

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	4
Вступ.....	5
Розділ 1. Літературний огляд.....	7
Розділ 2. Методи дослідження та обладнання.....	25
Розділ 3. Дослідження змін механічних характеристик під час тривалої експлуатації.....	31
Розділ 4. Дослідження електрохімічних характеристик металу труб.....	42
Розділ 5. Техніка безпеки.....	49
Висновки.....	57
Література.....	59

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ЕКЗ – електрохімічний захист;

$K_1$  – показник швидкості корозії металу без катодного захисту;

$K_2$  – показник швидкості корозії металу при катодному захисту;

$\Delta m_1$  – втрата маси металу в корозійному середовищі без захисту;

$\Delta m_2$  – втрата маси металу в корозійному середовищі без захисту, при катодному захисту;

$I_n$  – катодна густина струму;

$K$  – робота, яка витрачена на руйнування зразку, Дж ;

$S_0$  – початкова площа поперечного перерізу зразка в місці концентратора,  $\text{см}^2$ .

$H_1$  – початкова висота робочої частини зразка, см;

$B$  – початкова ширина зразка, см;

$F_{0,2}$  – навантаження, які викликають залишкове (пластичне) видовження, що дорівнює 0,2%, (Н);

$A_0$  – первинна площа поперечного перерізу, ( $\text{м}^2$ );

$A_1$  – площа поперечного перерізу в найтоншому місці шийки після розриву ( $\text{м}^2$ );

$l_1$  – довжина зразка після розриву;

$l_0$  – довжина зразка до навантаження.

## Вступ

Експлуатація магістральних трубопроводів з часом стає проблемною. Велика кількість газо– і нафтопроводів в Україні знаходиться в експлуатації тривалий час. Відомо, за тривалої дії агресивного середовища можуть відбуватися структурні зміни металу, що обумовлює погіршення механічних і інших характеристик металу [1-3]. Силоне навантаження на труби у вигляді внутрішнього тиску, власної ваги, нерівномірного навантаження ґрунту, температурних коливань прискорюють цей процес, а можливе наводнювання веде з часом до експлуатаційної об'ємної деградації металу.

Враховуючи збитки від аварій магістральних трубопроводів, забруднення навколишньої атмосфери, безпека є пріоритетною задачею.

Прикладом може слугувати руйнування магістрального газопроводу (рисунок 1) «Уренгой-Помари-Ужгород» 7 травня 2007 р. на Київщині на ділянці УМГ «Черкаситранс-газ» та 6 грудня 2007 року на Вінничині.



Рисунок 1 — Аварія на Київщині

Руйнування обсадної колони, відрив колонної голівки від обсадної колони призвів до великої катастрофи у Мексиканській затоці (рисунок 2), що сталася 20 квітня 2010 року на платформі Deepwater Horizon, є найбільшою в історії США, яку ліквідовували 5 місяців. Загибло 11 осіб. У затоку витекло 4,9 млн тонн нафти. Компанія «BP» понесла фінансові збитки в розмірі понад 9 млрд доларів.



Рисунок 2 — Руйнування обсадної колони

Наслідки катастрофи, на думку екологів, будуть проявлятися десятки років [4-6].

Виходячи з загрозою викликом аварій, дороговизни ремонту, постає питання з продовженням ресурсу металів.

Найбільш дієвим способом захисту матеріалу від корозії є використання пасивних та активних методів захисту.

Пасивний захист реалізується у вигляді нанесення різноманітних покриттів, підбору матеріалу.

Для активного - найбільш поширеним являє застосування катодного захисту.

## Розділ 1. Літературний огляд

Сучасна газотранспортна система України відіграє важливу роль у міжнародній системі транспортування газу, що бере початок від Центральної Азії до країн Європейського союзу. Вона щороку забезпечує постачання десятків мільярдів природного газу як вітчизняним споживачам, так і споживачам 19 європейських держав. Вивченню питання експлуатаційної деградації металу труб газо-нафтопроводів приділяється велика увага [7-12].

Газопроводи проектуються для довгострокової експлуатації та застосування, тому одним з найголовніших питань яке вирішується при проектуванні газопроводу є питання захисту газопроводу від корозії. Виника питання захисту газопроводів від навколишніх чинників, та середовища, яке постачають.

За характером розрізняють наступні види корозії:

а) газову - корозія в газовому середовищі за високих температурах (наприклад, рідкий метал за гарячої прокатки );

б) атмосферну - корозія металу в природній атмосфері (наприклад, іржавлення покрівлі);

в) рідинну - корозія в розчинах електrolітів (наприклад, судів);

г) підземну - корозія металу в ґрунті (наприклад, трубопроводів);

д) блукаючими струмами - корозія трубопроводів в результаті дії струмів витоку при роботі рельсового електрифікованого транспорту, трубопроводу, кабелів та ін.;

е) контактну - корозія в результаті сполучення різнорідних металів в електропровідному середовищі [13].

За механізмом реакцій взаємодії металу із середовищем розрізняють два основних типи корозії металів: хімічну (окиснення) і електрохімічну (з появою електричного струму).

