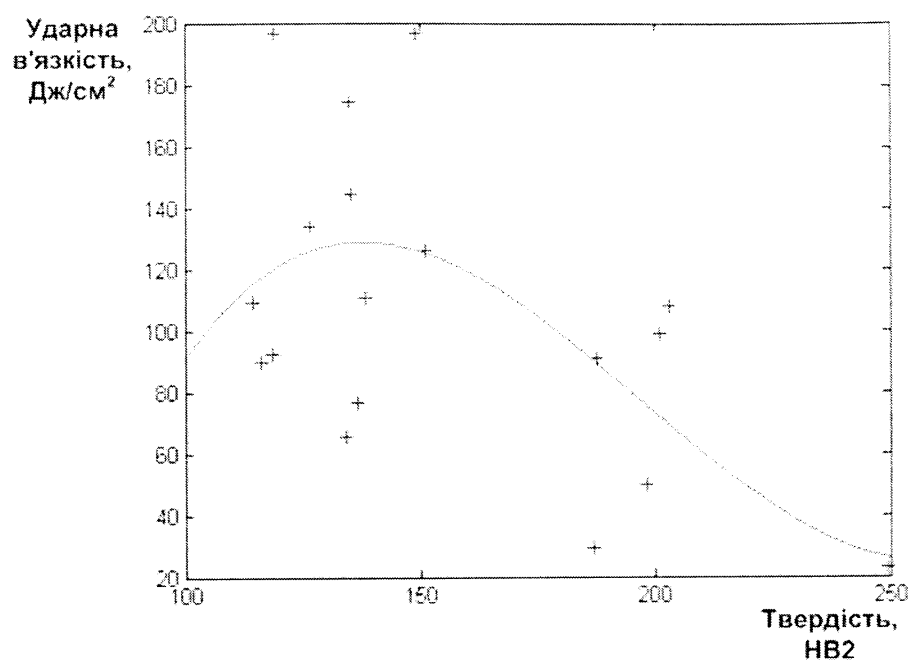
На рис. 3.11. представлено отримані залежності ударної в'язкості металу зразків від твердості, коерцитивної сили та інформативного параметра. Також на рисунках зображені криві апроксимації.

Параметри апроксимації були такими:

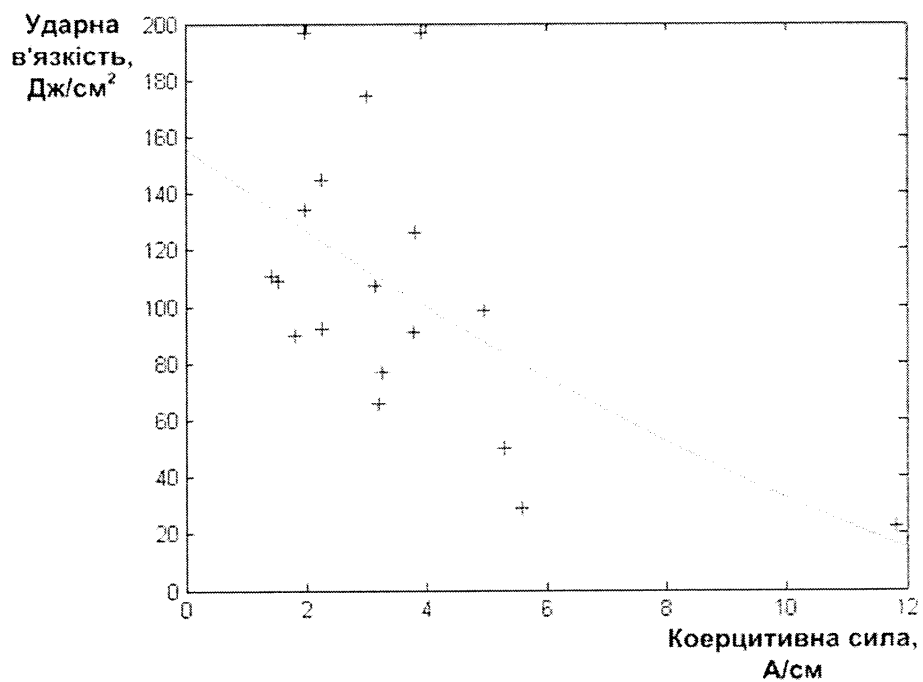
- 1) залежність ударної в'язкості від твердості *HB1* апроксимована функцією вигляду $f(x) = p_1 \cdot x + p_2$, де $p_1 = -0.57$, $p_2 = 0.02$.
- 2) залежність ударної в'язкості від твердості *HB2* апроксимована функцією вигляду $f(x) = p_1 \cdot x^3 + p_2 \cdot x^2 + p_3 \cdot x + p_4$, де $p_1 = 0.000124$, $p_2 = -0.07329$, $p_3 = 13.13$, $p_4 = -613.24$.
- 3) залежність ударної в'язкості від коерцитивної сили апроксимована функцією вигляду $f(x) = p_1 \cdot x^2 + p_2 \cdot x + p_3$, де $p_1 = 0.29579$, $p_2 = -15.316$, $p_3 = 156.24$.
- 4) залежність ударної в'язкості від коерцитивної сили апроксимована функцією вигляду $f(x) = p_1 \cdot x^2 + p_2 \cdot x + p_3$, де $p_1 = 5.3848 \cdot 10^{-7}$, $p_2 = 0.12292$, $p_3 = -126.02$.



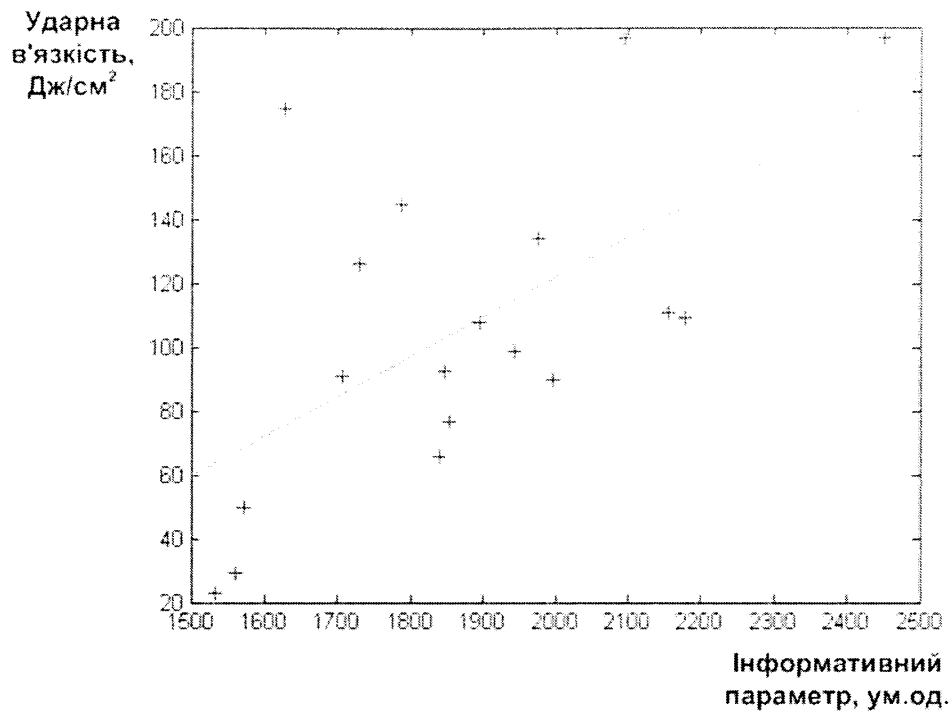
a)



б)



в)



г)

Рис. 3.11. Залежність ударної в'язкості від вимірюваних параметрів

- а) – залежність від твердості металу $HB1$;
- б) – залежність від твердості металу $HB2$;
- в) – залежність від коерцитивної сили;
- г) – залежність від інформативного параметру I .

Необхідно відзначити, що великий розкид вимірних значень твердості пов'язаний з вибіркою зразків металу труб, а саме різноманітністю структури металу.

Третім етапом дослідження було оброблення отриманих наборів даних. Таблиця значень коефіцієнтів кореляції між вимірними параметрами (твердістю HB , коерцитивною силою H_c , інформативним параметром, I) та ударною в'язкістю KCU приведені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Коефіцієнти кореляцій

	<i>HB1</i>	<i>HB2</i>	<i>Hc</i>	<i>i</i>	<i>KCU</i>
<i>HB1</i>	1	0.3774	0.8887	-0.5046	-0.5587
<i>HB2</i>		1	0.4240	-0.2601	-0.2610
<i>Hc</i>			1	-0.542	-0.5544
<i>i</i>				1	0.6049
<i>KCU</i>					1

З таблиці 3.2 видно, що вищі коефіцієнти кореляції з ударною в'язкістю є для твердості *HB1*, коерцитивної сили та показів експериментальної установки I-1 (інформативного параметру *I*). Знак мінус для твердості та коерцитивної сили вказує на обернено пропорційну залежність цих параметрів від ударної в'язкості. Загалом коефіцієнти кореляції не досягають високих значень (більше 0,7), що може вказувати на нелінійність взаємозв'язків між даними параметрами неруйнівного контролю та ударною в'язкістю і на необхідність врахування кількох параметрів одночасно. Тим більше, кореляційний аналіз дає можливість встановити тільки наявність чи відсутність залежності між досліджуваними параметрами, а не оцінити її характер.

Тому метою подальших досліджень було встановити оптимальну комбінацію вимірюваних параметрів, яка б забезпечувала найбільш точне визначення ударної в'язкості. Для вирішення цієї задачі було використано алгоритми штучних нейронних мереж [86].

Штучні нейронні мережі (ШНМ) – це розділ штучного інтелекту, в якому для оброблення вхідної інформації використовують процеси і явища, аналогічні тим, які відбуваються в нейронах живих істот. Найважливіша особливість мережі,

що вказує на можливості її широкого застосування та високий потенціал, ґрунтується на паралельному обробленні інформації всіма розгалуженнями. Велика кількість міжнейронних взаємозв'язків дозволяє значно пришвидшити процес оброблення інформації [87]. Інша не менш важлива особливість ШНМ полягає у здатності навчатись та узагальнювати накопичені дані. Нейронна мережа володіє властивостями, які притаманні штучному інтелекту. Нейрони штучної мережі пов'язані між собою синаптичними з'єднаннями. У процесі роботи ШНМ перетворює вхідну інформацію, в результаті чого змінюється внутрішній стан мережі і відбувається формування вихідних параметрів.

Для класифікування і розпізнавання образів мережа накопичує в процесі навчання знання про основні характеристики цих образів, таких як геометричне відображення структури образу, розподіл головних компонентів або інших характеристик. При узагальненні акцентується увага на відмінностях образів один від одного, які складають основу для вибору класифікаційних рішень [88 – 90].

Перед початком роботи більшість штучних нейронних мереж потребують тренування, зміст якого полягає у підборі параметрів мережі, за яких вона найкращим чином вирішує поставлені задачі. Для вирішення задачі тренування ШНМ існує досить багато алгоритмів [91].

Для розв'язання з допомогою нейронних мереж прикладних задач необхідно зібрати достатній і репрезентативний об'єм даних для того, щоб навчити нейронну мережу вирішувати такі задачі. Навчальний набір даних - це набір спостережень, які містять ознаки досліджуваного об'єкта [92].

Для більшості реальних задач буває достатньо кількох сотень або тисяч спостережень. Для складних задач може бути необхідною більша кількість спостережень, проте дуже рідко зустрічаються задачі, де необхідно менше 100 спостережень.

Процес формування нейронної мережі складається із таких етапів:

- вибору початкової конфігурації мережі; наприклад, у вигляді одного шару із кількістю нейронів, рівною половині кількості входів і виходів;
- моделювання і навчання мережі із оцінюванням контрольної похибки і використання додаткових нейронів або проміжних шарів;
- виявлення ефекту перенавчання і коректування конфігурації мережі [93, 94].

Шляхом аналізу способів побудови структури нейромереж, алгоритмів роботи та типів ШНМ та проведених теоретичних досліджень було обрано архітектуру нейромережі, яка найкращим чином вирішувала поставлені задачі.

Нейронна мережа заданої будови тренувалась для вирішення задачі апроксимації ударної в'язкості як функції двох або трьох вимірюваних параметрів. Шляхом порівняння тестових виходів натренованих нейронних мереж, можна визначити яка комбінація вимірюваних параметрів є оптимальною.

Із трьох вимірюваних параметрів ($HB1$, Hc , I) були сформовані набори по два та три параметри – загалом 4 можливі комбінації. Надалі значення $HB2$ до уваги брати не будемо, оскільки коефіцієнт кореляції з ударною в'язкістю є низьким.

Набір із 18 зразків труб був розділений на дві групи:

- тренувальна – результати вимірювань по 15 зразкам використовувались для тренування нейронних мереж;
- тестова – результати вимірювань 3 зразків пп. 14, 17 та 8 з таблиці 3.1 ($49,9 \text{ Дж/см}^2$, $107,5 \text{ Дж/см}^2$ і 134 Дж/см^2 відповідно), які не використовувались для тренування нейронних мереж і служили для тестування натренованих мереж. Ці значення вибирали з початку, середини та кінця діапазону вимірюваних значень ударної в'язкості.

Для кожної комбінації вхідних параметрів було здійснено тренування 9 нейронних мереж трьох різних архітектур (по три мережі з однаковою будовою).

Для комбінації трьох вхідних параметрів $HB1$, Hc , I найкращий результат дала нейронна мережа з архітектурою $18 \times 3 \times 1$, для комбінації $HB1$, $I - 8 \times 1$, Hc , $I - 10 \times 1$, $HB1$, $Hc - 8 \times 1$.

Підготовка даних (як вхідних, так і вихідних) проводилась за стандартною процедурою нормування для отримання значень параметрів в межах $[0 \ 1]$.

Як тренувальний алгоритм у всіх мережах використовувався алгоритм Левенберга-Марквардта [86], який використовується зазвичай для тренування невеликих мереж і характеризується швидким сходженням.

Результати тестувань натренованих нейронних мереж для кожної комбінації вхідних параметрів наведені у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Порівняльна таблиця для вибору оптимальної комбінації параметрів

№	Кількість вхідних параметрів	Вхідні параметри	Кращий результат, Дж/см ²			Середня приведена до діапазону похибка, %
1	2	$HB1, I$	52,00	100,54	122,71	3,90
2		Hc, I	50,67	110,59	116,39	4,11
3		$HB1, Hc$	66,58	96,93	127,57	6,45
4	3	$HB1, Hc, I$	48,60	106,10	118,60	3,47

Аналізуючи результати представлені у таблиці 3.3 можна сказати, що найкращий результат визначення ударної в'язкості дали комбінації вхідних параметрів $(HB1, I)$, (Hc, I) та всіх трьох – $(HB1, Hc, I)$, оскільки відмінності між кращими результатами для цих трьох комбінацій не є суттєвими. Однак необхідно відзначити, що гірший результат визначення ударної в'язкості для комбінації вхідних параметрів $HB1, Hc$ (середня приведена до діапазону похибка майже у два

рази більша від значень для інших комбінацій) може бути пов'язане із впливом анізотропії матеріалу на значення коерцитивної сили та чутливістю цього параметру до факторів, які не були враховані в ході проведення досліджень. Тому враховуючи сказане вище та беручи до уваги такий важливий чинник, як мінімальна кількість технічних засобів необхідних для проведення вимірювання ударної в'язкості, оптимальною є комбінація вхідних параметрів твердість – інформативний параметр I .

3.4. Підвищення інформативності розробленого неруйнівного методу визначення ударної в'язкості

Як уже було сказано у попередніх розділах, ударна в'язкість металу трубопроводу нормується за її величиною, визначеною за мінімальною температурою стінки трубопроводу під час експлуатування. Тому для підвищення інформативності розробленого методу контролю та його застосовності для трубних сталей було вирішено провести додаткові випробування на ударну в'язкість за температури 0°C і на зразках з V-подібним надрізом.

Вимірювання ударної в'язкості проводили за методикою, аналогічною описаній вище. Відмінність полягала у температурі зразків для випробування (у цих дослідженнях вона становила 0°C) і форми надрізу – V-подібний (рис.3.12.).

Охолодження зразків до температури випробування забезпечували з допомогою морозильної камери побутового холодильника та переносної сумки-холодильника. Температуру зразків контролювали з допомогою тепловізора (рис.3.13. та 3.14.)

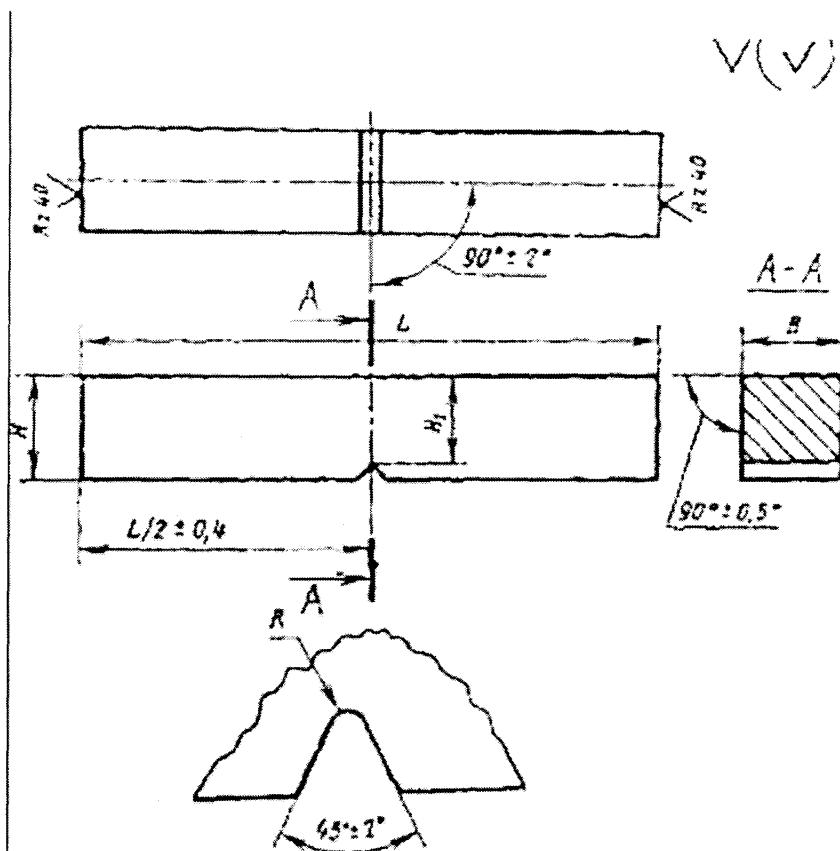


Рис. 3.12. Зразок для випробування на удару в'язкість з V-подібним надрізом згідно ГОСТ 9454-78:

радіус концентратора $R - 0,25 \pm 0,025$;

довжина $L - 55 \pm 0,6$;

ширина $B - 10 \pm 0,10$;

висота $H - 10 \pm 0,1$;

висота робочого перерізу $H_1 - 8 \pm 0,05$.



Рис. 3.13. Тепловізор FLUKE Ti25

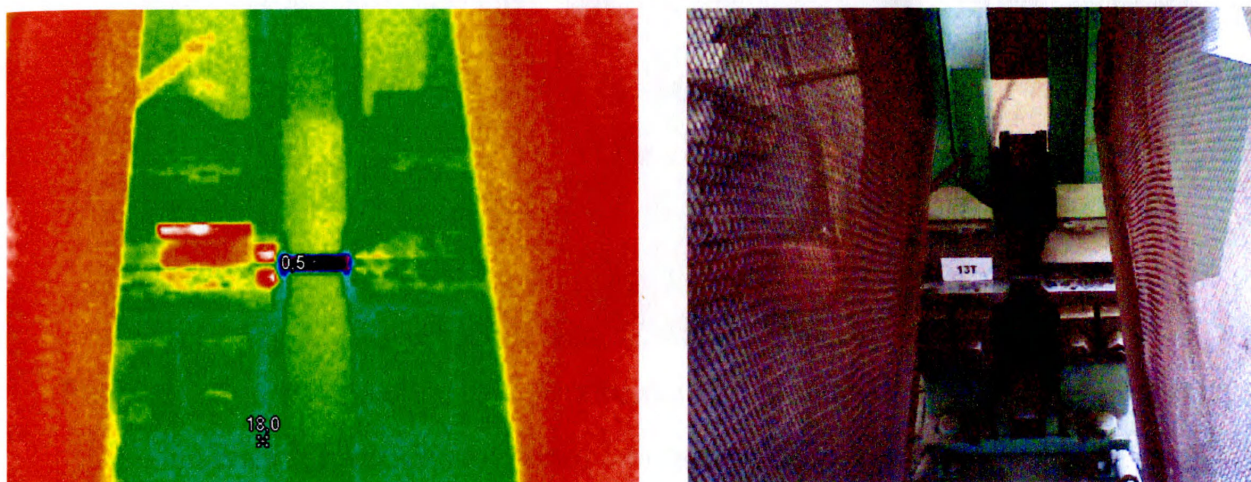


Рис. 3.14. Вимірювання температури взірця під час випробування на ударну в'язкість

Крім того, необхідно провести дослідження з вибору оптимальної частоти електромагнітних коливань індуктивного контуру перетворювача (інформативний параметр L), оскільки для експериментальної установки I-1 частота (30 кГц) була вибрана з умови забезпечення глибини проникнення електромагнітного поля перетворювача. З цією метою було розроблено експериментальну установку для визначення оптимальної частоти електромагнітних коливань, яка дозволяла вимірювати безпосередньо частоту електромагнітних коливань індуктивного

перетворювача (інформативний параметр I) з високою точністю. До її складу входив індуктивний перетворювач, мультиметр (з точністю вимірювання частоти 0,0001 кГц) та блок живлення (рис. 3.15.).



Рис. 3.15. Експериментальна установка для визначення оптимальної частоти електромагнітних коливань індуктивного перетворювача

Осереднені результати вимірювань ударної в'язкості представлені у табл. 3.4.

Таблиця 3.4

Результати вимірювання

№ зразка	4П	5П	6П	7П	8П	9П	
KCV, Дж/см ²	94,83	34,14	11,46	27,33	56,95	38,50	
№ зразка	1Т	4Т	5Т	8Т	10Т	13Т	22Т
KCV, Дж/см ²	123,79	8,31	71,00	13,96	15,38	76,40	59,92

У таблиці 3.5 представлені результати вимірюванні інформативного параметра I за різних частот власних електромагнітних коливань індуктивного контуру перетворювача.