Хімічна корозія - мимовільне руйнування твердих матеріалів внаслідок хімічної взаємодії їх із зовнішнім середовищем. Хімічна корозія металів протікає при їх взаємодії з сухими газами або рідкими неелектролітами за законами хімічних реакцій [14].

Класифікується хімічна корозія на :

Газову корозію - окислення металу киснем або іншим газом за високих температур, без вологи.

Корозію неелектролітами - руйнування металу в рідких або газоподібних агресивних середовищах.

Електрохімічна корозія представляє собою руйнування металу, що супроводжується появою електричного струму. Цей вид корозії найбільш поширений і спостерігається при взаємодії металів з рідкими електролітами (наприклад водою, водними розчинами солей та іншими).

Максимальний ефект електрохімічного руйнування (розчинення) зосереджений на анодних ділянках металу, що кородує. Анодне розчинення металу можливе при одночасному протіканні катодного струму на відповідній ділянці. Відповідно до класичної теорії електрохімічної корозії, ділянки анодної і катодної реакції в просторі розділені і умовою для протікання процесу корозії є термодинамічна нестійкість металу в даних корозійних умовах. Однак просторове розділення анодної і катодної реакції можуть локалізуватися на тих ділянках, де їх протікання більш полегшено. Тому в більшості практичних випадків протікання електрохімічної корозії зазвичай характеризується локалізацією анодних і катодних процесів на різних ділянках кородуючої поверхні металу.

Електрохімічне розчинення металу є таким чином складним процесом, що складається з трьох основних процесів:

1) анодного процесу - виникнення некомпенсованих електронів біля анодних ділянок металу і гідратованих іонів металу в електроліті:  

$$\text{Me} + m\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Me}^n + m\text{H}_2\text{O} + ne;$$

2) процесу перетікання електронів по металу від анодних ділянок до катодних і відповідного переміщення катіонів та аніонів в розчині;

3) катодного процесу - асиміляції електронів будь-якими іонами або молекулами розчину (деполяризаторами), здатними до відновлення на катодних ділянках:  $\text{D} + ne \rightarrow [\text{D} \cdot ne]$ .

При замиканні в електроліті двох електродів з різними потенціалами відбувається перетікання електронів від більш від'ємного електрода до менш від'ємного електрода. Це перетікання електронів вирівнює значення потенціалів замкнутих електродів. Якби при цьому електродні процеси (анодний на аноді і катодний на катоді) не протікали, потенціали електродів зрівнялися б і настала б повна поляризація. Насправді анодні і катодні електродні процеси не припиняються, а продовжують протікати, перешкоджаючи встановленню повної поляризації, тобто діють процеси деполяризації. Звідси, зокрема походить і назва іонів або молекул розчину, що забезпечують протікання катодного процесу - «деполяризатори».

На практиці переважна більшість металевих конструкцій піддається руйнуванню унаслідок електрохімічної корозії: руйнування металевих виробів в прісній і морській воді, в атмосфері, ґрунті, руйнування машин і апаратів в хімічній промисловості, втрати металів при видаленні з них окалини в травильних розчинах і інших [15].

За відсутності вологи в повітрі залізо кородує з незначною швидкістю. У пустелі, наприклад, сталеві вироби дуже довго залишаються блискучими. За

температурами нижче точки замерзання води або водних конденсатів на поверхні металу корозія йде вкрай повільно. Корозія металів в атмосфері залежить від вмісту не тільки вологи, але пилу і газоподібних домішок, які перешкоджають конденсації вологи на поверхні металу.

Атмосфера істотно різниться за вологістю, температурою і забрудненням, тому швидкість атмосферної корозії в різних районах неоднакова.

Роль пилу, який присутній в атмосфері, був досліджений Верноном [16]. Він випробував зразки з заліза на незахищеному від опадів стенді, а частина зразків була захищена. Через кілька місяців незахищені зразки вкрилися іржею, а їх маса помітно збільшилася, тоді як на захищених тканиною зразках іржі не було, маса збільшувалася не суттєво.

Контактуючи з поверхнею металів, пил впливає на швидкість корозії. Речовини в поєднанні з вологістю ініціюють корозійні процеси, утворюючи гальванічні елементи або елементи диференціальної аерації. Внаслідок своєї гігроскопічності ці частинки сприяють утворенню електроліту на поверхні металу. Таким чином, незапилене повітря в значно меншій мірі корозійно активне, ніж повітря забруднене пилом, особливо якщо пил складається з водорозчинних частинок або частинок з адсорбованої  $\text{H}_2\text{SO}_4$  [17].

На противагу існуючим раніше думкам, невеликі кількості діоксиду вуглецю, які зазвичай присутні в атмосфері, не викликають і не посилюють корозію. Зразки сталі іржавіють в атмосфері вільної від  $\text{CO}_2$  з тією ж швидкістю, що і в звичайній атмосфері. Експерименти, проведені Верноном [18], показали що  $\text{CO}_2$  в звичайних кількостях фактично уповільнює корозію, можливо сприяючи утворенню більш щільної плівки іржі, яка уповільнює корозію на відкритому повітрі.