Таблиця 3.5

Результати вимірювання інформативного параметра I

Частота, кГц Номер зразка	6.7	13.7	24.2	25.0	36.0	44.4
4П	4,22	9,17	19,34	19,56	29,73	37,43
5П	4,24	9,36	20,42	21,63	32,58	41,06
6П	4,67	10,52	22,61	22,16	33,04	41,62
7П	4,52	10,21	22,37	22,40	33,60	42,29
8П	4,26	9,50	20,75	21,99	33,01	41,43
9П	4,24	9,46	20,74	21,64	32,42	41,17
1Т	4,18	8,84	18,46	18,64	28,36	36,39
4Т	4,37	9,60	20,56	22,23	33,24	41,80
5Т	4,59	10,32	21,54	21,83	32,58	41,20
8Т	4,71	10,42	21,77	22,03	32,66	40,95
10Т	4,72	10,50	21,88	22,06	32,77	41,15
13Т	4,38	9,48	20,58	21,34	32,11	40,47
22Т	4,42	9,61	20,89	20,51	31,00	39,28

Оптимальну частоту електромагнітних коливань індуктивного контуру перетворювача оберемо за результатами кореляційного аналізу ударної в'язкості та значень інформативного параметру I , виміряних за різних частот. Коефіцієнти кореляції приведені у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6

Коефіцієнти кореляцій

	6.7	13.7	23.4	25.0	36.0	44.4
KCV, Дж/см ²	-0.6016	-0.6937	-0.7785	-0.8650	-0.8473	-0.8349

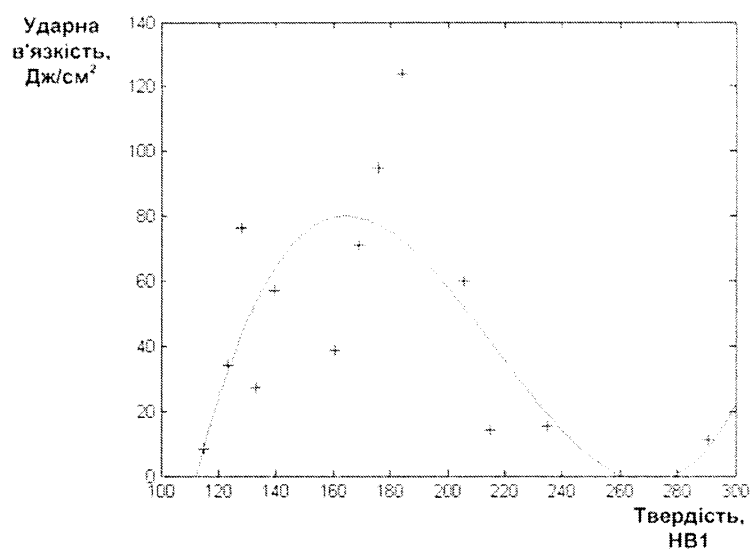
Як бачимо найвище значення коефіцієнту кореляцій із ударною в'язкістю має інформативний параметр I , виміряний за частоти електромагнітних коливань індуктивного контуру перетворювача 25,0 кГц. Таке значення частоти забезпечує проникнення електромагнітного поля перетворювача на всю глибину зразків. Тому для подальших досліджень будемо використовувати саме ці значення інформативного параметра I .

На рисунку 3.16 представлено отримані залежності ударної в'язкості металу зразків, виміряної за температури 0⁰С від твердості, коерцитивної сили та інформативного параметра I , виміряного з допомогою експериментальної установки І-2. Також на рисунках зображені криві апроксимації.

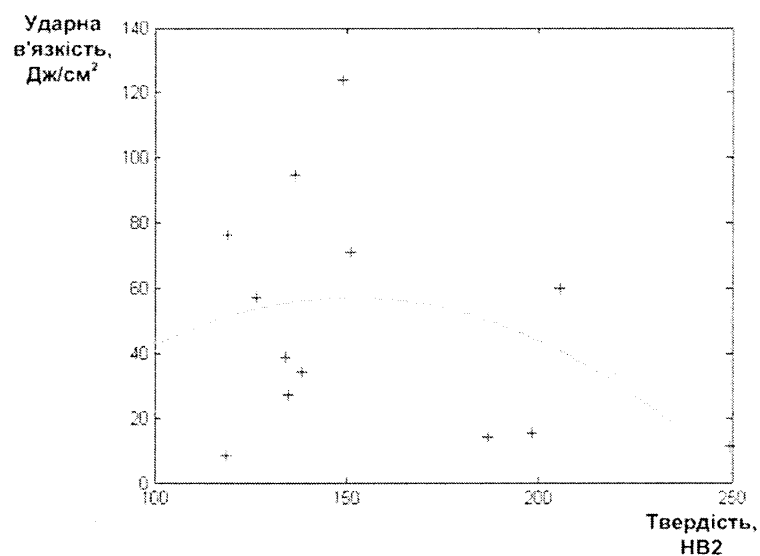
Параметри апроксимації були такими:

- 1) залежність ударної в'язкості від твердості $HB1$ апроксимована функцією вигляду $f(x) = p1 \cdot x^3 + p2 \cdot x^2 + p3 \cdot x + p4$, де $p1=0.0001396$, $p2=-0.090951$, $p3=18.589$, $p4=-1138.3$.
- 2) залежність ударної в'язкості від твердості $HB2$ апроксимована функцією вигляду $f(x) = p1 \cdot x^2 + p2 \cdot x + p3$, де $p1=-0.0056015$, $p2=-1.6973$, $p3=-71.441$.
- 3) залежність ударної в'язкості від коерцитивної сили апроксимована функцією вигляду $f(x) = p1 \cdot x^2 + p2 \cdot x + p3$, де $p1=-0.63846$, $p2=4.2223$, $p3=46.228$.
- 4) залежність ударної в'язкості від коерцитивної сили апроксимована функцією вигляду $f(x) = p1 \cdot x + p2$, де $p1=-27.171$, $p2=629.69$.

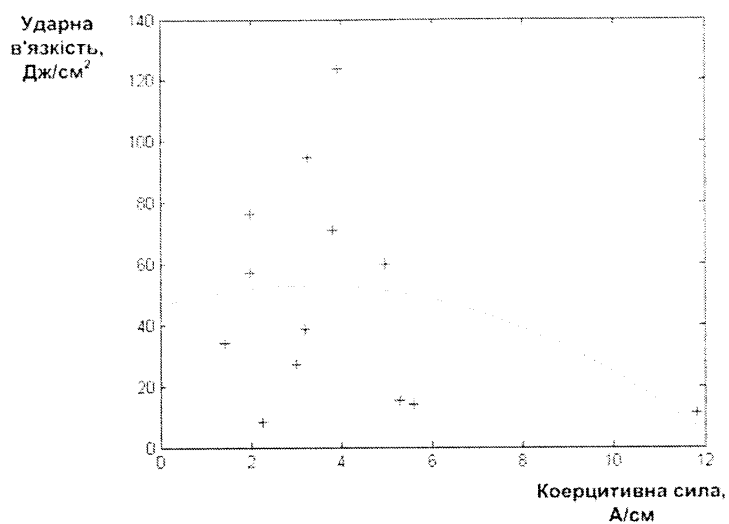
Оброблення отриманих проводили за тим самим алгоритмом, що і попередніх дослідженнях, а саме з використанням штучних нейронних мереж. Найкращий результат для визначення ударної в'язкості дав комплекс параметрів *НВ1* та *I*, а середня приведена до діапазону похибка склала 4,3%.



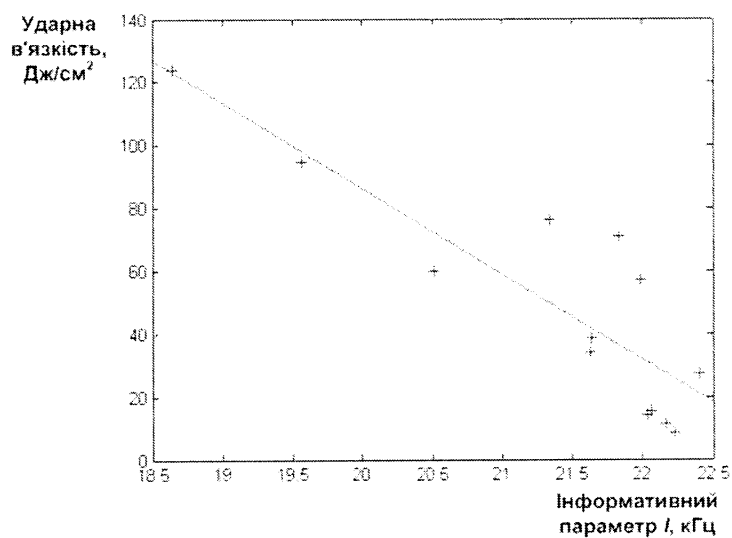
а)



б)



в)



г)

Рис. 3.14. Залежність ударної в'язкості (за температури 0°C) від вимірюваних параметрів

а) – залежність від твердості металу $HB1$;

б) – залежність від твердості металу $HB2$;

в) – залежність від коерцитивної сили;

г) – залежність від інформативного параметру I .

3.5. Метрологічна оцінка розробленого методу визначення ударної в'язкості

Оброблення одержаних результатів було виконано відповідно до стандартної методики [95]. Розглянемо дану методику для тестового зразка №1.

Таблиця 3.7

Результати багатократних вимірювань

№	Тестовий зразок №1 $KCV=95,73$ Дж/см ²			Тестовий зразок №2 $KCV=12,18$ Дж/см ²			Тестовий зразок №3 $KCV=55,79$ Дж/см ²		
	<i>HB</i>	<i>I</i>	<i>KCV</i>	<i>HB</i>	<i>I</i>	<i>KCV</i>	<i>HB</i>	<i>I</i>	<i>KCV</i>
1	130.6	19.65	96.72	244.6	22.12	12.52	126.4	21.83	55.32
2	133.2	19.41	92.42	248.3	22.21	12.62	127.5	21.61	54.53
3	138.7	19.57	94.72	249.4	22.06	13.22	125.8	22.22	56.4
4	140.9	19.49	90.64	245.4	22.18	12.72	128.9	22.13	58.84
5	132.3	19.67	88.45	246.4	22.21	11.95	123.9	21.72	57.27
6	133.6	19.54	99.32	242.4	22.22	11.69	122.6	22.23	52.44
7	132.2	19.56	96.46	246.3	22.21	11.68	123.6	21.62	52.6
8	136.4	19.62	95.35	249.1	22.18	11.43	123.5	21.67	53.9
9	135.8	19.49	95.78	241.67	22.17	12.32	125.1	21.69	53.12
10	131.2	19.68	94.4	246.1	22.14	11.97	121.9	21.81	53.5
11	133.2	19.53	92.1	242.12	22.16	12.47	124.1	21.96	52.36
12	132.1	19.41	93.4	241.5	22.17	12.556	128.6	22.12	52.8

Попередньо необхідно зауважити, що оскільки перед тренуванням та тестуванням проводять підготовку даних, яка може бути виражена формулою:

$$hb = (HB - \min HB) / D_{HB}, \quad (3.3)$$

де HB – виміряне значення твердості; hb – підготовлене значення; $minHB$ – мінімальне значення твердості; D_{HB} – діапазон значень твердості.

Відповідно до такої ж методики проводиться підготовка значень інформативного параметра I та ударної в'язкості. Більшість операцій будуть виконуватись із підготовленими значеннями параметрів, а для запису результатів спостережень вони будуть переводитись у звичайний вигляд. Процедура оброблення результатів опосередкованих вимірювань наступна:

1) Визначення середніх значень твердості та параметру I ($n=12$ – кількість спостережень):

$$\overline{HB} = \sum_{i=1}^n \frac{HB_i}{n}, \quad \bar{I} = \sum_{i=1}^n \frac{I_i}{n}, \quad (3.4)$$

Результати розрахунків для зразка №1: $\overline{HB} = 0.1637$ $\bar{I} = 0.6368$.

2) Визначення незміщеного середньо квадратичного відхилення (СКВ) результатів спостережень твердості та інформативного параметра I :

$$\sigma_{HB} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (HB_i - \overline{HB})^2}{n-1}}, \quad \sigma_I = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2}{n-1}} \quad (3.5)$$

Результати розрахунків для зразка №1: $\sigma_{HB} = 0.021$, $\sigma_I = 0.018$.

3) Перевірка на аномальність кожного результату спостережень згідно із так званим правилом „трьох сігм”.

$$|HB_i - \overline{HB}| \leq 3\sigma_{HB}, \quad |I_i - \bar{I}| \leq 3\sigma_I, \quad (3.6)$$

У результаті виконаної перевірки всі значення спостережень твердості та інформативного параметра I відповідають умові (3.6).

4) Здійснення перевірки результатів спостережень на відповідність нормальному закону розподілу з використанням критерію W (за $3 < n < 40$).

Перевірка результатів спостережень твердості та інформативного параметра I за критерієм W була виконана згідно з [96].

Суть критерію W полягає перш за все у розрахунках, які зазвичай представляють у вигляді таблиці – табл.3.8. Перш за все результати спостережень упорядковують у вигляді варіаційного ряду $x'_1 \leq x'_2 \leq \dots \leq x'_n$. В нижній половині третьої колонки знизу вверх записують значення j від l до 1 , де $l = n/2$ для парних n і $l = (n-1)/2$ для непарних n .

Заповнюють таблицю 3.8 для перевірки результатів спостережень твердості для першого тестового взірця.

На основі додатку Ж [96] для відповідних n та l знаходять значення коефіцієнтів a_{n-j+1} для j від l до 1 і записують їх знизу вверх у колонку 4. Колонки 5 та 6 заповнюються відповідно до значень, указаних у табл.3.8.

Таблиця 3.8

Алгоритм критерію W

i	x_i	j	a_{n-j+1}	$\Delta x = x'_{n-j+1} - x'_j$	$a_{n-j+1} \cdot \Delta x$
1	2	3	4	5	6
1	130.6				
2	133.2				
3	138.7				
4	140.9				
5	132.3				
6	133.6				
7	132.2	6	0.0303	10.3	0.3121
8	136.4	5	0.0922	7.5	0.6915
9	135.8	4	0.1586	4.3	0.6820
10	131.2	3	0.2347	3.6	0.8449
11	133.2	2	0.3325	1.3	0.4323
12	132.1	1	0.5476	0	0

На основі даних таблиці 3.8 розраховують значення φ^2 та b^2 таким чином:

$$\varphi^2 = \sum_{i=1}^n (x'_i)^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x'_i \right)^2, \quad (3.7)$$

$$b^2 = \left\{ \sum_{j=1}^l a_{n-j+1} \cdot (x'_{n-j+1} - x'_j) \right\}^2. \quad (3.8)$$

Результати розрахунку для спостережень твердості першого тестового взірця наступні: $\varphi^2 = 108.88$, $b^2 = 96.68$. На основі одержаних значень φ^2 та b^2 розраховують значення критерію W :

$$W = \frac{b^2}{\varphi^2}. \quad (3.9)$$

Для твердості розраховане значення критерію $W = 0.89$. Задавшись певним рівнем значимості α , який відображає найбільшу ймовірність помилковості гіпотези про належність результатів спостережень даної вибірки до нормального закону розподілу ($\alpha = 0.05$) згідно з додатком К [96] знаходять значення W^* . У нашому випадку табличне значення - $W^* = 0.859$. За $W > W^*$ ($0.961 > 0.859$) можна вважати, що гіпотеза справедлива і розподіл спостережень твердості відповідає нормальному закону розподілу.

Для інформативного параметра I : розраховане значення критерію $W = 0.89$, табличне значення $W^* = 0.859$, а перевірка - $W > W^*$ вказує, що результати спостережень даного параметра відповідають нормальному закону розподілу.

5) Оскільки результати спостережень описуються нормальним законом розподілу, то визначають СКВ результатів прямих вимірювань твердості та інформативного параметра I :

$$\sigma_{\overline{HB}} = \frac{\sigma_{HB}}{\sqrt{n}}, \quad \sigma_{\bar{I}} = \frac{\sigma_I}{\sqrt{n}}, \quad (3.10)$$

Результати розрахунків: $\sigma_{\overline{HB}} = 0.0061$, $\sigma_{\bar{I}} = 0.0018$

6) Задаються значенням імовірності $\bar{P}_{зад} = 0.95$ і згідно з [95] знаходять коефіцієнт Ст'юдента (коефіцієнт довіри) – $z = 2.205$.

7) Записують результати вимірювань параметрів HB та I згідно з формулами (1) та (6):

$$HB = \overline{HB} \pm z\sigma_{\overline{HB}}, \quad I = \bar{I} \pm z\sigma_{\bar{I}}, \quad \bar{P} = \bar{P}_{зад} \quad (3.11)$$

Запис: $HB = 134.1 \pm 6.93$, $I = 21.37 \pm 0.1354$, $\bar{P}_{зад} = 0.95$

7) Розрахунок середнього значення ударної в'язкості

$$\overline{KCV} = f(\overline{HB}, \bar{I}) \pm \text{поправка} A, \quad (3.12)$$

Поправку A вводять тоді, коли

$$A \geq 0.8 \sqrt{\left(\frac{\partial KCV}{\partial HB}\right)^2 \cdot \sigma_{\overline{HB}}^2 + \left(\frac{\partial KCV}{\partial I}\right)^2 \cdot \sigma_{\bar{I}}^2}, \quad (3.13)$$

$$A = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 KCV}{\partial HB^2} \Delta HB + \frac{\partial^2 KCV}{\partial I^2} \Delta I \right) + \frac{\partial^2 KCV}{\partial HB \partial I} \cdot \Delta HB \cdot \Delta I, \quad (3.14)$$

де $\Delta HB = \max(\overline{HB} - HB_i)$, $\Delta I = \max(\bar{I} - I_i)$ - максимальні значення абсолютних похибок вимірювань твердості та інформативного параметра I .

Очевидно, що для того, щоб виконати перевірку згідно з (3.12)-(3.13) необхідно записати аналітичний вираз залежності ударної в'язкості від твердості

та інформативного параметра I . Це і є однією з головних перешкод для метрологічної оцінки інформаційно-вимірювальних систем, створених на базі або із застосуванням алгоритмів штучних нейронних мереж.

Як вже було зазначено вище, ця залежність у прихованому вигляді міститься в структурі нейронної мережі – кількість шарів та нейронів у них, функції перетворення, числові значення вагових коефіцієнтів. Основна трудність із метрологічним аналізом інформаційно-вимірювальних систем побудованих на базі алгоритмів, якраз полягає в трудності представлення цієї залежності в аналітичному виді. Запишемо залежність ударної в'язкості від твердості та інформативного параметра I аналітично:

$$KCV = OUT \cdot \max KCV + \min KCV, \quad (3.15)$$

де

$$OUT = \frac{\{1\}}{\{1\} + \exp\left(\sum_{n=1}^{16} -(LW\{2,1\}) \cdot \left(\frac{\{2\}}{\{1\} + \exp(-2 \cdot \sum_{n=1}^{16} (IW\{1,1\} \cdot [hb; i] + b\{1\}))} - \{1\}) + b\{2\}\right)\right)}, \quad (3.16)$$

$$i = \frac{I - \min I}{\max I}, hb = \frac{HB - \min HB}{\max HB}, \quad (3.17)$$

де $\max KCV = 175 \text{ Дж/см}^2$, $\min KCV = 10 \text{ Дж/см}^2$, $\min I = 1500$, $\max I = 2500$, $\min HB = 110 \text{ НВ}$, $\max HB = 300 \text{ НВ}$.

Необхідно зазначити, що рівняння (3.15) має матричну форму, у зв'язку з чим виникають труднощі з його диференціюванням. Для розв'язання цієї задачі було використано прикладний пакет *Symbolic Toolbox* у середовищі *MATLAB R14*, який дає змогу виконувати диференціювання функцій із символьними змінними. Таким чином, було продиференційовано функцію межі текучості в частинних

похідних по твердості та теплопровідній характеристикі і виконано перевірку згідно з умовами (3.12)-(3.13): $A = -0.613 \leq 0.017$ - поправка A не вводиться.

9) Здійснюють попарний аналіз результатів спостережень твердості та теплопровідної характеристики на наявність між ними кореляційної залежності згідно з формулою:

$$R = \frac{\frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n HB_i \cdot I_i - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n HB_i \right) \left(\sum_{i=1}^n I_i \right) \right]}{\sigma_{HB} \cdot \sigma_I}. \quad (3.18)$$

Результати розрахунку: $R = -0.2274$

10) Виконують перевірку умови $\frac{R\sqrt{n}}{1-R^2} < z$. Підставляючи значення $z = 2.205$ та $R = -0.2274$. Оскільки $-0.8306 < z$, то $R=0$.

11) Розраховують СКВ результату опосередкованого вимірювання $\bar{\sigma}_T$:

$$\sigma_{KCV} = \sqrt{\left(\frac{\partial KCV}{\partial HB} \right)^2 \cdot \sigma_{HB}^2 + \left(\frac{\partial KCV}{\partial I} \right)^2 \cdot \sigma_I^2}. \quad (3.19)$$

Результат розрахунку: $\sigma_{KCV} = 0.033$

12) Оскільки відомо, що аргументи функції (твердість та інформативний параметр I) описуються нормальним законом, розраховують значення коефіцієнта довіри z за такою формулою:

$$z = \sqrt{\frac{4}{9(1-\bar{P}_{зад})}}. \quad (3.20)$$

Для $\bar{P}_{зад} = 0.95$ результат розрахунку: $z = 2.98$

13) Записують результат опосередкованого вимірювання з урахуванням формул (3.3) та (3.20):

$$KCV = \overline{KCV} \pm z \cdot \sigma_{KCV} \text{ при } \bar{P}_{зад} = 0.95. \quad (3.21)$$

Результат вимірювання: $KCV = 94.13 \pm 4.5 \text{ Дж/см}^2$ за $\bar{P}_{зад} = 0.95$.

Згідно із таким самим алгоритмом, були проведені розрахунки для тестових зразків №2 та №3 (табл.3.7). Результати загалом для всіх трьох тестових зразків:

Тестовий зразок №1 (дійсне $KCV = 95,73 \text{ Дж/см}^2$): $KCV = 94.13 \pm 4.5 \text{ Дж/см}^2$ за $\bar{P}_{зад} = 0.95$.

Тестовий зразок №2 (дійсне $KCV = 12,18 \text{ Дж/см}^2$): $KCV = 12.8 \pm 0.9 \text{ Дж/см}^2$ за $\bar{P}_{зад} = 0.95$.

Тестовий зразок №3 (дійсне $\sigma_T = 55,79 \text{ Дж/см}^2$): $KCV = 54.35 \pm 3.2 \text{ Дж/см}^2$ за $\bar{P}_{зад} = 0.95$.

Одержані результати оброблення спостережень вказують, що похибка визначення межі текучості є більшою у верхній частині діапазону вимірювань, що може пояснюватись недостатньою кількістю взірців труб у цій частині діапазону.

Отже, зведена до діапазону (54 Дж/см^2) похибка визначення межі текучості насосно-компресорних труб згідно із запропонованим методом не перевищує 5.9% за $\bar{P}_{зад} = 0.95$.

Висновки до розділу:

1 Запропоновано підхід до визначення ударної в'язкості металу, який полягає в урахуванні кількох інформативних параметрів (твердості, коерцитивної сили та зміни частоти електромагнітних коливань індуктивного перетворювача(інформативного параметра L)) та використанні алгоритмів штучних нейронних мереж для встановлення взаємозв'язків між досліджуваними характеристиками.

3 Аналіз можливості вимірювання обраних параметрів показав, що із задовільною точністю вимірювання твердості можна виконувати серійними твердомірами типу ТДМ-1, вимірювання коерцитивної сили серійним приладом КРМ-ЦК, а інформативний параметр I з допомогою експериментальної установки І-1.

3 Обґрунтовано можливість використання алгоритмів штучних нейронних мереж (ШНМ) для визначення характеристик матеріалів, що створило підґрунтя їх застосування для розв'язання поставленої задачі апроксимації ударної в'язкості як функції комплексу параметрів неруйнівного контролю.

4 Розроблено методику експериментальних досліджень щодо перевірки запропонованого методу визначення ударної в'язкості шляхом урахування комплексу параметрів (твердості, інформативного параметра L).

5 Проведено експериментальні дослідження з метою перевіряння запропонованого методу на прикладі зразків трубних сталей. Результати досліджень (середня приведена до діапазону похибка визначення ударної в'язкості становить 3,9%) підтверджують правильність обрання комплексу параметрів (твердість, інформативний параметр L) як найбільш оптимальних для визначення ударної в'язкості.

6 З метою підвищення інформативності розробленого неруйнівного методу визначення ударної в'язкості проведені додаткові експериментальні дослідження для встановлення взаємозв'язків між ударною в'язкістю, вимірюною за температури 0°C та комплексом інформативних параметрів. Також проведені дослідження з вибору оптимальної частоти власних електромагнітних коливань індуктивного перетворювача, для чого було розроблено експериментальну установку І-2.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБЛЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЗРАЗКА ІНФОРМАЦІЙНО-ВІМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ФАКТИЧНОГО ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ ТА ПРОЕКТУ МЕТОДИКИ ЇЇ ВИКОРИСТАННЯ

4.1. Розроблення експериментального зразка інформаційно-вимірювальної системи для визначення фактичного технічного стану металоконструкції за зміною ударної в'язкості металу

З метою промислової апробації результатів теоретичних та експериментальних досліджень було розроблено експериментальний зразок інформаційно-вимірювальної системи (ІВС) І-2 для оцінювання фактичного технічного стану металоконструкцій довготривалої експлуатації та технологію (проект методики) діагностування в промислових умовах.

Оцінювання фактичного технічного стану шляхом контролю механічних характеристик матеріалу металоконструкцій, у більшості випадків, необхідно здійснювати у польових умовах. Розроблена і описана в 3.2. експериментальна установка для реалізації розробленого неруйнівного методу контролю не є придатною для цього, оскільки вона розроблена для використання в лабораторних умовах і має ряд недоліків, серед яких можна виділити такі:

- недосконалість функціональних рішень (зокрема в частині розмірів її складових елементів), що зумовило складність її функціонування в польових умовах;
- складність з роботою в автономному режимі та під керуванням ПК.

Тому, постала необхідність розроблення принципово нового апаратурного забезпечення інформаційно-виміральної системи (ІВС) контролю. У процесі розроблення вказаної ІВС основну увагу звернено на розроблення її функціональної схеми, відповідних засобів мікропроцесорної техніки і спеціалізованого програмного забезпечення, що дозволяє підвищити швидкість процесу та точність результатів вимірювання ударної в'язкості металу згідно із розробленим алгоритмом та знизити енергоспоживання.

Особливу увагу також приділено розробленню проекту методики роботи з інформаційно-виміральною системою із урахуванням особливостей умов експлуатування та об'єкту контролю.

Відмінності між експериментальною установкою та експериментальним зразком ІВС полягають у розширенні функціональних можливостей ІВС, що дозволить її роботу у двох режимах – автономному та під керуванням персонального комп'ютера.

Функціональна схема експериментального зразка інформаційно-виміральної системи І-2 зображена на рис. 4.1. У основу ІВС І-2 лягла концепція експериментальних установок І-1.

Для вимірювання твердості металу використано твердомір динамічного типу ТДМ-1. Виміряні значення твердості вводять в пам'ять ІВС, які в подальшому використовують для визначення ударної в'язкості металу.

Для вимірювання інформативного параметра I використано індуктивний перетворювач, який представляє собою розімкнуте феритове кільце, на яке намотана індуктивна котушка. Індуктивний перетворювач розроблений в умовах лабораторії неруйнівного контролю та технічної діагностики ІФНТУНГ. Діапазон частот, за яких проводиться вимірювання складає 18-25 кГц.



Рис. 4.1. Функціональна схема IBC I-2

Одним з основних блоків IBC I-2 є блок оброблення інформації, який призначений для отримання даних з індуктивного перетворювача і твердоміра, їх розрахунку за допомогою розроблених алгоритмів штучних нейронних мереж та видачі результатів для візуального контролю.

Блок оброблення інформації призначений для виконання таких функцій:

- аналого-цифрового перетворення (АЦП) інформаційних сигналів індуктивного перетворювача;
- формування сигналів керування аналого-цифровим перетворювачем відповідно до часових діаграм його роботи;
- формування адресів для збереження результатів аналого-цифрового перетворення інформаційних сигналів;

- формування сигналів керування та запис вимірних значень інформаційних сигналів;
- розрахунок ударної в'язкості за одержаними даними відповідно до алгоритму розрахунку, що знаходиться в пам'яті мікроконтролера;
- виведення на індикацію розрахованих значень ІВС;
- за наявності відповідної команди, встановлення зв'язку з персональним комп'ютером.

Частота роботи аналого-цифрового перетворювача складає 25 МГц, яка є достатньою, оскільки частота електромагнітних коливань індуктивного перетворювача складає 18-25 кГц.

Блок оброблення інформації містить у собі наступні функціональні вузли:

- 1) Однокристальний мікроконтролер PIC16F877-20I/P.
- 2) Вузол задаючого генератора синхронізації на базі інверторів KP1533ЛН1.
- 3) Вузол формування адреси комірки для запису та зчитування статичної пам'яті на базі асинхронних лічильників 555ИЕ19.
- 4) Статична пам'ять даних ємністю 128 Кбайт на базі інтегральної схеми UT621024РС-70L. Крім того місткість оперативної пам'яті складає 16 кбайт, а енергонезалежної – 4 кбайт.
- 5) Блок живлення.
- 6) Блок зчитування клавіатури та формування сигналів на індикацію на базі мікроконтролера PIC16F84А-20I.
- 7) Рідкокристалічний знаковинтезуючий індикатор WM-C1602K з вбудованим контролером.

Експериментальний зразок ІВС І-2 представляє собою ручний переносний прилад у пластиковому корпусі, до якого приєднується індуктивний перетворювач. Загальний вигляд ІВС І-2, що призначена для оцінювання фактичного технічного стану металоконструкцій подано на рис. 4.2.

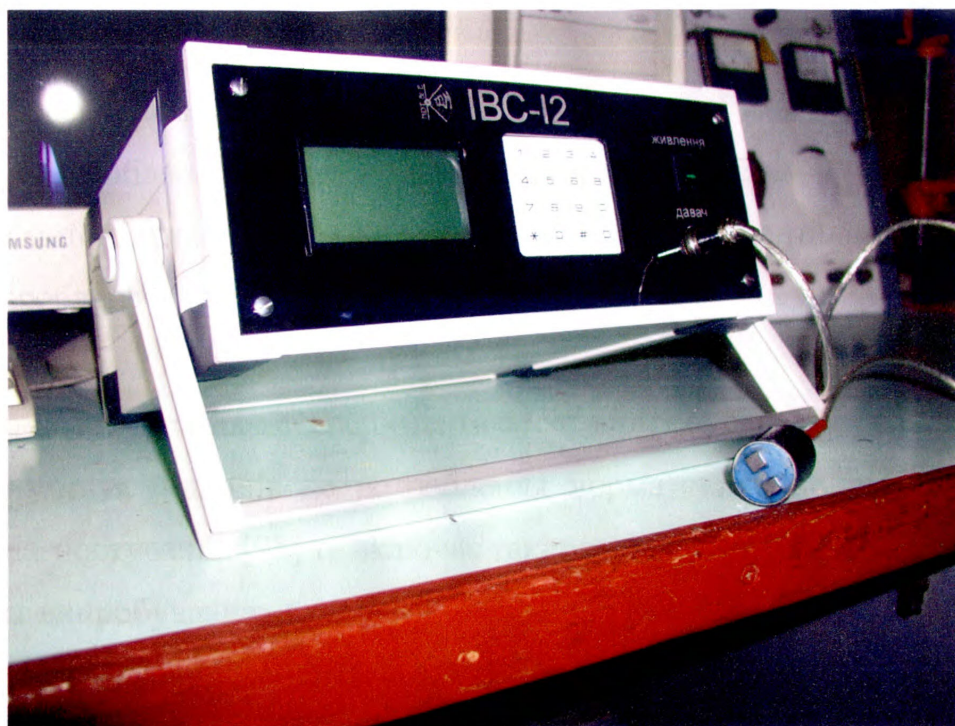


Рис. 4.2. Загальний вигляд експериментального зразка IBC I-2

Зв'язок IBC I-2 з персональним комп'ютером здійснюється через інтерфейс USB. Живлення розробленої дослідного зразка IBC здійснюється від внутрішньої акумуляторної батареї, а також можливе живлення від промислової мережі змінного струму $220\text{ В} \pm 10\%$ з частотою $(50 \pm 0,5)$ Гц за допомогою блока живлення.

4.2. Проект методики неруйнівного контролю ударної в'язкості матеріалу нафтогазопроводів

Відомо, що достовірність контролю матеріалів характеризується стійкою відповідністю його результатів до реального значення оцінюваної величини [97]. Достовірність даних контролю залежить не тільки від метрологічних характеристик апаратури, але й від використаних методик. Таким чином,

правильно розроблена методика є запорукою одержання достовірних результатів із допомогою розробленої інформаційно-виміральної системи.

З цією метою, для проведення випробувань експериментального зразка ІВС І-2, була розроблена програма та методика експериментальних випробувань, яка подана в додатку Б.

Програма та методика експериментальних випробувань розроблена згідно з загальних вимог та підходів до розроблення нормативних документів в галузі технічного діагностування [98] та включає такі розділи:

- об'єкт випробування;
- мета випробування;
- порядок, місце та умови проведення;
- необхідне обладнання та засоби виміральної техніки;
- технічні вимоги;
- підготовка до випробувань;
- програма випробувань;
- методика проведення випробувань;
- вимоги охорони праці та охорони навколишнього середовища;
- оформлення результатів.

У додатках до програми та методики експериментальних випробувань подано зразок типового акту, який складають за результатами випробувань і підписують особи, що брали участь у випробуваннях.

Програма випробувань включає такі розділи:

- визначення діапазону вимірювань ударної в'язкості;
- визначення середньої абсолютної похибки вимірювань ударної в'язкості;
- визначення приведеної до діапазону похибки вимірювань.

Коротко подамо послідовність операцій, які необхідно виконати при проведенні експериментальних випробувань.

Визначення діапазону вимірювань, середньої абсолютної похибки та похибки приведені до діапазону вимірювань здійснюється таким чином. Проводять підготовку експериментальної установки та її виведення на робочі режими. Відбирають зразки з різними значеннями ударної в'язкості з діапазону вимірювання від 10 мм до 175 Дж/см². Проводять вимірювання, запис, оцифрування та оброблення результатів за допомогою програмного забезпечення згідно з описаною в розділі 3 послідовністю.

При випробуваннях потрібно проводити не менше п'яти вимірювань на одному зразку в одній точці.

За результатами випробувань, згідно з описаною методикою, визначають шукані величини похибок та діапазону вимірювань.

Всі результати вимірювань, незалежно від того чи були випробування успішними, а також виявлені в процесі випробувань недоліки та зауваження заносяться в протокол експериментальних випробувань. За бажанням членів комісії, що беруть участь у випробуваннях, складається перелік заходів щодо ліквідації виявлених недоліків, пропонуються шляхи удосконалення установки. За негативних результатів випробувань складається акт, в якому вказуються пункти невідповідності та визначаються терміни усунення недоліків, умови та місце наступних випробувань.

4.3. Промислові випробування експериментального зразка інформаційно-вимірювальної системи та методики контролю

Отримані результати теоретичних та експериментальних досліджень дали можливість розробити та виготовити експериментальний зразок ІВС І-2 та розробити проект програми та методики проведення експериментальних випробувань.

Експериментальні випробування проводились в умовах Новопсковського ЛВУМГ УМГ “Донбастрасгаз” ДК “Укртрансгаз”.

Випробування експериментального зразка ІВС І-2 були виконані на трьох різних фрагментах труб, що були вирізані з ділянки трубопроводу при проведенні ремонтних робіт. Умовний діаметр труб 1420 мм, марка сталі 17Г1С.

Покази експериментального зразка ІВС І-2 (середні значення за трьома вимірюваннями) та відповідні дійсні значення ударної в'язкості металу труби, виміряні руйнівним методом згідно ГОСТ 9454-78 наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Результати вимірювання ударної в'язкості

Умовний діаметр, мм / марка сталі	Значення ударної в'язкості, визначені за ГОСТ 9454-78, Дж/см ²	Покази інформаційно-вимірювальної системи І-2, Дж/см ²
1420 / 17Г1С	72,8	73,4
1420 / 17Г1С	64,5	65,1
1420 / 17Г1С	58,9	59,4

Результати випробувань дозволяють стверджувати про повторюваність показів експериментального зразка інформаційно-вимірювальної системи ІВС-І2 та про те, що величина приведеної до діапазону (13,9 Дж/см²) похибки вимірювань ІВС-І2 не перевищує 4,31%.

У ході випробувань виявлені наступні недоліки:

- необхідність проведення попереднього зачищення поверхні труби;
- низька контрастність рідкокристалічного індикатора.

Акт промислових випробувань в умовах Новопсковського ЛВУМГ подано в додатку А.

4.4. Розроблення бази даних публікацій щодо визначення фізико-механічних характеристик матеріалу металоконструкцій довготривалої експлуатації

Проект формування інформаційної бази даних (БД) щодо інформативних параметрів та засобів вимірювань, які використовуються в даний час для визначення фізико-механічних характеристик матеріалів металоконструкцій довготривалої експлуатації, що експлуатуються в нафтогазовій галузі, став дійсно актуальним в Україні зараз, коли виникла необхідність систематизованого збереження та каталогізації даних значної кількості досліджень, що накопичилися за останні десятиліття. Інформаційна БД була створена в рамках виконання науково-дослідної держбюджетної роботи “Дослідження нових методів визначення фактичних фізико-механічних властивостей металоконструкцій тривалої експлуатації неруйнівними методами” на замовлення Міністерства освіти і науки України. Роботи над проектом формування БД були розпочаті на початку 2007 року.

Головною метою створення такого інформаційного ресурсу було збереження та забезпечення доступу до інформаційного фонду статей, книг, патентів, нормативних документів, що описують інформативні параметри та засоби вимірювань, які використовуються в даний час для визначення фізико-механічних характеристик. У базі даних реалізована можливість співставлення результатів досліджень і спостережень, одержаних різними авторами, за конкретною тематикою [99, 100].

Основним функціями інформаційної бази даних є:

- узагальнення і систематизація відомостей щодо визначення ФМХ матеріалів металоконструкцій довготривалої експлуатації неруйнівними методами;
- забезпечення швидкого доступу до систематизованої інформації;

- зменшення надлишку інформації за рахунок використання одних і тих же даних в різних наближеннях;
- розширення способів пошуку інформації, тематичний підбір та грамотне використання даних;
- забезпечення дотримання стандартів в представленні даних, що полегшує проблему їх підтримання і обміну між різними користувачами;
- поширення інформації про висновки та результати проведених досліджень серед науковців та практиків.

БД розроблена з метою задоволення інформаційних потреб, які представлені поєднанням будь-яких формальних або змістовних ознак: види першоджерел, автори, фізико-механічні параметри, методи контролю та ін.

Розроблена інформаційна база даних містить інформацію про фізико-механічні характеристики сталей, адже переважна більшість металоконструкцій виготовляється саме з них та основні методи і засоби неруйнівного контролю, які використовують для визначення цих характеристик.

Структура бази даних та зв'язки між її структурними елементами зображено на рис.4.3.

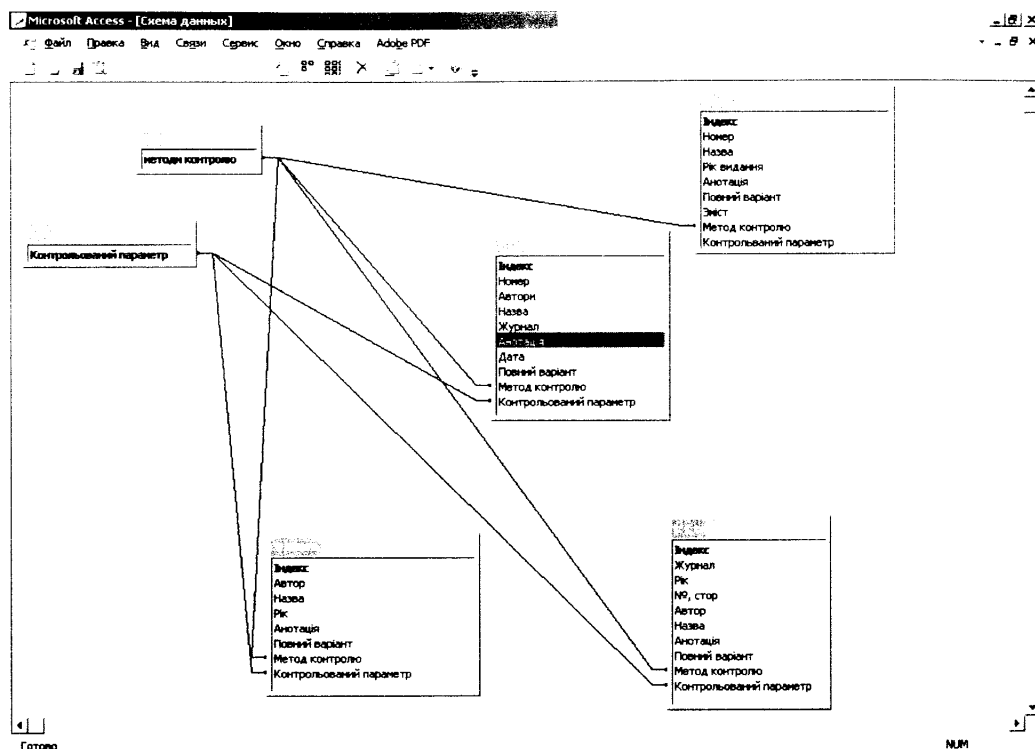


Рис. 4.3. Структура інформаційної бази даних

Основні фізико-механічні параметри сталей, інформація про які занесена у базу, є такими:

- твердість;
- границя міцності;
- границя текучості;
- ударна в'язкість;
- густина;
- теплопровідність;
- електропровідність;
- фазо-структурні параметри;
- коерцитивна сила;
- швидкість поширення звуку;
- інші (параметри, які використовуються в окремих випадках).

Інформаційна база даних містить також інформацію про основні методи неруйнівного контролю, які дають можливість виявляти вказані вище параметри.

Ці методи є такими:

- акустичний;
- електричний;
- електромагнітний;
- магнітний;
- тепловий;
- метод вдавлювання або інденторний для визначення твердості;
- руйнівні методи для визначення основних механічних характеристик;
- комплексне використання кількох методів.

Розроблена база даних складається з чотирьох частин (таблиць) (рис. 4.3), пов'язаних між собою ключовими словами, що є критеріями створення інформаційного запиту. Кожна з частин БД названа відповідно до виду інформаційних джерел, які в ній містяться: «Статті», «Патенти», «Книги» і «ГОСТ, ДСТУ». Розглянемо будову таблиці на прикладі таблиці «Статті». Загальний вигляд її зображено на рис.4.4.

Дана таблиця містить такі поля:

- індекс, який вказує на порядковий номер джерела;
- назва джерела (збірник анотацій, журнал, тощо), яке містить дану статтю;
- рік видання;
- номери сторінок, на яких міститься необхідна інформація;
- автори статті;
- назва статті;
- коротка анотація щодо змісту інформації в статті;
- метод контролю, якому присвячена стаття (ключовий параметр пошуку);

– контрольований параметр (ключовий параметр пошуку), до якого відноситься метод контролю.

Решта таблиць бази даних побудовані за аналогічним принципом і мають ідентичну структуру.

Видані	Журнал	Рік	№, стор.	Автор	Назва	Метод контролю
1	Дефектоскопія	2005	№5 - С. 24-38	Кулеєв В.Г., Церькова Г.П.	На Особенности полевые координатной силы пластически деформированных металлов	Электронный
2	Контроль. Диагностика	2003	№ 6, С. 7-10	Белодоля Г.Р., Мухомов В.С.	Сравнение портативных приборов-структуромеров, основанных на измерении влн	магнитный
3	Дефектоскопия	1974	№ 4 - С. 124-125	Богдан А.А., Габбо А.И., Шарк	Ультразвуковая контроль твердости сталей	акустичний
4	Контроль и диагностика	2006	№4 - С. 36-43	Аглаев Р.В., Теплинский Ю.А.	Применение координатного метода для оценки микроструктуры стали 17М	магнитный
5	В мире неразрушающих	2005	№2 - С. 9-10	Богачев Н.Д.	Расширение возможностей применения метода координатной силы	магнитный
6	Дефектоскопия	2005	№3 - С. 57-68	Мухомов В.С., Мельгуй М.А.	Лло Control прочностных характеристик и качества термомеханической обработки ферромагнитных	магнитный
7	Дефектоскопия	2002	№4 - С. 3-11	Новиков В.Ф., Ряднев Т.А., Бала	Зависимость координатной силы от одноосевых напряжений	магнитный
8	Дефектоскопия	1979	№2 - С. 51-55	Кристалл М.А., Никитин К.Е.	Фазовый измеритель скорости распространения поверхностных волн	акустичний
9	Дефектоскопия	1981	№ 8 - С. 8-21	А.В. Шарко	Связь магнитных свойств со структурным состоянием вещества - физическая	магнитный
10	Дефектоскопия	1993	№ 2 - С. 72-87	Г.М. Макаров, Я.М. Рыбак, Г.В.	Координатный ВКС-108	магнитный
11	Физичні методи та засоби	1996	с. 47-65	А.В. Шарко	Координатная сила слоистых образцов	магнитный
12	Электроника и акустика	2004	с. 128-132	А.С.Сарский, М.Женеросский, Е.	Координатная сила слоистых образцов	магнитный
13	Техническая диагностика	2004	№ 2 - С. 20-26	Белодоля Г.Р.	Эксплуатационный контроль установившегося состояния и ресурса металлопродукции	магнитный
14	Ж. Физическое научное	1981	4,2 - С. 173-174.	Дробот Ю.В., Корневский В.В.	Применение акустической эмиссии при определении предела упругости	акустичний
15	NDT&E International	2005	№30 - P. 53-57	Masatoshi K., Shinzaki Y., Yasu	Detection of plastic deformation in low carbon steel by SQUID magnetometer using	магнитный
16	Materials Letters	2003	№50 - P. 94-98	Jai Won Byeon, S.I. Kwon.	Magnetic nondestructive evaluation of thermally degraded 2.25Cr-1Mo steel	магнитный
17	Journal of Materials Proc.	2007	№191 - P. 190-193	Hiroaki K., Mamoru H., Kazuyuki	Development of apparatus for magnetic measurements of Charpy impact test pieces	магнитный
18	Measurement Science & Technology	2001	№12 - P. 1801-1805	Chong H. Y., Huang K. A.	Evaluation of mechanical properties under a temperature gradient field	магнитный
19	NDT&E International	2001	№34 - P. 521-529	Sh-Shah M. O., Menez S.	Boqun An ultrasound method for the acoustoelastic evaluation of simple bending stresses	акустичний
20	NDT&E International	2001	№34 - P. 395-492	Iwaki K., Hirata A., Mitani K., K.	A quality method for shotcrete strength by pneumatic pin penetration test	інш
21	Measurement Science & Technology	1996	№7 - P. 763-767	Klancnik B., Fabo P.	Highly precise non-contact instrumentation for magnetics measurement of mechanics	магнитный
22	NDT&E International	2003	№36 - P. 1-5	Yasuo Boudu A., Labail S., Ben	Grain size influence on ultrasonic velocities and attenuation	акустичний
23	Journal of Physics: Condensed Matter	2006	P. 108-110	Zhang H. J., Zhou H.L.	Evaluation of Stress Using Ultrasonic Technique Based on Hilbert-Huang Transform	акустичний
24	Journal of Physics: Condensed Matter	2006	P. 629-634	Bai F. M., Yang D. L., Wu X. C.	Acoustical Test Instrument of Mechanical Properties with Shaft Work pieces	акустичний
25	NDT&E International	2000	№33 - P. 253-259	Palanichamy P., Vasudhan M.	Ultrasonic velocity measurements for characterizing the annealing behaviour of cold	акустичний
26	Mechanics and Materials	1996	Vol. 36 (4) - P. 625-632	Takuma M., Shinka N., Motono H.	Evaluation of function of spot-welded joint using ultrasonic inspection	акустичний
27	Методи та прилади конт.	2004	вип 9 - С. 80-86	Кричевий П.Я., Молочко І.І.	Прилад для контролю фізико-механічних характеристик труб нейтронової сортировки	магнитный
28	Фізичні методи та засоби	2004	вип 9 - С. 80-86	Кричевий П.Я., Молочко І.І.	Новий підхід до визначення фізико-механічних параметрів сталей неруйнування	магнитный
29	Методи та прилади конт.	2005	№ 14 - С. 77-80	Кисіль І.С., Карпаш М.О.	Веще Прилад для контролю фізико-механічних характеристик сталей ФМХ-1	магнитный
30	Техническая диагностика	2006	№ 2 - С. 148-154	Карпаш М.О., Кисиль І.С.	Карта Застосування комплексного підходу до визначення фізико-механічних характеристик сталей ФМХ-1	магнитный
31	Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу	2006	№ 3 - С. 148-154	М.О. Карпаш, І.С. Кисиль	Роз'яснення обраного одностороннього задаче теплопроводности для сталей неруйнування	інш
32	XV Российская научная конференция «Дефектоскопия»	2005	С. 360.	М.О. Карпаш, И.С. Кисиль, О.М.	Определение физико-механических свойств материалов металлоконструкций с помощью метода координатной силы	магнитный
33	NDT&E International	2002	Vol. 35 - P. 393-398	B.P.C. Rao et al.	An artificial neural network for eddy current testing of austenitic stainless steel welds	електронна
34	Proc. Steam Generator	1994	P. 2.35-2.45	Matsuzono Y., Komatsu H., Bad	Automatic analysis of eddy current data using neural network	електронна
35	Proc. International SEN	1994	P. 161-164	Khal C.S., Mohammed O.A., Jun	The application of artificial neural network to defect characterization in eddy current testing	магнитный
36	J. Phys. D: Appl. Phys.	1989	Vol.22 - P. 216-224	A.Kilby, J.P. Sargent	Analysis of thermal non-destructive testing	магнитный
37	Методи та прилади конт.	2004	№ 12 - С. 30-33	Карпаш М.О.	Обрубування комплексного підходу до визначення фізико-механічних характеристик сталей ФМХ-1	магнитный
38	Техническая диагностика	2004	№ 2 - С. 18-22	О.М. Карпаш, И.А. Молочко	Общий обзор методов оценки физико-механических характеристик металлов	магнитный
39	В мире неразрушающих	2005	№5 - С. 36-42	Венгерский В.Л., Цукрикин В.	Новые возможности неразрушающего контроля напряжений методом эффекта Э	магнитный
40	В мире неразрушающих	2005	№5 - С. 22-30	Самородков А.А., Байраев Б.Т.	Акустические методы и средства исследования напряженно-деформированного состояния	акустичний
41	В мире неразрушающих	2006	№3 - С. 61-64	Новиков А.Н., Бородин Н.А.	Метод термоэлектродвижущей силы	акустичний
42	В мире неразрушающих	2006	№3 - С. 11-16	Шакунов А.И., Бусяко В.Н.	Оценка напряженного состояния стальных трубопроводов по методу эффекта Э	магнитный
43	Дефектоскопия	2003	№9 - С. 28 - 36	В.Ф.Мухомов, М.А.Мельгуй, А.А.С.	О возможности контроля механических свойств сталей БОГФА магнитным методом	магнитный

Рис. 4.4. Загальний вигляд таблиці “Статті”

Інформація про основні фізико-механічні параметри матеріалів і методи їх визначення подається у вигляді гіперпосилань на конкретне джерело або подається коротка анотація змісту інформації.

База даних створена у середовищі Microsoft Office Access®. Для користування базою створений зручний інтерфейс, через який здійснюється інформаційний запит. Всі дані зберігаються в базі у формі таблиць, в яких вказуються назви джерел інформації, автори, рік видання, необхідні фізико-механічні характеристики і методи їх виявлення.

Для зберігання даних створюється по одній таблиці на кожен тип відслідковуваних даних. Для даних з декількох таблиць в запиті, формі, звіті чи на сторінці доступу до даних визначаються зв'язки між таблицями. Ці зв'язки

створені за двома ключовими словами: «параметр» і «метод визначення», на яких побудована структура бази.

Для пошуку і виведення даних про фізико-механічні параметри і методи їх визначення створюється запит за ключовим словом «контрольований параметр» або «метод контролю». Після здійснення запиту користувачеві надається можливість зробити вибір конкретних джерел інформації (патенти, література чи стандарти), в яких відображається інформація про методи визначення заданого фізико-механічного параметру.

Кожна таблиця з джерелами інформації обов'язково містить два ключових слова: «контрольований параметр» і «метод контролю», виключенням є таблиця нормативних документів, які є зв'язними компонентами між цими таблицями. Інформаційна таблиця з нормативними документами містить тільки одне ключове слово «метод контролю» і її зв'язок з іншими таблицями здійснюється тільки по ньому. Це зумовлено тим, що нормативні документи регламентують в основному метод і методику проведення контролю. Контрольовані параметри здебільшого є комплексними або вони не регламентуються.

Створена база даних публікацій щодо неруйнівного визначення фізико-механічних характеристик матеріалу металоконструкцій містить посилання на близько 150 патентів, 200 книг, 60 нормативних документів, 150 статей.

На сьогоднішній день основним способом розповсюдження інформаційної бази даних є її тиражування на оптичних носіях (CD-ROM). Звичайно, це досить розумний підхід, але він обмежує можливості швидкого доступу зацікавлених спеціалістів до змін в інформації, інакшими словами, це режим “off-line”. Тому, перспективою розвитку даного проекту є реалізація он-лайнової версії бази даних, що дасть можливість авторизованим користувачам самостійно змістовно її наповнювати через мережу Internet. В такий спосіб інформація буде поширюватись якнайскоріше, а доступ до неї стане набагато зручнішим і

простішим. Основними компонентами он-лайнової БД будуть web-сторінки з взаємними гіпертекстовими посиланнями. Структура web-сторінки включатиме основну назву об'єкта, текстову інформацію довідкового характеру, джерела використаних даних, пошукові терміни і службову інформацію.

Інформаційна база публікацій щодо неруйнівного визначення фізико-механічних характеристик матеріалу металоконструкцій є передумовою і підґрунтям для розроблення більш масштабної БД за усіма напрямками неруйнівного контролю і технічної діагностики.

Окрім того, якісним розвитком інформаційної БД буде розроблення, на її основі, експертної системи (ЕС) з одночасним перетворенням бази даних у базу знань [101].

Функціонування інформаційної бази даних створює додаткові можливості для поширення результатів теоретичних і практичних досліджень, розширення зв'язків між різними науковими центрами й інтеграції України у світове наукове співтовариство в галузі неруйнівного контролю. Крім власне наукових цілей, така база даних дозволяє проводити моніторинг ситуації в неруйнівному контролі і забезпечить, зацікавлених у відповідній інформації науковців і практиків.

4.5. Розроблення банку даних фізико-механічних характеристик матеріалів металоконструкцій довготривалої експлуатації нафтогазової галузі

Описана у 4.4 інформаційна база даних, запропоновані у розділі 2 та 3 новий метод та засіб оцінювання фактичного технічного стану металоконструкцій, в частині визначення ударної в'язкості металу, є одними із інструментів створення банку даних про ФМХ матеріалів та їх деградацію [102]. Саме формування подібних банків даних є одним із завданням Концепції Державної програми забезпечення технологічної безпеки в основних галузях економіки [1] та

Державної науково-технічної програми «Ресурс» [103], що покликані сформувавши на національному рівні єдину концептуально узгоджену та науково обґрунтовану політику щодо забезпечення надійності та безпечної експлуатації споруд, конструкцій, обладнання та інженерних мереж

Банк даних фізико-механічних характеристик сталей для нафтогазової галузі призначений для широкого кола споживачів і розрахований на використання як в електронній, так і в паперовій версіях. Банк даних складається з трьох частин: довідково-інформаційна таблиця про сталі, з яких виготовлено нафтогазове обладнання (таблиця “Обладнання”), довідкова таблиця про фізико-механічні властивості вказаних вище сталей (таблиця “Матеріали”) та інформаційна таблиця про іноземні аналоги вітчизняних марок сталей (таблиця “Зарубіжні аналоги”). Банк даних містить дані про матеріал понад 200 елементів конструкції нафтогазового устаткування, фізико-механічні характеристики понад 180 марок сталей [104, 105] і 60 зарубіжних аналогів, з яких виготовлено обладнання нафтогазового машинобудування.

Розроблений банк даних є спеціалізованим і проблемно-орієнтованим, оскільки містить інформацію про фізико механічні характеристики сталей, які використовують у виробництві нафтогазового обладнання. В його основу покладена класифікація основних видів нафтогазового обладнання, яка є необхідною для побудови і систематизації роботи зі створення банку даних [106].

1. Геофізичне обладнання

2. Бурове обладнання

- 2.1 Установки для буріння і ремонту свердловин

- 2.2 Вибійні двигуни

- 2.3 Буровий породоруйнівний інструмент

- 2.4 Бурильні труби

- 2.5 Стабілізатори, розширювачі

- 2.6 Насоси бурові
- 2.7 Перфоратори
- 2.8 Противикидне обладнання
- 3. Обладнання для розробки і видобування
 - 3.1 Установки електровідцентрових насосів
 - 3.2 Установки штангових свердловинних насосів
 - 3.3 Обсадні і насосно-компресорні труби
 - 3.4 Компресори для газліфтної експлуатації
 - 3.5 Насоси для закачування води в пласт та інше обладнання і реагенти для інтенсифікації нафтовіддачі
 - 3.6 Пакерні пристрої
- 4. Обладнання для буріння, розробки і видобування на морських родовищах
 - 4.1 Платформи
 - 4.2 Бурові пристрої для морського буріння
- 5. Арматура
- 6. Обладнання для транспортування нафти і газу
 - 6.1 Труби для нафто- і газопроводів
 - 6.2 ГПА і ГРС
 - 6.3 Компресори і насоси
 - 6.4 Резервуари

Банк даних ФМХ реалізований у середовищі MS Office Excel[®] у вигляді електронних таблиць. Він складається з трьох частин (електронних таблиць): «Обладнання», «Матеріали», «Зарубіжні аналоги». Таблиця «Обладнання» містить інформацію про класи, групи, види обладнання, про їх елементи конструкції і матеріали, з яких вони виготовлені (рис. 4.5.).

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Клас обладнання	Група обладнання	Вид обладнання	Елементи конструкції	Матеріал			
2	Бурове обладнання	Установки для буріння і ремонту свердловин	Вишка, щогла	Основа	Ст.3			
3	Бурове обладнання	Установки для буріння і ремонту свердловин	Вишка, щогла	Зварні і штамповані деталі	Ст.3			
4	Бурове обладнання	Установки для буріння і ремонту свердловин	Лебідка	Підйомний (трансмісійний)	30ХМА			
5	Бурове обладнання	Установки для буріння і ремонту свердловин	Лебідка	Підйомний (трансмісійний)	30ХН			
6	Бурове обладнання	Установки для буріння і ремонту свердловин	Лебідка	Підйомний (трансмісійний)	30ХНМА			
7	Бурове обладнання	Установки для буріння і ремонту свердловин	Лебідка	Підйомний (трансмісійний)	40Г			
8	Бурове обладнання	Установки для буріння і ремонту свердловин	Лебідка	Підйомний (трансмісійний)	40ХН			
9	Бурове обладнання	Установки для буріння і ремонту свердловин	Лебідка	Підйомний (трансмісійний)	46Г			
10	Бурове обладнання	Установки для буріння і ремонту свердловин	Лебідка	Проміжний вал	30ХМА			
11	Бурове обладнання	Установки для буріння і ремонту свердловин	Лебідка	Проміжний вал	30ХН			
12	Бурове обладнання	Установки для буріння і ремонту свердловин	Лебідка	Проміжний вал	30ХНМА			
13	Бурове обладнання	Установки для буріння і ремонту свердловин	Лебідка	Проміжний вал	40Г			
14	Бурове обладнання	Установки для буріння і ремонту свердловин	Лебідка	Проміжний вал	40ХН			
15	Бурове обладнання	Установки для буріння і ремонту свердловин	Лебідка	Проміжний вал	46Г			
16	Бурове обладнання	Установки для буріння і ремонту свердловин	Лебідка	Барабан	36Л			
17	Бурове обладнання	Установки для буріння і ремонту свердловин	Лебідка	Барабан	40Г2Л			
18	Бурове обладнання	Установки для буріння і ремонту свердловин	Лебідка	Диск барабану	30Л			

Рис. 4.5. Загальний вигляд таблиці «Обладнання»

Працюючи з електронним набором даних, дуже часто виникає необхідність відображення на екрані тільки його частини. У розробленому банку даних є можливість тимчасово «відфільтрувати» дані, відібравши для візуалізації тільки ті, які задовольняють певним умовам. Це можна зробити за допомогою автофільтру. Біля імені кожного поля є елемент управління автофільтром – кнопка із зображенням стрілки. При натисканні на елемент управління, з'являється список, в який входить вміст всіх рядків даного поля (рис. 4.6.).

	A	B	C	D
1	Клас обладнання	Група обладнання	Вид обладнання	Елементи констру
2	Бурове обладнання	(Все)	Вишка, щогла	Основа
3	Бурове обладнання	(Первые 10...)	Вишка, щогла	Зварні і штамповані деталі
4	Бурове обладнання	(Условие...)	Лебідка	Підйомний (трансмісійний)
5	Бурове обладнання	Арматура устя	Лебідка	Підйомний (трансмісійний)
6	Бурове обладнання	Буриний труби	Лебідка	Підйомний (трансмісійний)
7	Бурове обладнання	Буровий породоруйнівний інструмент	Лебідка	Підйомний (трансмісійний)
8	Бурове обладнання	Бурові пристрої для морського буріння	Лебідка	Підйомний (трансмісійний)
9	Бурове обладнання	Вибірні двигуни	Лебідка	Підйомний (трансмісійний)
10	Бурове обладнання	ГПА і ГПС	Лебідка	Підйомний (трансмісійний)
11	Бурове обладнання	Запірна арматура	Лебідка	Підйомний (трансмісійний)
12	Бурове обладнання	Запобіжна арматура	Лебідка	Підйомний (трансмісійний)
13	Бурове обладнання	Захисна арматура	Лебідка	Проміжний вал
14	Бурове обладнання	Компресори для газліфної експлуатації	Лебідка	Проміжний вал
15	Бурове обладнання	Компресори і насоси	Лебідка	Проміжний вал
16	Бурове обладнання	Насоси бурові	Лебідка	Проміжний вал
17	Бурове обладнання	Насоси для закачування води в пласт та інше обладнання	Лебідка	Проміжний вал
18	Бурове обладнання	Обладн і насосно-компресорні труби	Лебідка	Проміжний вал
19	Бурове обладнання	Пакерні пристрої	Лебідка	Проміжний вал
20	Бурове обладнання	Перфоратори	Лебідка	Барабан
21	Бурове обладнання	Платформи	Лебідка	Барабан
22	Бурове обладнання	Установки для буріння і ремонту свердловин	Лебідка	Диск барабану
23	Бурове обладнання	Установки для буріння і ремонту свердловин	Лебідка	Диск барабану
24	Бурове обладнання	Установки для буріння і ремонту свердловин	Лебідка	Диск барабану

Рис. 4.6. Загальний вигляд таблиці при використанні функції «автофільтр»

Таким чином можна фільтрувати список за значеннями відповідних полів (стовпців). І так по чергово вибираючи спочатку клас обладнання, потім групу обладнання, далі його вид і елемент конструкції, можна відобразити на екрані перелік матеріалів тільки того елемента, який необхідно (рис. 4.7.). Якщо необхідно знову відобразити всі записи, потрібно вибрати зі списку, за допомогою якого здійснюється фільтрація даних, пункт (Всі).

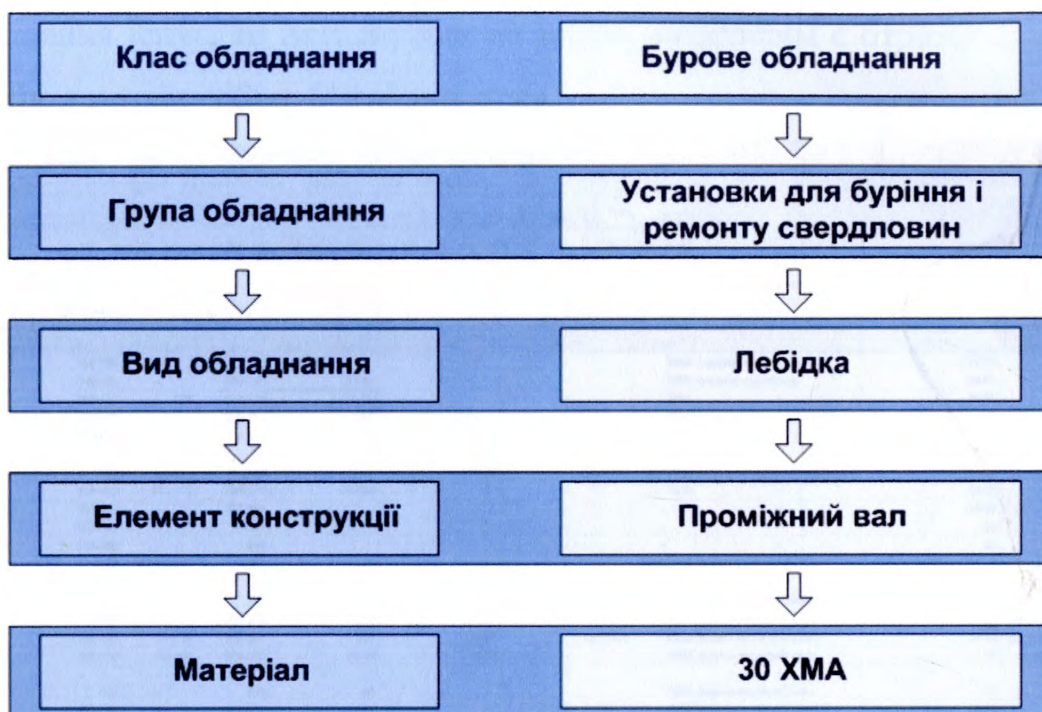


Рис. 4.7. Принцип «фільтрування» інформації банку даних

Кожному матеріалу одного і того самого елемента конструкції відповідає окремий рядок електронної таблиці. Це зроблено з метою створення зв'язку між розділами «Обладнання» і «Матеріали», а відповідно і зручності користування банком даних. Кожний рядок у стовпці «Матеріал» таблиці «Обладнання» є посиланням на відповідний рядок таблиці «Матеріали». Таким чином, натиснувши на відповідну назву сталі можна отримати інформацію про її фізико-механічні характеристики з розділу «Матеріали».

Довідкова таблиця «Матеріали» містить інформацію про границю міцності, границю текучості, твердість, ударну в'язкість, теплопровідність, електропровідність, густину, фазоструктурні параметри і відносне видовження матеріалу, а саме певної марки сталі. Проте для деяких марок сталі не вдалося знайти відповідної повної інформації. У стовпці «Примітка» вказано чи містить банк даних інформацію про зарубіжні аналоги певної марки сталі (рис. 4.8.). Якщо таке посилання існує, то натиснувши на нього, можливим є отримати відповідну інформацію з розділу «Зарубіжні аналоги».

Сталь	Границя міцності МПа	Твердість НВ(HRC)	Границя текучості МПа	Ударна в'язкість Дж/см2 при 20гр.Ц.	Теплопровідність Вт/м*К	Плотний вл. відр нДм3/м	Густина кг/м3	Фазострукт. параметри	Відносне видовження %	Примітка
Ст.1	320-400	-	-	-	-	-	7800	феритна структура	28-33	-
Ст.2	340-420	-	190-220	24-84	-	-	7800	феритна структура	28-31	-
Ст.3	380-470	170	210-240	40-108	-	-	7800	-	18-25	-
Ст.4	420-520	-	240-265	108	-	-	7800	-	33	-
Ст.5	500-620	170	220-320	83	-	-	7800	-	28	-
Ст.7	70-750	-	-	-	-	-	7800	-	8-10	-
У8А	750	187(82)	850	-	25-49	230-1185	7500-7800	перлітно-мартенситна структура	10-15	зарубіжний аналог
ВССт3вС	370-480	101-156	205-245	78-108	-	-	7800	-	23-28	-
ВССт3вС5	370-480	-	235-245	-	-	-	-	-	25-26	-
ВССт3вС6	370-480	-	245	-	-	-	-	-	25	-
ВССт3ГвС	370-480	-	245	-	-	-	-	-	26	-
СХГМ	1570	197-241(47)	1450	38	-	-	7500-7600	гартувальні структури	9	-
08Х12Н6М2Т	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
08Х21Н6Т	980	-	370	131	-	-	7900-8000	аустенітно-феритний клас	22	-
09Г2С	460	-	300-310	60-84	-	-	7800	ферито-перлітний клас	-	зарубіжний аналог
10	380-420	137-140	210-260	221	27-58	190-1130	7800	ферито-перлітний клас	31-32	зарубіжний аналог
10Г2	440-480	123-197	295-305	40-59	38-38	-	7800	ферито-перлітний клас	21	зарубіжний аналог
10Г2А	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10Г2СД	500	-	350	50	-	-	7800	ферито-перлітний клас	18	-
10Г2С1	480-540	-	335-380	84	-	-	7800	ферито-перлітний клас	20-35	-
10Х17Н13М2Т	510-530	-	215-238	-	-	-	-	аустенітний клас	35-40	зарубіжний аналог
10Х17Н13М3Т	520	-	220	-	-	-	7900-8000	аустенітний клас	40	зарубіжний аналог
10Х18Н9ТЛ	460-510	143-156	200-245	100	-	-	7900	аустенітний клас	25	-

Рис. 4.8. Загальний вигляд таблиці «Матеріали»

Важливим і невід'ємним елементом розділу «Матеріали» має бути інформація щодо деградації фізико-механічних характеристик матеріалів під час їх тривалої експлуатації. Змістовне наповнення цієї частини банку даних повинні здійснювати організації, які ведуть спостереження за технічним станом металоконструкцій. Для нормативного забезпечення цієї процедури необхідно внести зміни до відповідних нормативних актів Держгірпромнагляду.

Структура та інтерфейс банку даних дозволяє легко і просто змістовно оновлювати і доповнювати дані.

Розроблений банк даних призначений для збору, зберігання, модифікації інформації і пошуку відповідей на запити користувачів. Його можна розглядати і як інформаційно-довідкову систему, і як частину системи автоматизації наукових досліджень.

Висновки до розділу:

1 Розроблено дослідний взірець експериментальної установки для визначення фактичного технічного стану металоконструкцій довготривалої експлуатації за зміною ударної в'язкості металу. Описано конструкцію установки, будову її основних вузлів та принцип роботи;

2 Розроблено проект програми та методики промислових випробувань дослідного взірця установки І-2. Проведено промислові випробування установки І-2 в умовах промислу Новопокровського ЛВУМГ;

3 Розроблено базу даних публікацій щодо визначення фізико-механічних характеристик матеріалу металоконструкцій довготривалої експлуатації, яка містить посилання на близько 150 патентів, 200 книг, 60 нормативних документів, 150 статей..

4 Розроблено банк даних фізико-механічних характеристик матеріалів металоконструкцій довготривалої експлуатації нафтогазової галузі, що складається з трьох частин: довідково-інформаційної таблиці про сталі, з яких виготовлено нафтогазове обладнання, довідкової таблиці про фізико-механічні властивості вказаних вище сталей та інформаційної таблиці про іноземні аналоги вітчизняних марок сталей. Банк даних містить інформацію про матеріал понад 200 елементів конструкції нафтогазового устаткування, фізико-механічні характеристики понад 180 марок сталей і 60 зарубіжних аналогів, з яких виготовлено обладнання нафтогазового машинобудування.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі в ході теоретичних й експериментальних досліджень вирішено важливе науково-технічне завдання в галузі забезпечення надійної експлуатації трубопровідного транспорту – удосконалено метод технічної діагностики нафтогазопроводів, що полягає у визначенні ударної в'язкості металу неруйнівним методом та її використанні розрахунку залишкового ресурсу й одержано такі основні результати:

1 Аналіз відомих методів і засобів оцінювання фактичного технічного стану металоконструкцій тривалої експлуатації показав, що вони мають ряд обмежень щодо їх застосування, а також не завжди можуть бути використані для визначення важливих параметрів, зокрема ударної в'язкості металу труб, необхідних для розрахунку залишкового ресурсу. Обґрунтовано необхідність розроблення нових методів оцінювання ударної в'язкості та розрахунку залишкового ресурсу з урахуванням її зміни з часом експлуатування металоконструкції.

2 Уточнено функціональні залежності впливу зміни ударної в'язкості металу на ресурс металоконструкції, що дало можливість запропонувати новий графоаналітичний метод розрахунку залишкового ресурсу трубопроводів, принцип якого полягає у розрахунку напруження, за якого відбувається руйнування дефекту. Розроблений метод дає змогу підвищити точність визначення безпечного терміну експлуатування трубопроводу, шляхом врахування показник деградування ударної в'язкості у відомій залежності NG-18.

3 За результатами експериментальних досліджень було встановлено наявність та характер залежності обраного комплексу параметрів (твердості, коерцитивної сили та інформативного параметру L) від ударної в'язкості, що дало можливість підвищити швидкість оцінювання зміни ударної в'язкості матеріалу металоконструкції та визначати її неруйнівним методом у процесі експлуатації.

4 Розроблено новий неруйнівний експрес метод визначення квазі ударної в'язкості матеріалу металоконструкцій довготривалої експлуатації (патент України № 42294), що дає змогу розширити кількість вимірюваних інформативних параметрів, що характеризують фактичний технічний стан металоконструкції та використовувати значення показника ударної в'язкості у розрахунку залишкового ресурсу металоконструкції.

5 Удосконалено та використано сучасні методи оброблення інформації (штучні нейронні мережі) як для встановлення оптимального комплексу параметрів контролю, так і для апроксимації значень ударної в'язкості як функції вимірюваних параметрів, що дало змогу одержати її в аналітичному та графічному виглядах.

6 Розроблено та виготовлено експериментальний зразок інформаційно-вимірювальної системи І-2 для визначення ударної в'язкості неруйнівним методом. Проведено промислову апробацію експериментального зразка ІВС в умовах Ново псковського ЛВУМГ УМГ „Донбастрансгаз”. Розроблено проект методики (СОУ) “Методика контролювання міцнісних характеристик матеріалу металоконструкцій довготривалої експлуатації в нафтогазовій галузі”.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1 Про схвалення Концепції Державної програми забезпечення технологічної безпеки в основних галузях економіки: за станом на 11.06.2003р № 351-р / Розпорядження Кабінету Міністрів України - Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=351-2003-%F0>.
- 2 Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2030 року : за станом на 15.03.2006р. № 145-р / Розпорядження Кабінету Міністрів України - Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=145-2006-%F0>.
- 3 Розподіл трубопроводів за термінами експлуатування: за станом на 25.05. 2009р. / Офіційний сайт ДК “Укртрансгаз” - Режим доступу: http://www.ukrtransgas.naftogazom/web/utg.nsf/activity_ukr/2F8928DE4A77A567C225716F0032E8FF.
- 4 Василюк В. Підвищення надійності роботи магістральних нафтопроводів ВАТ “Укртранснафта” / В. Василюк // Вісник НГСУ. – 2004. – №4. – С. 11-14.
- 5 Гумеров А.Г. Старение труб нефтепроводов /А.Г. Гумеров, Р.С. Зайнуллин, К.М. Ямалеев, А.В. Росляков – М.: Недра, 1995. – 222с. - ISBN 5-247-03080
- 6 Инструкция по диагностированию технического состояния подземных стальных газопроводов: РД 12-411-01. – [Срок введения в действие 2001 – 09 – 15]. – М. : Госгортехнадзор России, 2001. – 50с.
- 7 Карпаш О.М. Стан проблеми безпечного експлуатування устаткування в межах розрахункового залишкового ресурсу / О.М. Карпаш, Н.Л. Тацакович // Міцність та надійність магістральних трубопроводів:

- міжнар. наук.-прак. конф., Київ, 5-7 черв. 2008 р.: тези доп. – Київ, 2008. – С. 42-43.
- 8 Petroleum and natural gas industries – pipeline transportation systems : ISO 13623:2009. – [Чинний від 2009 – 01 – 01]. – Geneva: ISO, 2009. – 84с.
- 9 Коллакот Р. Диагностика повреждений: [перевод с англ.] / Р.Коллакот – М.: Мир, 1989. – 516 с. – ISBN 5-03-001080-7.
- 10 Клюев В. Подходы к построению систем оценки остаточного ресурса технических объектов / В. Клюев, А. Фурсов, М. Филинов // Контроль. Диагностика. – 2007.- № 3. – С. 18-23.
- 11 Работоспособность трубопроводов. Сопrotивляемость разрушению. Ч. 2. / Г. А. Ланчаков, Е. Е. Зорин, Ю. И. Пашков, А. И. Степаненко. – М.: Недра, 2001. – 350 с. ISBN 5-247-03080
- 12 Лебедев А.А. Экспресс-метод оценки трещиностойкости пластичных материалов / А.А. Лебедев, Н.Г. Чаусов— К.: ИПП НАН Украины, 1998. – 43 с. (Препринт / ИПП НАН Украины)
- 13 Карпаш О.М. Неразрушающий контроль и техническая диагностика в нефтегазовом секторе: достижения и опыт/ О.М. Карпаш, М.О. Карпаш, А.В. Яворский, И.В. Рыбицкий, Н.Л. Тацакович // Научные основы внедрения новых технологий в эпоху нового возрождения: Междунар. науч. конф., Ашхабад, 12-14 июня 2009 р.: матер. конф. – Ашхабад, 2009. С. 166-170.
- 14 Карпаш О. Общий обзор методов оценки физико-механических характеристик металлов/ Олег Карпаш, Игорь Молодецкий, Максим Карпаш. //Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2004. – №2. – С.18-22.
- 15 Горкунов Э.С. Взаимосвязь между магнитными, электрическими свойствами и структурным состоянием термически обработанных

сталей – основа определения прочностных характеристик изделий неразрушающими методами: [методические рекомендации] / Э.С. Горкунов – Свердловск: УЦ АН СССР, 1985. – 62с.

- 16 Быструшкин Г. Исследование процесса накопления усталостных повреждений в стали 40Х методом вихревых токов: /Г. Быструшкин, А. Маляр //Заводская лаборатория. – 1982. – Т.48 - №8. – С.111.
- 17 Белов В. Дефектоскопия потенциально опасных участков трубопроводов методом акустической эмиссии / В. Белов // Безопасность труда. – 1994. - №7. – С.14-17.
- 18 Козинкина А.И. Исследование процесса усталостного разрушения сварных элементов натуральных конструкций методом акустической эмиссии: / А.И. Козинкина, А.С Трипалин // междунар. конф. посвященной 120-летию Е.О. Патона : матер. конф. – Киев, 1990 р. – С.225.
- 19 Панасюк В.В. Оценка предразрушающего состояния конструкций с помощью акустической эмиссии / В.В. Панасюк, А.Е. Андрейкив, Н.В. Лысак // междунар. конф. посвященной 120-летию Е.О. Патона : матер. конф. – Киев, 1990 р. – С.213.
- 20 Патон Б. Акустическая диагностика несущей способности сварных конструкций / Б. Патон, А. Недосека // Автоматическая сварка. – 1982. - №9. – С.1-8.
- 21 Стрижало В. Прогнозирование остаточного ресурса материалов и конструкций по сигналам акустической эмиссии (АЭ) / В. Стрижало, В. Гришко, В. Стрельченко // Проблемы прочности. – 1985. - №9. – С.21-25.
- 22 Стрижало В. Принципы построения аппаратуры обработки сигналов АЭ для исследования прочности материалов /В. Стрижало, И.

- Пономаренко, С. Лихацкий [и др.] //Проблемы прочности. – 1986. - №1. – С.102-105.
- 23 Морозов И.Л. Определение механических свойств ферромагнитных конструкционных материалов неразрушающими методами / И.Л. Морозов, Н.В. Турик, Г.Г. Золотенин // Безопасность и живучесть технических систем : II Всерос. конф., Красноярск, 8-12 окт. 2007 г. : тез. докл. – Красноярск, 2007. – С. 15-16.
- 24 Мужичкий В. Магнитный контроль напряженно-деформированного состояния и остаточного ресурса стальных металлоконструкций подземных сооружений и сосудов, работающих под давлением / В. Мужичкий, Б. Попов, Г. Безлюдько //Контроль. Диагностика. - 2000. - № 9. - С.48—50.
- 25 Новиков В. Зависимость коэрцитивной силы малоуглеродистых сталей от одноосных напряжений (часть 1) / В. Новиков, Т. Яценко, М. Бахарев // Дефектоскопия. 2001. - № 11. - С. 51—57.
- 26 Дубов А. Исследование свойств металла с использованием метода магнитной памяти/ А. Дубов // Металловедение и термическая обработка металлов. - 1997. - №9. - С.35-39.
- 27 Зубов А. Диагностика прочности оборудования и конструкций с использованием магнитной памяти металла/ А. Дубов //Контроль. Диагностика. - 2001. - №6. - С.19-30.
- 28 Jai Won Byeon. Magnetic nondestructive evaluation of thermally degraded 2.25Cr–1Mo steel / Jai Won Byeon, S.I. Kwun. // Materials Letters. – 2003. – Vol. 58. – P.94– 98.
- 29 Методические рекомендации по количественной оценке состояния магистральных газопроводов с коррозионными дефектами, их ранжирования по степени опасности и определению остаточного

- ресурса : ВРД 39-1.10-004-99. – [Срок введения в действие 2000 – 07 – 01]. – М. : ИРЦ Газпром, 2000. – 46с.
- 30 Карпаш О. Удосконалення методів оцінки технологічної безпеки експлуатування нафтогазового устаткування / Олег Карпаш, Назарій Тацакович // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. – 2008. – №3(28). – С. 32-35.
- 31 Ориняк В.І. Наукові і організаційні засади впровадження ризик-аналізу в практику управління цілісністю магістральних трубопроводів / В.І. Ориняк, М.В. Бородій, А.С. Батура // Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин: Збірник наукових статей за результатами, отриманими в 2004-2006 рр. – Київ: ІЕЗ ім.Є.О. Патона НАН України. – 2006. – С. 11-15.
- 32 Методика визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки: за станом на 4 груд. 2002 р. / Міністерство праці та соціальної політики. – Офіц. вид. – К.: Основа, 2003. – 192с.
- 33 Управление надежностью. Анализ риска технологических систем : ГОСТ Р 51901-2002. – [Чинний від 7червня 2002 р.]. – М.:Госстандарт России, 2002. – 26с.
- 34 Цирульник О. Оцінювання роботоздатності сталі 17Г1С після тривалої експлуатації на газогоні / О. Цирульник, М. Греділь, О. Студент, [та ін.] // Вісник ТДТУ (механіка та матеріалознавство). – 2008. – Т. 13, №4. – С. 49-55.
- 35 Ланчаков Г. Влияние времени эксплуатации на ресурс прочности трубопроводов / Г. Ланчаков, А. Степаненко, Ю. Пашков // Газовая промышленность. – 1994. – № 3. – С. 11–12.

- 36 Дмитриев В. Оценка ресурса нефтепровода и планирование его капитального ремонта / В. Дмитриев, Г. Мурзаханов, Г. Филиппов // Строительство трубопроводов. – 1997. – № 3. – С. 29–32.
- 37 Филиппов Г. Взаимодействия дефектов структуры и деградация свойств конструкционных материалов / Г. Филиппов, О. Ливанова // Материаловедение. – 2002. – № 10. – С. 17–21.
- 38 Ямалеев К. М. Старение металла труб в процессе эксплуатации трубопроводов / К. М. Ямалеев. – М.: ВНИИОЭНГ, 1994. – 64 с.
- 39 Пирогов А. Динамика изменения свойств металла труб при эксплуатации трубопроводов / А. Пирогов // Проблемы и методы обеспечения надежности и безопасности объектов трубопроводного транспорта углеводородного сырья. – 2004. – № 6 – С. 41–49.
- 40 Пенкин А. Г. Оценка степени деградации механических свойств и остаточного ресурса работоспособности трубных сталей с использованием методов акустической эмиссии и кинетической твердости / А. Г. Пенкин, В.Ф. Терентьев, Л. Г. Маслов // материалы Интернет-сторінки. – Режим доступу: www.sds.ru/articles/degradation/index.html
- 41 Сандаков В.А. Оценка склонности к замедленному разрушению объектов газораспределения: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.26.03 “Пожарная и промышленная безопасность (Нефтегазовая отрасль)” / Сандаков Виктор Александрович; Уфимский государственный нефтяной технический университет. – Уфа, 2005. – 24с.
- 42 A review of the time dependent behaviour of line pipe steel. Andrew Cosham, Phil Hopkins. Proceedings of IPC 2004: International Pipeline Conference, Calgary, Alberta, Canada, October 4-8, 2004.

- 43 Матросов Ю.И. Сталь для магистральных трубопроводов /Ю.И. Матросов, Д.А. Литвиненко, С.А. Голованенко – М.: Metallurgy, 1989. – 288с. – ISBN 5-229-00295-6.
- 44 Магистральные трубопроводы : СНИП 2.05.06-85*. – [Срок введения в действие 1986 – 01 – 01]. – М. : Госстрой СССР, 1985 – 72с.
- 45 Fracture-toughness requirements for steel : proceeding of First Ann. Offshore Technology Conf., Houston, Texas. 19-21 May, 1969. /[Rolfe S.T., Gensamer M., Barsom J.M.]. - Houston, Texas. 1969.
- 46 Махутов Н.А. Сопротивление элементов конструкций хрупкому разрушению:/ Н.А. Махутов– М. Машиностроение, 1981. – 272с.
- 47 Рождественский В.В. Расчет магистральных трубопроводов на сопротивляемость хрупким разрушениям лавинного характера: /В.В. Рождественский// Строительство трубопроводов. – 1970. - №5. – С. 29-32.
- 48 Анучкин М.П. Закономерности распространения вязкого разрушения в газопроводах / М.П. Анучкин, Б.И. Мирошниченко // Расчет, сооружение и эксплуатация магистральных газопроводов. – М.: ВНИИСТ. – 1980. – 161с.
- 49 Винокуров В.А. Закономерности изменения давления газа при движении трещины в трубопроводе / В.А. Винокуров, Г.И. Макаров // Известия вузов. Машиностроение. – 1981. - №4. – С.56-60.
- 50 Макаров Г.И. Расчетная модель деформирования трубы газопровода при протяженном разрушении: /Г.И. Макаров //Известия вузов. Машиностроение. – 1988. - №8. – С.27-33.
- 51 Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах : ГОСТ 9454-78. – [Чинний від

- 1978 – 04 – 17]. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1978. – 18с.
- 52 Oil Pipe Transportation Systems: Canadian Standard. CSA-Z183. – [Чинний від 1978 – 04 – 17]. – Mississauga : Canadian Standard Organization, 1998. – 44с.
- 53 Д Визначення залишкової міцності магістральних трубопроводів з дефектами : ДСТУ-Н Б В.2.3-21:2008. – [Чинний від 2009 – 01 – 01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2008. – 88с.
- 54 Рекомендации по учету старения трубных сталей при проектировании и эксплуатации магистральных нефтепроводов. – Уфа: ВНИИСПТнефть, 1988.- 29с.
- 55 Долгий А.А. Опыт оценки ресурса магистральных трубопроводов, претерпевших длительные эксплуатационные воздействия: матеріали Інтернет-сторінки / А.А. Долгий, А.Я. Красовский, И.А. Маковецкая, В.М. Тороп // матеріали інтернет-сторінки. – Режим доступу: <http://www.lrt.lv/~diag/rus/ocenka.htm>.
- 56 Бордовский А.М. Восстановление и поддержание сопротивления усталости линейных участков нефтепровода. Труды IV Международного симпозиума по трибофатике (ISTF' 2002: 23–27 сентября 2002 г., Тернополь, Украина). Отв. ред. В.Т. Трощенко. – Тернополь: Тернопольский государственный технический университет имени Ивана Пулюя, 2002. –Т. 1. –530 с.
- 57 Иванцов О.М. Надежность магистральных трубопроводов / О.М. Иванцов, В.И. Харитонов. – М.: Недра, 1978. – 166с.
- 58 Зубаилов Г.И. Обеспечение безопасности длительно эксплуатируемых стальных трубопроводов газораспределительных систем : автореф. дис. на соискание науч. степень канд. техн. наук : спец. 25.00.19

- “Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ”, 05.26.03 “Пожарная и промышленная безопасность (нефтегазовый комплекс)” / Зубаилов Гаджихамед Исмаилович ; Государственное унитарное предприятие “Институт проблем транспорта энергоресурсов”. – Уфа, 2008. – 28с.
- 59 Карпаш О.М. Теоретичні дослідження з вибору підходів до розрахунку залишкового ресурсу трубопроводу за ударною в'язкістю / Олег Карпаш, Назарій Тацакович // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. – 2009. – №1(30). – С. 64-68
- 60 Полетика И.М. Об ультразвуковом контроле неоднородности механических свойств горячекатаной стали / И. Полетика, Н. Егорова, О. Куликова, Л. Зуев // Журнал технической физики. – 2001. – т.71. – вып. 3. – С.37-40.
- 61 Бабич В.К. Деформационное старение стали /Бабич В.К. Гуль Ю.П., Долженков И.Е. – М.: Металлургия, 1972. – 122с.
- 62 Чувильдеев В. Н. Влияние старения на эксплуатационные свойства сталей магистральных газопроводов //Сборник трудов научно-практического семинара “Проблемы старения сталей магистральных трубопроводов” / Под общей редакцией Б. В. Будзуляка, А. Д. Седых. – Нижний Новгород: Университетская книга, 2006.
- 63 Ямалеев К.М. Старение металла труб в процессе эксплуатации нефтепроводов: /К.М. Ямалеев– ВНИОЭНГ. – Сер. Транспорт и хранение нефти. – 1990. – С.54
- 64 Гумеров А.Г. Трещиностойкость металла труб нефтепроводов. / А.Г. Гумеров, К.М. Ямалеев, Г.В. Журавлев, Ф.И. Бадиков – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2001. – 231с. ISBN 5-8365-0063-0

- 65 Красовский А.Я. Хрупкость металлов при низких температурах: А.Я. Красовский – Киев.: Наукова думка, 1980. – 184с.
- 66 Пенкин А. Г. Оценка степени деградации механических свойств и остаточного ресурса работоспособности трубных сталей с использованием методов акустической эмиссии и кинетической твердости / А. Пенкин, В. Терентьев В., Л. Маслов // Режим доступа – www.sds.ru/articles/degradation/index.html.
- 67 Тацакович Н.Л. Аналіз проблеми оцінювання зміни ударної в'язкості для розрахунку залишкового ресурсу металоконструкцій довготривалого експлуатування / Н.Л. Тацакович, О.М. Карпаш // Неруйнівний контроль та технічна діагностика : VI нац. наук.-тех. конф., Київ, 9-12 червня 2009 р.: тези доп. – Київ, 2009. – С.290-291.
- 68 Manual for Determining the Remaining Strength of Corroded Pipelines (A Supplement to ASME B31 Code for Pressure Piping) : ANSI/ASME B31G – [Чинний від 1995 – 04 – 01]. – New York: ASME, 1995. – 168с.
- 69 Bjornoy O. Assessment of Corroded Pipelines: Past, Present and Future / O. Bjornoy, M. Marley // International Offshore and Polar Engineering Conference, Stavanger, Norway, June 17-22, 2001 : Proceedings of the Eleventh (2001). – Stavanger, 2001. – С. 28-30.
- 70 Cosham A. A new industry document detailing best practices in pipeline defect assessment / Andrew Cosham, Phil Hopkins // Fifth International Onshore Pipeline Conference: Amsterdam, Dec 2001. – Amsterdam, 2001. – С.58-61.
- 71 Гафаров Н. Оценка остаточной работоспособности поврежденных трубопроводов с помощью "критерия B31G" / Н. Гафаров, И. Тычкин, А. Митрофанов, [та ін.] // Безопасность труда в промышленности. - 2000. - №3. - С.47-50.

- 72 Kiefner J. F. Modified Ln-Secant equation improves failure prediction / John F. Kiefner // Oil&Gas Journal. – 2008. – week of Oct. 13. – С.64-66.
- 73 Оцінка напружено-деформованого стану МГП “Союз” на переході р. Айдар (1239 км), визначення активності зсуву ґрунтів на ділянці 1152-1154 км та оцінка залишкового ресурсу досліджених ділянок : звіт про науково-дослідну роботу / О.М. Карпаш, М.О. Карпаш, А.В. Яворський [та ін.]; Івано- Франків. нац . техн. ун-т нафти і газу, Івано- Франківськ, 2009. – 98с.
- 74 Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика /Ф. Уоссермен. - М.: Мир, 1992. – 185 с. – ISBN 5-03-002115-9.
- 75 Заенцев И.В. Нейронные сети: основные модели: учебное пособие /И.В. Заенцев. - Воронеж, 1999. – 76 с.
- 76 Барский А.Б. Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений /Барский А.Б. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 176 с. – ISBN 5-279-02757-X.
- 77 Михеев М.Н. Магнитные методы структурного анализа и неразрушающего контроля / М.Н. Михеев, Э.С. Горкунов – М.: Наука, 1993. – 252с. – ISBN 5-02-001622-5.
- 78 Михеев М.Н. Связь магнитных свойств со структурным состоянием вещества – физическая основа магнитного структурного анализа / М.Н. Михеев, Э.С. Горкунов //Дефектоскопия. – 1981. - №8. – С. 8-21.
- 79 Белокур И.П. Дефектоскопия материалов и изделий / И.П. Белокур, В.А. Коваленко –К.: Техника, 1989. – 192с.
- 80 Сухоруков В.В. Неразрушающий контроль: В 5 кн. Кн. 3. Электромагнитный контроль: практ. пособие / В.В. Сухоруков, В.Г. Герасимов, А.Д. Покровский – М.: Высш. шк., 1992. – 312с. – ISBN 5-06-002038-X.

- 81 Клюев В.В. Неразрушающий контроль и диагностика: справочник /В.В. Клюев, Ф.Р. Соснин, В.Н. Филинов и др. – М.: Машиностроение, 1995. – 448с. – ISBN 5-217-03300-2.
- 82 Дорофеев А.Л. Физические основы электромагнитной структуроскопии / А.Л. Дорофеев, Р.Е. Ершов – Новосибирск: Наука, 1985. – 182 с. – ISBN 5-1180226.
- 83 Тацакович Н.Л. Експериментальне дослідження можливості визначення ударної в'язкості неруйнівним методом / Н.Л. Тацакович, О.М. Карпаш, М.О. Карпаш // Електромагнітні та акустичні методи неруйнівного контролю матеріалів та виробів «Леотест-2009»: 14 Міжнар. наук.-техн. конф., Славське, 16-21 лютого 2009 р.: матер. конф. – Львів, 2009. – С.75-76.
- 84 Тацакович Н.Л. Дослідження неруйнівного методу визначення ударної в'язкості / Н.Л. Тацакович, О.М. Карпаш // Техніка і прогресивні технології в нафтогазовій інженерії: Міжнар. наук.-техн. конф. молодих вчених, Івано-Франківськ, 16-20 вересня 2008 р.: анотації. – Івано-Франківськ, 2008. – С.54.
- 85 Березин В.Л. Сварка трубопроводов и конструкций / В.Л. Березин, А.Ф. Суворов. – М.: Недра, 1976. – 359с.
- 86 Осовский С. Нейронные сети для обработки информации. /Пер. с польского И.Д. Рудинского. – М.: Финансы и статистика, 2004 . – 344 с. – ISBN 5-279-02567-4.
- 87 Grossberg S. Contour enhancement, short-term memory, and consistencies in reverberating neural networks /S. Grossberg //Studies in Applied Mathematics. – 1973. – Vol. 52. – P.217-257.

- 88 Zgonc K. A neural network for crack sizing trained by finite element calculations / Zgonc K., Achenbach J.D. // NDT & E International. – 1996. – Vol. 29. – P.147-155.
- 89 Automatic analysis of eddy current data using neural network / [Y. Matsumoto, H. Komatsu, Z. Badics, etc.] // Proc. Steam Generator and Heat Exchanger Conference. – Toronto (Canada), 1994. P. 2.35-2.45.
- 90 Райтер П. Про можливість використання нейронних мереж для контролю багатофазних потоків / Петро Райтер, Максим Карпаш // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2002. - № 1. – С.86 -88.
- 91 Neural Network Toolbox. For use with Matlab. User's guide. Howard Demuth, Mark Beale. <http://www.mathworks.com>, 2004 – 844 p.
- 92 Хайкин С. Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин. – М.: Вильямс, 2006. – 1104 с. – ISBN 5-8459-0890-6.
- 93 Сигеру Омату. Нейроуправление и его приложения /Сигеру Омату, Марзуки Халид, Рубия Юсоф. - М: Радиотехника, 2000. - 272 с. – ISBN: 5-93108-006-6.
- 94 Терехов В. А. Нейросетевые системы управления /В. А. Терехов, Д. В. Ефимов, И. Ю. Тюкин. - М: Радиотехника, 2002. - 480 с. – ISBN 5-93108-016-3.
- 95 Грановский В.А. Методы обработки экспериментальных данных при измерениях / В.А. Грановский, Т.Н. Сирая – Л.: Энергоатомиздат. – 1990. – 288 с. – ISBN 5-283-04480 -7.
- 96 Кісіль І.С. Метрологія, точність і надійність засобів вимірювань: навч. посіб. / І.С. Кісіль. – Івано-Франківськ: Факел, 2002. – 400 с.
- 97 Механіка руйнування і міцність матеріалів у 10 т. /Фізико-механічний інститут ім.Г.В.Карпенка НАН України; [Під ред.З.Т. Назарчука]. -

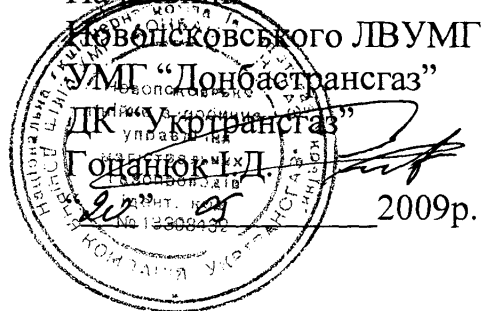
- Львів:, 2001- . (Серія «Неруйнівний контроль та технічна діагностика»).
- Т. 5. - 2001 - 1134 с. – ISBN 978-966-02-5275-2.
- 98 Неруйнівний контроль труб нафтового сортаменту: навчальний посібник / О. М. Карпаш, П. Я. Криничний, Є. І. Крижанівський [та ін.]. – Івано-Франківськ.: Факел, 2001. – 380 с. – ISBN 966-7327-78-7.
- 99 Карпаш М. Розроблення інформаційної бази даних щодо фізико-механічних характеристик сталей методами неруйнівного контролю / М. Карпаш, Н. Тацакович, О. Карпаш // Методи і прилади контролю якості. – 2007. – №19. – С.17-21.
- 100 Карпаш М. Інформаційне забезпечення у сфері контролю фізико-механічних характеристик матеріалу металоконструкцій / М. Карпаш, Н. Тацакович, О. Карпаш, В. Миндюк // Нафт. і газ. пром-сть. – 2008. – № 3. – С. 50-52.
- 101 Зубченко А.С. Марочник сталей и сплавов / А.С. Зубченко – М.: Машиностроение, 2001. – 672с. – ISBN 5-217-03177-8.
- 102 Карпаш М. Банк даних фізико-механічних характеристик матеріалів обладнання та інструменту нафтогазової галузі / М. Карпаш, Н. Тацакович, О. Карпаш // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2008. – №3. – С. 11-13.
- 103 Про затвердження Державної науково-технічної програми „Ресурс” : від 8 жовтня 2004 р. № 1331 / Постанова Кабінету Міністрів України. – Режим доступу:
<http://www.kmu.gov.ua/control/uk/meetings/agenda?mid=8851097>.
- 104 Brockenbrough R.L. Structural Steel Designer's Handbook (3rd Edition) / R.L. Brockenbrough, F.S. Merritt – McGraw-Hill, 1999, - 574с. – ISBN 0-07-008782-2.

- 105 Agarwal V.. A guide to world equivalent steel grades. Steel handbook / V. Agarwal – Vishwas Techno-Publications, 2003, - 1472с.
- 106 Владимиров А.И. Основы корпоративной стандартизации нефтегазового оборудования / А.И. Владимиров, В.Я. Кершенбаум – М.: Национальный институт нефти и газа, 2004. - 320с. – ISBN 5-93157-061-6.

ДОДАТОК А

ЗАТВЕРДЖУЮ

Начальник



АКТ №1

промислових випробувань експериментального зразка інформаційно-вимірювальної системи ІВС-І2 в умовах Новопокровського ЛВУМГ

Комісія в складі:

Голови

Тарабановського О.І. – начальника лінійно-експлуатаційної служби Новопокровського ЛВУМГ

і членів комісії

1 Скребцова С.О. – інженера лінійно-експлуатаційної служби Новопокровського ЛВУМГ

2 Яворського А.В. – канд. техн. наук, провідного наукового співробітника НДІ НГЕіЕ

3 Тацаковича Н.Л. – наукового співробітника НДІ НГЕіЕ

Склала цей акт про таке:

1 19.05.2009р. комісія здійснила експериментальні випробування експериментального зразка інформаційно-вимірювальної системи ІВС-І2 для визначення ударної в'язкості сталей згідно із запропонованою методикою.

2 Комісії були надані:

- програма і методика експериментальних випробувань ;
- результати попередніх лабораторних випробувань;
- експериментальний зразок інформаційно-вимірювальної системи ІВС-І2 для визначення ударної в'язкості сталей.

3 Комісія розглянула програму і методику експериментальних випробувань експериментального зразка інформаційно-вимірювальної системи ІВС-І2 та погодилася проводити експериментальні випробування згідно із запропонованою програмою і методикою.

4 Комісія провела випробування експериментального зразка інформаційно-вимірювальної системи на трьох різних фрагментах труб, які були вирізані з ділянки трубопроводу при проведенні ремонтних робіт. Марка сталі 17Г1С, умовний діаметр труб 1420 мм. Випробування

проводилось з метою визначення дійсного значення ударної в'язкості металу трубопроводу.

Покази ІВС-І2 (середні значення за трьома вимірюваннями) та відповідні значення ударної в'язкості металу труби, визначені згідно ГОСТ 9454-78, наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати вимірювання ударної в'язкості

Умовний діаметр, мм / марка сталі	Значення ударної в'язкості, визначені за ГОСТ 9454-78, Дж/см ²	Покази інформаційно-вимірювальної системи І-2, Дж/см ²
1420 / 17Г1С	72,8	73,4
1420 / 17Г1С	64,5	65,1
1420 / 17Г1С	58,9	59,4

Результати випробувань дозволяють стверджувати про повторюваність показів експериментального зразка інформаційно-вимірювальної системи ІВС-І2 та про те, що величина приведеної до діапазону (13,9 Дж/см²) похибки вимірювань ІВС-І2 не перевищує 4,31%.


5 Комісією відзначені такі недоліки:

- а) необхідність проведення попереднього зачищення поверхні труби;
- б) низька контрастність рідкокристалічного індикатора.

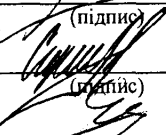
6 Комісія пропонує:

- а) усунути виявлені в процесі випробувань недоліки;
- б) удосконалити блок оброблення вимірювальної інформації.

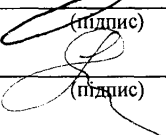
Члени робочої групи




(підпис)



(підпис)



(підпис)



(підпис)

Тарабановський О.І.

(ініціали, прізвище)

Скребцов С.О.

(ініціали, прізвище)

Яворський А.В.

(ініціали, прізвище)

Тацакович Н.Л.

(ініціали, прізвище)

ДОДАТОК Б

**Експериментальний зразок інформаційно-виміральної системи для
визначення ударної в'язкості сталей
ІВС-І2**

Програма і методика експериментальних випробувань

ІВС-І2.00.00.000 ПМ

Аркушів 13

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гоцанюк І.Д.

2009 р.

**Експериментальний зразок інформаційно-вимірювальної системи
для визначення ударної в'язкості сталей**

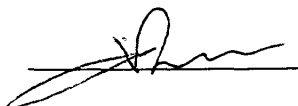
IBC-I2

Програма і методика експериментальних випробувань

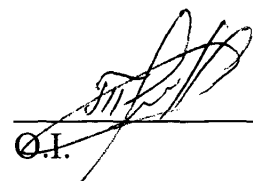
IBC-I2.00.00.000 ПМ

ПОГОДЖЕНО

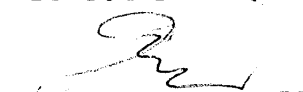
Директор Науково-дослідного інституту
нафтогазової енергетики та екології
ІФНТУНГ


Карпаш М.О.
" ___ " _____ 2009р.

Начальник лінійно-експлуатаційної
служби Новопокровського ЛВУМГ


Тарабановський
О.І.
" ___ " _____ 2009р.

Начальник відділу стандартизації, сер-
тифікації та якості
ІФНТУНГ


Артим І.М.
" ___ " _____ 2009 р.

1 ОБ'ЄКТ ВИПРОБУВАНЬ

1.1 Дана програма і методика експериментальних випробувань (далі - програма) розроблена у відповідності з вимогами ДСТУ 3974-2000 „Система розроблення та поставлення продукції на виробництво. Правила виконання дослідно-конструкторських робіт. Загальні положення” та ГОСТ 2.106-96 „Единая система конструкторской документации. Текстовые документы” в частині приймальних випробувань та поширюється на експериментальний зразок інформаційно-вимірювальної системи для визначення ударної в'язкості сталей ІВС-І2 (далі - ІВС) та встановлює зміст і порядок проведення експериментальних випробувань.

2 МЕТА ВИПРОБУВАНЬ

2.1 Метою випробувань є визначення і встановлення відповідності технічних характеристик ІВС вимогам документів, які розповсюджуються на неї, та можливості застосування її у виробництві.

3 ПОРЯДОК, МІСЦЕ ТА УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ

3.1 Підставою для проведення випробувань є наказ про випробування по ІФ-НТУНГ.

3.2 ІВС повинна представлятися на випробування разом із такою технічною документацією:

- 1) комплект конструкторської документації;
- 2) керівництво з експлуатації ІВС-І2.00.00.000 КЕ;
- 3) матеріали попередніх випробувань;
- 4) дана Програма і методика експериментальних випробувань ІВС-І2.00.00.000 ПМ.

3.3 Випробування проводять у спеціалізованій лабораторії для проведення випробувань на території Новопокровського ЛВУМГ УМГ “Донбатрансгаз”.

3.4 Всі випробування і перевіряння необхідно проводити за таких умов:

- температура навколишнього середовища $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$;
- відносна вологість від 45% до 75%;
- атмосферний тиск від 84,0 кПа до 106,7кПа;
- напруга змінного струму $(220 \pm 10\%) \text{ В}$;
- частота змінного струму $(50 \pm 0,5) \text{ Гц}$;
- зовнішні електромагнітні поля повинні бути відсутні або знаходитись в межах, які не впливатимуть на роботу ІВС;

4 НЕОБХІДНЕ ОБЛАДНАННЯ ТА ЗАСОБИ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

4.1 Перелік засобів вимірювальної техніки (далі – ЗВТ), оснащення, матеріалів, необхідних для проведення випробувань ІВС наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Найменування	Основні технічні характеристики	Примітки
Рулетка Р2УЗП	Діапазон вимірювання 1–2000мм, ціна поділки 1,0 мм	
Барометр БТК-СН-14	Діапазон вимірювання: 927кПа÷1073кПа, ціна поділки 1 кПа	
Гігрометр психрометричний ВИТ-1	Діапазон вимірювання: -вологості від 20% до 90%; -температури від 0°С до 25°С, -ціна поділки 0.2°С	
Осцилограф TDS1012	Полоса пропускання 100МГц, частота дискретизації 1Гц, максимальна вхідна напруга 300В	Виробництва фірми Tektronix, Inc.
Секундомір СОП-пр-26-000	Діапазон вимірювання: 1–60хв., похибка $\pm 0,02$ с	
Технічний годинник ТЧ	Діапазон вимірювання: 1–12год, ціна поділки 1с	
Мультиметр UT30С	Діапазон вимірювання: - напруга змінна: до 500 В; - напруга постійна до 500 В; - струм: до 10 А, похибка $\pm(2\%+5)$; - опір: до 20 МОм, похибка $\pm(1\%+5)$; - температура: до 150 °С, похиб- ка $\pm(1\%+3)$	
Лабораторний автотрансформа- тор ЛАТР-1М	Регулювання вторинної напруги в межах від 0 до 250В	
Персональний комп'ютер	Р3 500MHz або вище з встанов- леним програмним забезпечен- ням, 50Mb вільної пам'яті на жо- рсткому диску, мишка	комп'ютерний порт типу RS-232
Примітка. Допускається використовувати інші типи ЗВТ, якщо вони відповідають заданій точності вимірювання		

4.2 Креслення на виготовлення зразків, необхідних для проведення випробувань ІВС наведено на рисунку 1, технічні характеристики зразків подані в таблиці 2. Для проведення випробувань необхідно виготовити три зразки.

5 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

5.1 ІВС повинна відповідати комплекту технічної документації.

5.2 ІВС повинна забезпечувати можливість визначення та кількісної оцінки ударної в'язкості сталей в режимі послідовного локального вимірювання твердості за індуктивного параметра.

5.3 Під час випробувань повинні бути визначені наступні метрологічні та технічні характеристики та перевірені їх значення на відповідність номінальним значенням, які наведені в таблиці 3.

5.4 Комплектність

5.4.1 В комплект ІВС входять складові, зазначені в таблиці 4.

6 ПІДГОТОВКА ДО ВИПРОБУВАНЬ

6.1 Підготувати ІВС до випробувань згідно розділу 3.1 ІВС-І2.00.00.000 КЕ.

6.2 Перед проведенням випробувань необхідно виконати також такі операції:

- перевірити наявність діючих тавр, свідоцтв про повірку (атестацію) ЗВТ, які будуть використовуватися;
- провести підготовку ЗВТ у відповідності з експлуатаційною документацією на них;
- перевірити працездатність ЗВТ у відповідності з паспортними даними на них.

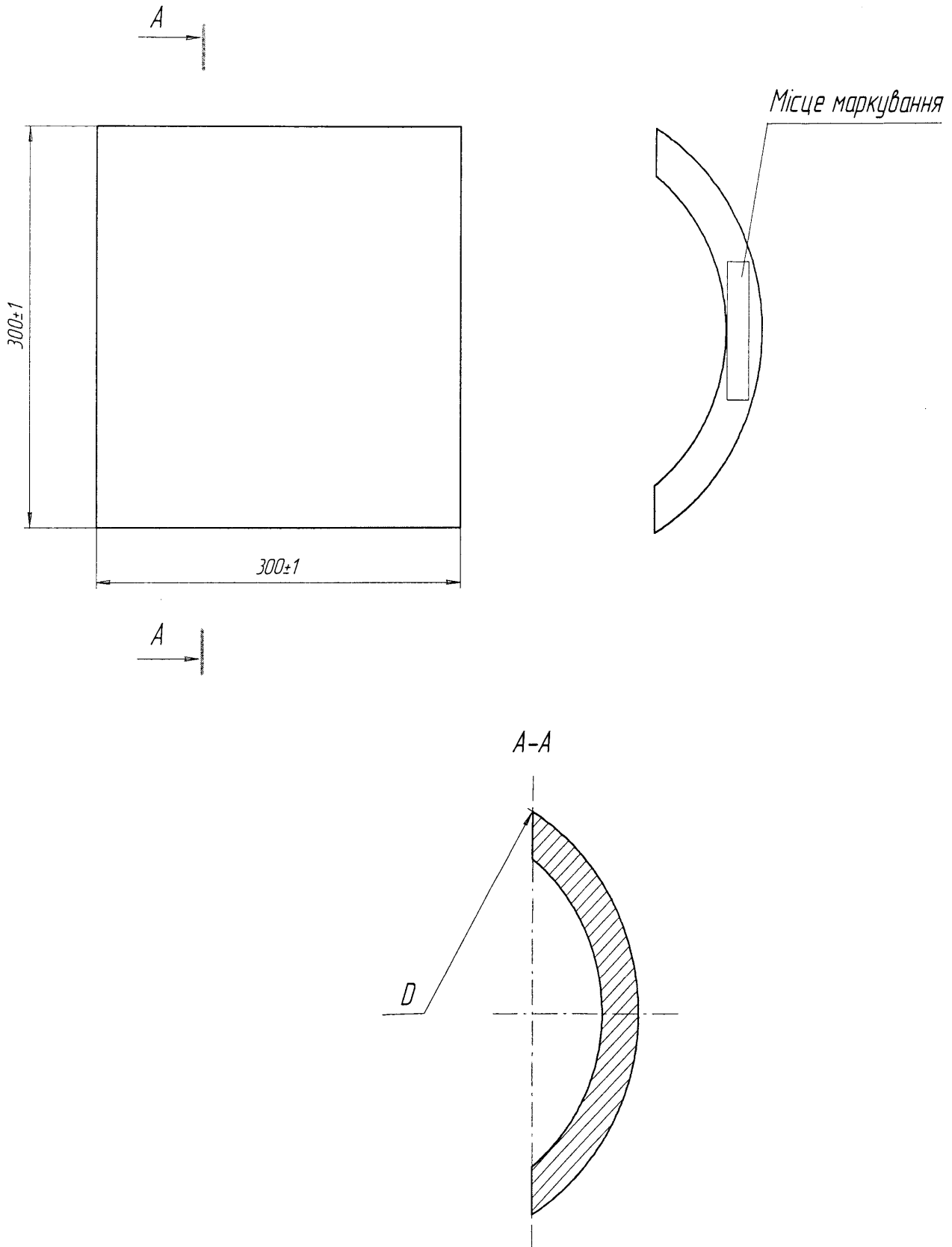


Рисунок 1 – Зразок для настроювання приладу.

Примітка. Для проведення випробувань виготовляти зразки для настроювання на всі перераховані в таблиці 2 типорозміри труб не обов'язково. Підприємством, яке експлуатує ІВС, можуть виготовляються зразки для настроювання тільки на ті типорозміри труб, які підлягатимуть контролю.

Таблиця 2

Діаметр D, мм	Товщина стілки H, мм	Маркування	Труба
159	5	ЗН****-МТ-159-**-***	Згідно з ГОСТ 20295-85
168	6	ЗН****-МТ-168-**-***	Згідно з ГОСТ 20295-85
219	7	ЗН****-МТ-219-**-***	Згідно з ГОСТ 20295-85
245	7	ЗН****-МТ-245-**-***	Згідно з ГОСТ 20295-85
273	7	ЗН****-МТ-273-**-***	Згідно з ГОСТ 20295-85
325	8	ЗН****-МТ-325-**-***	Згідно з ГОСТ 20295-85
377	9	ЗН****-МТ-377-**-***	Згідно з ГОСТ 20295-85
426	10	ЗН****-МТ-426-**-***	Згідно з ГОСТ 20295-85
508	11	ЗН****-МТ-508-**-***	Згідно з ГОСТ 20295-85
530	12	ЗН****-МТ-530-**-***	Згідно з ГОСТ 20295-85
630	12	ЗН****-МТ-630-**-***	Згідно з ГОСТ 20295-85
720	12	ЗН****-МТ-720-**-***	Згідно з ГОСТ 20295-85
820	12	ЗН****-МТ-820-**-***	Згідно з ГОСТ 20295-85
1020	20	ЗН****-МТ-1020-**-***	Згідно з ГОСТ 20295-85
1420	20	ЗН****-МТ-1420-**-***	Згідно з ТУ 14-3-1938-2000

Примітка. Зразки для настроювання приладу повинні виготовлятися згідно з ГОСТ 10243-75 “Сталь. Методы испытания и оценки микроструктуры”.

Маркування наноситься ударним способом на торець зразка. Маркування повинно мати наступну структуру:

- буква “ЗН” – зразок для настроювання;
- **** - рік виготовлення зразка;
- букви “МТ”, які вказують на тип труби (магістральні трубопроводи);
- букви “ПЗ”, які вказують на тип зразка (плоский зразок);
- 159 - цифри, що відповідають умовному діаметру труби в міліметрах;
- ** - цифри, що відповідають товщині стінки зразка;
- *** - цифри, які відповідають визначеній при атестації ударної в'язкості матеріалу зразка в МПа (мегапаскалях).

Зразки, що виготовляються з трубопроводів діаметром меншим 300 мм, необхідно виготовити з поперечним розміром рівним умовному діаметру трубопроводу.

Зразки повинні зберігатись при температурах від мінус 30 до 40 °С і відносній вологості повітря до 100% при температурі 25 °С.

Таблиця 3

Найменування параметра	Значення
Метрологічні характеристики	
1 Діапазон визначення ударної в'язкості, Дж/см ²	10 ... 175 ± 5
2 Діапазон вимірювання твердості за шкалою Брінеля, НВ	100 ... 400 ± 10
Технічні характеристики	
5 Роздільна здатність індикації ударної в'язкості, Дж/см ²	0,1
6 Роздільна здатність індикації твердості, НВ	1
7 Час безперервної роботи при живленні від мережі змінного струму, год, не менше	8
8 Потужність, що споживається, кВА, не більше	1,1
9 Тривалість настроювання на режим „визначення ударної вязкості”, хв, не більше	1,5
10 Час встановлення робочого режиму, хв, не більше	2
11 Габаритні розміри, мм, не більше:	
- корпусу з твердоміром ТД-32	
- довжина	340
- ширина	295
- висота	160
- індуктивного перетворювача	
- довжина	130
- ширина	70
- висота	70
- в зібраному стані	
- довжина	600
- ширина	400
- висота	400
12 Маса ІВС (в зібраному стані), кг, не більше	10

Таблиця 4

Найменування та позначення виробу	Кількість
1 ІВС для визначення ударної в'язкості сталей	1 шт.
2 Індуктивний перетворювач	1 шт.
3 Блок живлення / зарядки акумулятора	1 шт.
4 Кабель послідовного інтерфейсу RS-232	1 шт.
5 Кейс-футляр	1 шт.
Експлуатаційна документація	
1 Інформаційно-вимірювальна система для визначення ударної в'язкості сталей ІВС-І2. Керівництво з експлуатації ІВС-І2.00.00.000 КЕ	1 прим.
2 Дискета з програмним забезпеченням	1 шт.
Примітка. Зразки для налаштування в комплект поставки не входять, а виготовлюються підприємством, що експлуатує прилад, згідно з вимогами, викладеними на рисунку 1	

7 ПРОГРАМА ВИПРОБУВАНЬ

7.1 Розгляд технічної документації необхідно проводити в порядку і об'ємі, які наведені в таблиці 5.

Таблиця 5

Вимоги до розгляду технічної документації	Вказівки по методиці розгляду
Програма випробувань	
Перевірка відповідності ІВС (за документацією) вимогам нормативно-технічних документів	Перевірка проводиться порівнянням даних ІВС-І2.00.00.000КЕ, принципів схем, креслень основних вузлів з вимогами ГОСТ 2.601-96, ДСТУ 3974-2000 та іншими нормативними документами.
Перевірка експлуатаційної документації щодо зручності користування	Перевірка проводиться оцінкою ІВС-І2.00.00.000 КЕ щодо зручності користування споживачем

Таблиця 5 (продовження)

Вимоги до розгляду технічної документації	Вказівки по методиці розгляду
Перевірка відповідності характеристик ІВС щодо безпеки та охорони навколишнього середовища	Перевірка проводиться порівнянням повноти та правильності встановлення в розділі 2 ІВС-12.00.00.000. КЕ характеристик приладу щодо безпеки та охорони навколишнього середовища з вимогами нормативної документації по охороні праці та техніки безпеки

7.2 Експериментальне визначення технічних характеристик при проведенні випробувань необхідно проводити в об'ємі і послідовності, які наведені в розділі „Технічні параметри” в таблиці 6.

Таблиця 6

Назва операції	Пункти методики	ЗВТ, що застосовуються під час випробування	Примітка
Технічні параметри			
Перевіряння роздільної здатності індикації ударної в'язкості	8.3.1	Зразки для настроювання ІВС	
Перевіряння роздільної здатності індикації твердості	8.3.1	Зразки для настроювання ІВС	
Перевіряння часу безперервної роботи ІВС при живленні від мережі змінного струму	8.3.2	Технічний годинник ТЧ	
Перевіряння потужності, що споживається ІВС	8.3.3	Мультимет UT30C	
Перевіряння тривалості настроювання ІВС на режим „визначення міцнісних характеристик”	8.3.4	Секундомір СОП-пр-26-000	
Перевіряння часу встановлення робочого режиму ІВС	8.3.5	Секундомір СОП-пр-26-000	
Перевіряння габаритних розмірів ІВС	8.3.6	Рулетка Р2УЗП	
Перевіряння маси ІВС	8.3.7	Настільна вага РН-10Ц13У	

8 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ

8.1 Перевіряння відповідності ІВС вимогам технічної документації (5.1), комплектності (5.4), проводиться шляхом зовнішнього огляду, необхідними вимірами і встановленням відповідності вимогам технічних документів.

8.2 При проведенні випробувань необхідно дотримуватись умов зазначених в пункті 3.4 даної програми і методики випробувань.

8.3 Перевіряння технічних параметрів.

8.3.1 Перевірка роздільної здатності індикації ударної в'язкості.

Для проведення перевірки здійснить наступне:

а) виконайте операції згідно з пунктів 8.3.1 а) – 8.3.1 в) даної програми;

б) по чергово, в одній вибраній точці на поверхні трьох зразків, проведіть п'ять вимірювань твердості та ударної в'язкості;

Результати перевіряння вважаються позитивними, якщо значення індикації при вимірюваннях твердості змінюються на мінімальну величину 1 НВ, а значення індикації при вимірюванні ударної в'язкості змінюється на мінімальну величину 0,1 Дж/см² на кожному з вибраних зразків;

8.3.2 Перевіряння часу безперервної роботи ІВС при живленні від мережі змінного струму.

Протягом заданого в технічній документації часу неперервної роботи (таблиця 3), через кожну годину проводьте перевіряння метрологічних параметрів.

Результати перевіряння вважаються позитивними, якщо протягом 8 годин неперервної роботи ІВС від мережі змінного струму вимірювальні величини знаходяться в межах заданої похибки.

8.3.3 Перевіряння потужності, що споживається ІВС.

Перевірка потужності, що споживається ІВС проводять шляхом по чергового вимірювання напруги та споживаного струму за допомогою мультиметра UT30C. Потужність визначається за формулою:

$$P = U \cdot I, \quad (1)$$

де P - споживана потужність, ВА

U - покази вольтметра, В

I - покази амперметра, А

Результати перевіряння вважаються позитивними, якщо потужність, що споживається ІВС, не перевищує зазначену в таблиці 3.

8.3.4 Перевіряння тривалості настроювання ІВС на режим «визначення ударної в'язкості».

Перевіряння тривалості настроювання ІВС на режим «визначення ударної в'язкості» визначається як час, необхідний для виконання пункту 3.2, ІВС-І2.00.00.000. КЕ. Час, який затрачається на виконання цих операцій заміряють за допомогою секундоміра СОП-пр-26-000.

Результати перевіряння вважають позитивними, якщо час підготовки до роботи не перевищує зазначеного в таблиці 3.

8.3.5 Перевіряння часу встановлення робочого режиму ІВС.

Перевірка часу встановлення робочого режиму ІВС визначається як час, необхідний для виконання пунктів 3.1.1 – 3.1.3 ІВС-І2.00.00.000. КЕ. Час, який затрачається на виконання цих операцій заміряється за допомогою секундоміра СОП-пр-26-000.

Результати перевіряння вважають позитивними, якщо час встановлення робочого режиму ІВС не перевищує значення, яке вказано в таблиці 3.

8.3.6 Перевірка габаритних розмірів ІВС.

Перевірка габаритних розмірів ІВС, індуктивного перетворювача та ІВС в зібраному стані здійснюйте шляхом вимірювання довжини, ширини і висоти за допомогою рулетки Р2УЗП.

Результати перевіряння вважають позитивними, якщо виміряні габаритні розміри не перевищують значення, які вказані в таблиці 3.

8.3.7 Перевірка маси ІВС (в зібраному стані) здійснюють методом зважування на настільній вазі РН-10Ц13У.

Результати перевіряння вважають позитивними, якщо маса відповідного блоку не перевищує зазначену в таблиці 3.

9 ВИМОГИ ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

9.1 До роботи з ІВС допускаються особи, які достатньо ознайомились з керівництвом з експлуатації ІВС (ІВС-І2.00.00.000 КЕ) і експлуатаційною документацією складових частин ІВС, з діючими документами з охорони праці та правилами пожежної безпеки.

9.2 До роботи з ІВС допускаються особи, які пройшли інструктаж з охорони праці, в тому числі і на місці проведення робіт.

9.3 Під час експлуатації ІВС діють загальні положення з техніки безпеки, що прийняті на підприємстві на якому здійснюється експлуатація ІВС.

9.4 Персонал, що бере участь в ремонті, налазці та регулюванні систем ІВС, зобов'язаний мати посвідчення про допуск до роботи з електроустановками напругою до 1000 В.

9.5 Перед включенням ІВС від мережі необхідно переконатись, що параметри електроживлення відповідають нормованим.

9.6 Оператори, які експлуатують ІВС, при проведенні вимірювань повинні виконувати всі розпорядження особи, відповідальної за охорону праці.

9.7 Перед включенням ІВС необхідно здійснити її зовнішній огляд та огляд індуктивного перетворювача, з'єднувальних кабелі і переконатись у відсутності механічних пошкоджень.

9.8 При виявленні несправностей або механічних пошкоджень експлуатація ІВС повинна бути припинена до їх усунення.

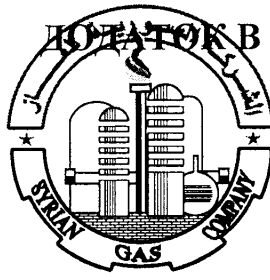
10 ОФОРМЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

10.1 За згодою приймальної комісії окремі результати попередніх випробувань можуть бути визнані і на випробуваннях не перевірятись.

10.2 Результати випробувань оформляються актом експериментальних випробувань згідно додатку А та протоколом експериментальних випробувань.

10.3 При негативних результатах випробувань ІВС усуваються всі виявлені недоліки і повторно проводяться випробування за пунктами невідповідності.

SYRIAN ARAB REPUBLIC
MINISTRY OF OIL AND MINERAL
RESOURCES



الجمهورية العربية السورية
وزارة النفط والثروة المعدنية
الشركة السورية للغاز

SYRIAN GAS COMPANY

To Whom Concern

Reference to Arab Gas Pipeline Project - Phase I, concerning Syrian gas company SGC technical Staff training during the period from 05 Oct to 18 Oct, 2009.

Please be informed that the graduate student nasariy I. Tatsakovych has presented the following presentations related to "improvement of the method of oil and gas pipelines technical diagnostics" :

- The influence of impact strength change on the technical state and remaining life of pipelines;
- A new non-destructive method for impact strength evaluating of pipelines metal;
- Algorithm for calculating the remaining life of pipelines by values of impact strength;
- Using of data on the impact strength change by the formation of a data base of physical and mechanical properties of the pipelines.

Homs on 18.10.09

**Director of Gas Transportation and
Distribution Directorate of Syrian
Gas Company**

Eng. Ibrahim Khadour



СИРІЙСЬКА АРАБСЬКА РЕСПУБЛІКА
МІНІСТЕРСТВО НАФТИ ТА
ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ

СИРІЙСЬКА ГАЗОВА КОМПАНІЯ

За місцем вимоги

Відповідно до проекту Арабського трубопроводу – Фаза 1, що стосується підготовки спеціалістів Сирійської газової компанії у період з 05 до 18 жовтня 2009.

Інформуємо, що аспірант Назарій Л. Тацакович представив такі матеріали щодо впровадження методу технічної діагностики нафтогазопроводів:

- вплив зміни ударної в'язкості матеріалу на технічний стан та залишковий ресурс трубопроводів;
- новий неруйнівний метод визначення ударної в'язкості металу трубопроводу;
- алгоритм розрахунку залишкового ресурсу трубопроводу за величиною ударної в'язкості;
- використання даних про зміну ударної в'язкості у формуванні бази даних фізико-механічних характеристик матеріалу трубопроводу

Хомс, 18.10.2009

Директор Департаменту
транспортування та постачання газу
Сирійської газової компанії

Інж. Ібрагім Хадур

УКРАЇНА

ДЕПАРТАМЕНТ

UKRAINE



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 42294

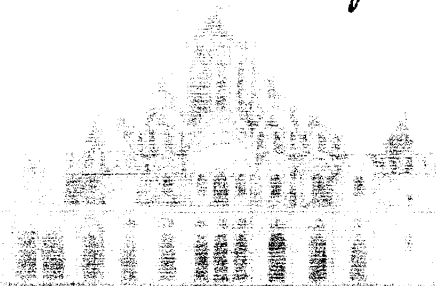
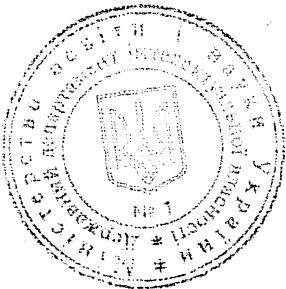
СПОСІБ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ УДАРНОЇ В'ЯЗКОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі **25.06.2009**.

Голова Державного департаменту
інтелектуальної власності

М.В. Паладій



(19) UA

(51) МПК (2009)
G01N 3/00

(21) Номер заявки: **u 2009 01410**

(22) Дата подання заявки: **19.02.2009**

(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **25.06.2009**

(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: **25.06.2009, Бюл. № 12**

(72) Винахідники:
Карпаш Олег Михайлович, UA,
Тацакович Назарій Любомирович, UA,
Карпаш Максим Олегович, UA,
Рибіцький Ігор Володимирович, UA

(73) Власник:
ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ,
вул. Карпатська, 15, м.Івано-Франківськ, 76019, UA

(54) Назва корисної моделі:

СПОСІБ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ УДАРНОЇ В'ЯЗКОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ

(57) Формула корисної моделі:

Спосіб неруйнівного контролю ударної в'язкості елементів металоконструкцій, який полягає у вимірюванні величини їх магнітошумового сигналу та визначенні залежності ударної в'язкості елементів металоконструкцій від характеристик магнітошумового сигналу на зразках, які піддають деформаційному старінню з різним ступенем деформації, який відрізняється тим, що експериментально визначають формулу залежності частоти електромагнітних коливань індуктивного контуру перетворювача від ударної в'язкості елементів металоконструкцій за допомогою індуктивного перетворювача, після чого перетворювач розміщують на поверхні елемента досліджуваної металоконструкції та проводять вимірювання ударної в'язкості.

Пронумеровано, прошито металевими
люверсами та скріплено печаткою
2 арк.
25.06.2009



Уповноважена особа

(підпис)



УКРАЇНА

 (19) UA (11) 42294 (13) U
 (51) МПК (2009)
 G01N 3/00

 МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
 І НАУКИ УКРАЇНИ

 ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
 ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

 видається під
 відповідальність
 власника
 патенту

(54) СПОСІБ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ УДАРНОЇ В'ЯЗКОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ

1

2

(21) u200901410

(22) 19.02.2009

(24) 25.06.2009

(46) 25.06.2009, Бюл.№ 12, 2009 р.

(72) КАРПАШ ОЛЕГ МИХАЙЛОВИЧ, ТАЦАКОВИЧ

НАЗАРІЙ ЛЮБОМИРОВИЧ, КАРПАШ МАКСИМ

ОЛЕГОВИЧ, РИБИЦЬКИЙ ІГОР ВОЛОДИМИРОВИЧ

(73) ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ

ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ

(57) Спосіб неруйнівного контролю ударної в'язко-

сті елементів металоконструкцій, який полягає у

вимірюванні величини їх магнітошумового сигналу

та визначенні залежності ударної в'язкості елеме-

нтів металоконструкцій від характеристик магнітошумового сигналу на зразках, які піддають деформаційному старінню з різним ступенем деформації, який відрізняється тим, що експериментально визначають формулу залежності частоти електромагнітних коливань індуктивного контуру перетворювача від ударної в'язкості елементів металоконструкцій за допомогою індуктивного перетворювача, після чого перетворювач розміщують на поверхні елемента досліджуваної металоконструкції та проводять вимірювання ударної в'язкості.

Корисна модель відноситься до неруйнівного контролю елементів металоконструкцій, зокрема до контролю ударної в'язкості.

Відомий спосіб вимірювання ударної в'язкості матеріалів [1], який полягає у тому, що вимірюється величина енергії, яку необхідно затратити для розлому досліджуваного зразка. Для реалізації даного методу досліджуваному зразку певної форми та розміру, передається імпульс механічної енергії наперед заданої величини. Найчастіше, при вимірюваннях за допомогою даного методу використовують зразки довжиною 2,5 дюйма, шириною 0,5 дюйма та товщиною 0,5 дюйма з поперечною до довжини зарубкою по середині зразка. Такий метод використовується для закріплених з однієї сторони зразків, так званих «консольних зразків».

До недоліків даного методу слід віднести необхідність виготовлення зразків з досліджуваної металоконструкції для проведення вимірювань та те, що сам метод є руйнівний.

Також відомий метод та засіб вимірювання ударної в'язкості, який базується на вимірюванні ударної в'язкості дрібних частинок, які знаходяться в малій ємності [2]. Коливання ємності відбувається з певним значенням амплітуди за допомогою пружини, до якої кріпиться з однієї сторони ємність, а інша сторона пружини розташовується на

об'єкті контролю. В результаті таких коливань дрібні частинки, які знаходяться в ємності, зазнають пошкоджень, що призводить до зміни амплітуди коливань ємності з частинками. Ударна в'язкість об'єкта контролю в даному випадку визначається за наперед визначеною залежністю величини зміни амплітуди коливань від часу проведення вимірювань. Таким чином вимірюючи час та значення зміни амплітуди коливань протягом даного проміжку часу і визначається значення пластичної деформації та ударної в'язкості об'єкта контролю.

Недоліками даного методу є необхідність використання дрібних частинок, які в процесі вимірювань руйнуються та значна тривалість процесу вимірювань.

Найбільш близьким по суті до запропонованого є спосіб вимірювання ударної в'язкості металічних виробів, який базується на тому, що виготовляють зразки з тієї ж сталі, що досліджувана металоконструкція, піддають їх деформаційному старінню різного ступеня, вимірюють руйнівним методом ударну в'язкість кожного зразка та за допомогою перетворювача вимірюють величину магнітно-шумового сигналу кожного зразка [2]. Після цього визначають математичну залежність між ударною в'язкістю зразка та значенням величини магнітно-шумового сигналу. Провівши вимірювання величини магнітно-шумового сигналу на металоко-

(13) U

(11) 42294

(19) UA

нструкції з невідомим значенням ударної в'язкості, за наперед встановленою математичною залежністю, визначають значення ударної в'язкості досліджуваного елемента металокопструкції.

До недоліків даного методу вплив власних шумів перетворювача, теплових шумів системи реєстрації сигналу та зовнішніх електромагнітних завад на форму та амплітуду магніто-шумового сигналу.

Задача даної корисної моделі полягає в удосконаленні неруйнівного способу контролю ударної в'язкості елементів металокопструкцій шляхом визначення формули залежності частоти електромагнітних коливань індуктивного контуру перетворювача від ударної в'язкості елементів металокопструкцій.

Для вирішення поставленої задачі у корисній моделі способу неруйнівного контролю ударної в'язкості елементів металокопструкцій, що реалізує вимірювання величини їх магніто-шумового сигналу та визначення залежності ударної в'язкості елементів металокопструкцій від характеристик магніто-шумового сигналу на зразках, які піддають деформаційному старінню з різним ступенем деформації, який відрізняється тим, що експериментальне визначають формулу залежності частоти електромагнітних коливань індуктивного контуру перетворювача від ударної в'язкості елементів металокопструкцій за допомогою індуктивного перетворювача. Після чого перетворювач розміщують на поверхні елемента досліджуваної металокопструкції та проводять вимірювання ударної в'язкості.

Згідно з корисною моделлю індуктивний перетворювач розміщують на поверхні металокопструкції та проводять вимірювання частоти власних електромагнітних коливань індуктивного контуру перетворювача, за значенням якої визначають значення ударної в'язкості за наперед встановленою математичною залежністю.

Для визначення математичної залежності частоти електромагнітних коливань індуктивного перетворювача від величини ударної в'язкості, виготовляють не менше 10 зразків з тієї ж сталі, що і металокопструкція, значення ударної в'язкості якої буде вимірюватись. Відібрані зразки піддають деформаційному старінню з різним ступенем деформації. Після цього індуктивний перетворювач розміщують на поверхні досліджуваного зразка та проводять вимірювання частоти власних електромагнітних коливань індуктивного контуру перетворювача. Такі вимірювання проводять для кожного з виготовлених зразків. Після цього з досліджуваних зразків виготовляють стандартні зразки для випробувань на ударний згин та визначають величину ударної в'язкості кожного зразка руйнівними методами.

В результаті отримують табличну залежність частоти власних електромагнітних коливань пере-

творювача від значення ударної в'язкості, з якої за допомогою метода найменших квадратів визначають шукану математичну залежність ударної в'язкості від частоти власних електромагнітних коливань перетворювача.

$$\alpha = f(\nu),$$

де α - ударна в'язкість, ν - частота власних електромагнітних коливань індуктивного перетворювача.

Винахід ілюструється кресленням, де на фіг.1 зображена схема розміщення індуктивного перетворювача на поверхні елемента металокопструкції 1. Даний спосіб неруйнівного контролю ударної в'язкості елемента металокопструкції здійснюють наступним чином. Електромагнітні коливання в контурі індуктивного перетворювача 2 (фіг.1) збуджуються за допомогою автоколивного генератора 3. Індуктивний контур перетворювача являє собою розімкнуте феритове кільце, на яке виток до витка намотана індуктивна котушка. Величина частоти власних електромагнітних коливань індуктивного контуру перетворювача буде залежати від параметрів індуктивного контуру, зокрема кількості витків та матеріалу феритового осердя; параметрів автоколивного генератора; величини зазору розімкнутого феритового кільця; відстані від індуктивного контуру перетворювача до елемента металокопструкції та фізико-механічних характеристик елемента металокопструкції. Оскільки в процесі контролю параметри індуктивного контуру (кількість витків, характеристика матеріалу феритового осердя, величина зазору розімкнутого феритового кільця), автоколивного генератора та відстань від індуктивного контуру перетворювача до елемента металокопструкції змінюватись не будуть, тому частота власних електромагнітних коливань індуктивного контуру перетворювача буде залежати тільки від фізико-механічних характеристик елемента металокопструкції, зокрема ударної в'язкості.

При розміщенні індуктивного перетворювача на поверхні елемента металокопструкції, проводять вимірювання частоти власних електромагнітних коливань індуктивного контуру перетворювача та обчислюють згідно з наперед визначеною формулою значення ударної в'язкості α .

Даний спосіб неруйнівного контролю ударної в'язкості елементів металокопструкцій виключає необхідність вирізання досліджуваних зразків з металокопструкції, не вимагає підготовки металокопструкції до проведення вимірювань та може використовуватись на металокопструкціях, які знаходяться в експлуатації.

Джерела інформації:

1. Патент Канади № CA 470137 A
2. Патент США №G01N3/560.
3. Патент Російської Федерації № RU 2108560

Сі.

5

42294

6

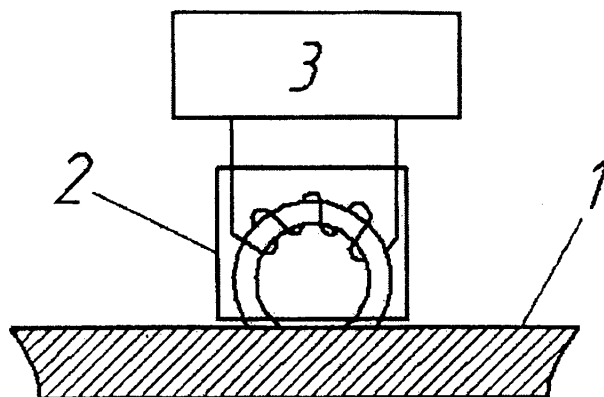


Fig. 1



СТАНДАРТ ОРГАНІЗАЦІЇ УКРАЇНИ

Магістральні газопроводи
ОЦІНКА ФАКТИЧНОГО ТЕХНІЧНОГО СТАНУ
ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ДІЛЬНИЦЬ

Методи і методики

СОУ 60.3-30019801-067:2009

Київ
ДК „УКРТРАНСГАЗ”
2009

СОУ 60.3-30019801-067:2009

ПЕРЕДМОВА

1 РОЗРОБЛЕНО: Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

РОЗРОБНИКИ: Я.Зінчак, к.т.н., Є.Крижанівський, д.т.н., О.Карпаш, д.т.н., (керівник розробки), М.Карпаш, к.т.н., Н. Тацакович, А. Яворський, к.т.н.

2 ВНЕСЕНО

Науково-технічним управлінням ДК „Укртрансгаз”

3 ПОГОДЖЕНО:

Технічний комітет стандартизації ТК 146 „Матеріали, обладнання, технології і споруди для нафтогазової промисловості”, лист від 15.02.08 р № 1-02-21

4 ПРИЙНЯТО ТА НАДАНО ЧИННОСТІ

наказом ДК „Укртрансгаз” _____ № _____

5 ВВЕДЕНО ВПЕРШЕ

Право власності на цей документ належить ДК „Укртрансгаз”.

Відтворювати, тиражувати і розповсюджувати його повністю чи частково на будь-яких носіях інформації без офіційного дозволу ДК “Укртрансгаз” заборонено^{*)}.

^{*)} Філії ДК „Укртрансгаз”, а також окремі підрозділи Компанії мають право тиражувати стандарт для власних потреб, при умові його нерозповсюдження за межі системи ДК „Укртрансгаз”.

ДК “Укртрансгаз”, 2009

ЗМІСТ

1	Сфера застосування.....	1
2	Нормативні посилання.....	2
3	Терміни та визначення понять.....	5
4	Позначки та скорочення.....	12
5	Загальні положення.....	14
6	Методи, засоби та технології, що використовуються при технічному діагностуванні ПНД МГ.....	25
7	Технічне діагностування геометричного положення об'єктів.....	33
8	Технічне діагностування гідравлічним (пневматичним) випробуванням.....	39
9	Технічне діагностування корозійного стану.....	41
10	Технічне діагностування стану матеріалу (дефектоскопія, товщинометрія, контроль фізико-механічних характеристик).....	44
11	Контроль стану захисного покриття від корозії.....	47
12	Технічне діагностування напружено-деформованого стану.....	48
13	Технічне діагностування витоків газу.....	52
14	Експертне обстеження надземних переходів МГ через природні та штучні перешкоди.....	54
15	Експертне обстеження балкових переходів МГ через малі ріки, потічки та інші перешкоди.....	64
16	Експертне обстеження підводних переходів МГ.....	69
17	Експертне обстеження переходів МГ через автомобільні дороги і залізницю.....	75
18	Експертне обстеження ділянок МГ на перетині газопроводу з іншими трубопроводами та ділянок МГ на крутих поворотах.....	79

СОУ 60.3-30019801-067:2009

19	Експертне обстеження стану трубопроводу на зсувонебезпечних ділянках МГ, у зоні карстових явищ або підземних гірничих робіт.....	81
20	Розрахунки на міцність, прогнозування залишкового ресурсу ділянок МГ та умов безпечного експлуатування.....	83
21	Оформлення результатів технічного огляду, експертного обстеження та висновки експертизи.....	84
22	Вимоги до охорони праці, охорони довкілля та організації безпечного виконання робіт при експертному обстеженні.....	87
	Додаток А Форма заявки на проведення технічного огляду, експертного обстеження потенційно небезпечної ділянки МГ.....	92
	Додаток Б Форми документів необхідних для проведення сертифікації персоналу	93
	Б.1 Форма заявки на проведення сертифікації фахівця з неруйнівного контролю	93
	Б.2 Перелік документів, які необхідно подати в ОСП, для проходження сертифікації фахівців з неруйнівного контролю.....	94
	Б.3 Форма заявки на видачу сертифікату фахівцю з неруйнівного контролю.....	95
	Додаток В Форма технічного висновку за розглядом документації на потенційно небезпечну ділянку МГ.....	96
	Додаток Г Форма акту за результатами візуального контролю потенційно небезпечної ділянки МГ	97
	Додаток Д Форма акту за результатами неруйнівного контролю (дефектоскопії, вимірювань)	100

Додаток Е Форма акту за результатами контролю зварних швів потенційно небезпечної ділянки МГ	101
Додаток И Форма акту за результатами контролю методом магнітної пам'яті металу корпусів запірної арматури	102
Додаток Ж Форма відомості дефектів, виявлених при неруйнівному контролі потенційно небезпечної ділянки МГ	103
Додаток К Форма висновку за результатами технічного огляду, експертного обстеження потенційно небезпечної ділянки МГ..	104
Додаток Л Методика проведення неруйнівного контролю корпусів запірної арматури методом магнітної пам'яті металу.....	107
Додаток М Методика визначення технічного стану потенційно небезпечних ділянок МГ акустико-емісійним методом	109
Додаток Н Методика проведення неруйнівного контролю трубопроводу та обладнання ультразвуковим методом.....	119
Додаток П Методика проведення неруйнівного контролю капілярним методом.....	129
Додаток Р Методика проведення неруйнівного контролю магнітопорошковим методом	132
Додаток С Методика вихорострумове контролю суцільності матеріалу.....	137
Додаток Т Методика радіаційного контролю.....	139
Додаток У Контроль і аналіз механічних характеристик матеріалу трубопроводів	141
Додаток Ф Методика контролю і оцінки напружено-деформованого стану трубопроводів з використанням магнітних параметрів деформаційної здатності металу.....	143
Додаток Х Технічні вимоги до експертного обстеження опор, підвісок, фундаментів.....	147

СОУ 60.3-30019801-067:2009

Додаток Ц Дозвіл на виконання робіт в охоронній зоні МГ(форма).....	150
Додаток Ш Геодезичні роботи при обстеженні надземних переходів МГ.....	151
Додаток Щ Акт обстеження технічного стану надземного переходу МГ.....	171
Додаток Ю Акт обстеження технічного стану балкового переходу МГ.....	173
Додаток І Основні технічні характеристики ВТЗ фірми „ROSEN”.....	178
Додаток ІІ Прогнозування залишкового ресурсу за динамікою зменшення товщини стінки газопроводу.....	179
Додаток ІІІ Визначення зміни коефіцієнта запасу міцності металу труб в процесі експлуатації та оцінка залишкового ресурсу трубопроводу.....	180
Додаток ІV Розрахунок напружено-деформованого стану та оцінка несучої здатності балкових переходів МГ.....	184
Додаток V Бібліографія.....	188

років визначають за формулою:

$$V_{\delta} = \frac{\delta_0 - \delta_{min-\phi}^V}{\tau_{\phi}}, \quad (9.4)$$

де δ_0 - номінальна або за попереднім заміром товщина стінки газопроводу, мм;

τ_{ϕ} - час (в роках), який пройшов за період від введення газопроводу в експлуатацію або від попереднього обстеження до моменту даного обстеження.

10 ТЕХНІЧНЕ ДІАГНОСТУВАННЯ СТАНУ МАТЕРІАЛУ ЕФЕКТОСКОПІЯ, ТОВЩИНОМЕТРІЯ, КОНТРОЛЬ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК)

10.1 Експертне обстеження (технічне діагностування) стану матеріалу здійснюють за такими основними напрямками:

- неруйнівний контроль основного металу і зварних з'єднань труб та елементів обладнання ділянок МГ;
- визначення механічних властивостей трубної сталі трубопроводу та елементів обладнання ділянок МГ.

10.2 Неруйнівний контроль основного металу і зварних з'єднань труб газопроводу та елементів обладнання ділянок МГ.

10.2.1 Для неруйнівного контролю основного металу і зварних з'єднань використовують такі методи:

- ультразвуковий;
- радіографічний;
- капілярний;
- магнітопорошковий тощо.

10.2.2 Метою досліджень ультразвуковим і радіаційним методом контролю пошук можливих внутрішніх дефектів (несуцільностей) і визначення їх

геометричних розмірів. Ультразвуковий контроль проводять згідно з вимогами ГОСТ 14782, радіаційний контроль згідно з ГОСТ 7512 та пункту 6.4.13 цього стандарту.

10.2.3 Магнітопорошкову дефектоскопію проводять для виявлення поверхневих та підповерхневих дефектів металу труб газопроводу. Контроль проводиться згідно з ГОСТ 21105 та підрозділу 6.4.10 цього стандарту.

10.2.4 Капілярний контроль використовують з метою виявлення поверхневих (з розкриттями) дефектів металу труб магістральних газопроводів. Капілярний контроль повинен проводитися згідно з вимогами ГОСТ 18442 та пункту 6.4.9 цього стандарту.

10.2.5 Капілярний і магнітопорошковий методи контролю є методами неруйнівного контролю при експертному обстеженні (технічному діагностуванні) магістральних газопроводів, що передбачають значні роботи з підготовки металу труб (високі вимоги до чистоти та шорсткості поверхні контролю). Вони застосовуються тільки при виявленні дефектних (або з підозрою на дефект) ділянок газопроводу після візуально-оптичного контролю з метою уточнення наявності поверхневого дефекту та визначення його розмірів (при підтвердженні його наявності).

10.2.6 Контроль зварних швів обов'язково проводять в тих випадках, якщо шов прилягає безпосередньо до зони, де виявлено значне зменшення товщини стінки, пошкодження антикорозійного покриття, значні поверхневі дефекти тощо.

Зварний шов повинен бути очищений від ізоляції і продуктів корозії до чистого металу по 200 мм осі шва в кожен бік.

Зварне з'єднання слід маркувати і ділити на ділянки так, щоб однозначно визначити місце розташування дефекту (при виявленні) по довжині шва.

10.3 Визначення механічних властивостей трубної сталі ПНД МГ

10.3.1 До основних механічних властивостей металу труб відносяться межа міцності R_m , межа текучості R_t , ударна в'язкість та інші.

Основні механічні властивості металу труб можуть бути визначені приблизно – неруйнівними методами випробувань труб за твердістю, а більш точно – руйнівними методами випробувань зразків труб.

Метод міцності та межі текучості і металу труб можуть бути визначені також з допомогою приладу ФМХ-1 за методикою, викладеною в експлуатаційній документації на прилад, суть якої полягає у нагріванні поверхні трубопроводу інфрачервоними променями та знятті в часі кривих теплопереносу за допомогою термодавачів. За вимірними значеннями кривих теплопереносу розраховується значення теплопровідності. Окремо вимірюється твердість поверхні трубопроводу. Отримані значення твердості та теплопровідності використовуються для визначення механічних характеристик та структури сталі з допомогою алгоритму штучних нейронних мереж.

Ударна в'язкість металу трубопроводу може бути визначена з допомогою приладу-індуктоміру „І-1” за методикою, викладеною в інструкції з експлуатації на цей прилад.

10.3.2 Число вимірювань, на кожній ділянці трубопроводу, що обстежуються, повинно бути не менше 12 од. Вибір місць заміру визначається захівцями замовниками та спеціалізованої експертної організації, якщо це не обговорено НД на об'єкт контролю.

10.3.3 Визначення межі міцності R_m і межі текучості R_T трубної сталі за результатами твердометрії проводять згідно з ГОСТ 22761.

10.3.4 Фактичні значення межі міцності, межі текучості та інші механічні характеристики порівнюють з їх початковими характеристиками (за ТУ).

10.3.5 У випадку виявлення істотного погіршення механічних характеристик металу труб, для підвищення достовірності результатів і зменшення імовірності помилок при видачі „Висновку за результатами експертного обстеження ділянки (переходу) МП” необхідно провести більш високоточне визначення фактичних механічних властивостей труб руйнівними методами з вирізанням зразків з трубопроводу.

В лабораторних умовах руйнівним методом з високою точністю

визначають:

- межу текучості;
- межу міцності;
- відносне подовження при розриві;
- відносне звуження;
- ударну в'язкість;
- характеристики тріщиностійкості;
- температури крихкості тощо.

10.3.6 Отримані дані порівнюють з визначеними наближено за результатами твердометрії і початковим (за ТУ).

11 КОНТРОЛЬ СТАНУ ЗАХИСНОГО ПОКРИТТЯ ВІД КОРОЗІЇ

11.1 Контроль стану захисту газопроводу від корозії виконують згідно з ДСТУ 4219, ВБН В.2.3-00018201.01.01 та галузевими технічними вимогами на проведення комплексного обстеження засобів антикорозійного захисту та корозійного стану об'єктів ГТС, наведеним в п. 6 СОУ 60.3-30019801-006.

11.2 Комплекс робіт щодо перевірки стану захисного покриття від корозії газопроводів включає:

- контроль стану захисних покриттів газопроводів при підземному, наземному і надземному прокладанні;
- контроль захищеності трубопроводу від корозії системою електрохімічного захисту в часі і протяжності;
- контроль захисту від корозії, викликані блукаючими струмами;
- контроль захисту від атмосферної корозії.

11.3 Особливу увагу при проведенні даних робіт необхідно звернути на ПНД МГ з підвищеною активністю ґрунтів.

11.4 Перевірні роботи з контролю стану захисних покриттів газопроводів здійснюють згідно вимог ДСТУ 4219 тощо. Контроль полягає у дефектуванні ізоляції трубопроводу шляхом електрометричних вимірювань.