Вивчення підземної корозії металів - справа виняткової важливості, через те, що тільки в США загальна протяжність підземних нафто-, водо-, газопроводів має понад мільйон кілометрів. Внаслідок корозії ці конструкції доводиться



постійно ремонтувати і замінювати. Наприклад, в 1975 році загальна вартість втрат в результаті корозії трубопроводів в США склала 158 млн. доларів [19].

Згідно з доповіддю за 2001 рік, вартість корозії в США становила 276 млрд. доларів в рік. З цього було витрачено близько 121 млрд. доларів на боротьбу з корозією, в результаті чого різниця в розмірі 155 млрд. доларів стала чистим збитком для економіки [20].

Агресивність ґрунту визначається:

- 1) його пористістю;
- 2) електропровідністю або опором;
- 3) наявністю розчинених солей, включаючи деполяризатори або інгібітори;
- 4) вологістю;
- 5) кислотністю або лужністю.

Кожен з цих параметрів може впливати на характеристики анодної і катодної поляризації металу в ґрунті [21].

До матеріалів захисту від корозії слід віднести вибір :

- ізолюючих покриттів;
- електрохімічного захисту.

Ізолюючі покриття

Ізоляційні покриття виконують роль дифузійного бар'єру для корозійного середовища, екрануючи металеву поверхню при наземній експлуатації від вологи, кисню та інших агресивних компонентів довкілля, при підземній експлуатації - від ґрунтового електроліту. Зниження корозійних втрат при застосуванні ізоляційних покриттів пов'язано також з тим, що вони збільшують опір корозійного ланцюга, отже зменшують струми корозії [22-25].

Крім того, спільне застосування катодного захисту і ізоляційного покриття дозволяє знизити величину захисного струму завдяки збільшенню поляризаційного опору катода. Енерговитрати при захисті споруди зовнішнім накладеним струмом зменшуються, тобто зростає ефективність електрохімічного захисту.

Існує думка, що ефективність катодного захисту магістрального трубопроводу корозії більшістю визначається видом і якістю ізолюючого покриття. Саме тому останнім часом при будівництві трубопроводів перевагу віддають трубам з якісним і довговічним заводським ізоляційним покриттям. Однак питома вага покриття, що наноситься в стресових умовах, особливо в разі ремонту трубопроводу, все ще велика.

Для виконання свого функціонального навантаження ізоляційні покриття повинні мати наступні властивості:

1) водонепроникність, що виключає можливість попадання під покриття ґрунтової вологи і тим самим перешкоджає контакту електроліту з поверхнею захисної сталі;

2) гарну адгезію (прилипання) покриття до ізолюючої сталевий поверхні, що запобігає відшаровуванню ізоляції при місцевому руйнуванні її суцільності, а також виключає проникнення електроліту під покриття;

3) суцільність, що забезпечується надійністю покриття, бо навіть найдрібніша пористість в покритті веде до створення електролітичних осередків і протіканню корозійних процесів;

4) хімічну тривкість, що забезпечує тривалу роботу покриття в умовах агресивних середовищ;

5) механічною міцністю, достатньою для проведення ізоляційно-укладальних робіт при спорудженні металевий об'єкта і витримання експлуатаційних навантажень;

6) термостійкість, яка визначається необхідною температурою розм'якшення, що важливо при ізоляції «гарячих» об'єктів і температур настання крихкості, що має велике значення при проведенні ізоляційних робіт в зимовий час;

7) діелектричними властивостями, визначальними опорами проходженню струму, що запобігають виникненню корозійних елементів між металом і електролітом та обумовлюється економічним ефектом від застосування електрохімічного захисту;

8) відсутністю корозійного і хімічного впливу на об'єкт, що захищається;

9) можливістю механізації процесу нанесення ізоляційного покриття, як в базових, так і в польових умовах;

10) недефіцитним застосуванням (широке застосування знаходять лише ті матеріали, які є в достатній кількості);

11) економічністю (вартість ізоляційного покриття повинна бути в багато разів менше вартості об'єкта, що захищається) [26].

На сьогоднішній день розроблено і пропонується до використання широкий спектр ізоляційних покриттів трубопроводів, котрі відрізняються один від одного як властивостями, так і технологією нанесення. Трубні ізоляційні покриття класифікують за різними ознаками. Один з істотних класифікаційних ознак - тип покриття, згідно з яким всі застосовувані для ізоляції підземних трубопроводів покриття розділені на групи зі схожими матеріалами основного шару і технологією нанесення на основі:

- екструдованих поліолефінів;
- епоксидних порошкових фарб;
- термореактивних композицій;
- термоукладаючих стрічок;
- липких полімерних стрічок холодного нанесення;

- мастично-полімерних стрічок холодного нанесення;
- бітумних мастик гарячого нанесення.

### Електрохімічний захист

Погодившись з тим, ідеального ізоляційного покриття не існує, навіть добре нанесене ізоляційне покриття з часом старішає, втрачає адгезію, продавлюється ґрунтом, корінням та ін. Тому наявність ізоляційного покриття не гарантує 100% захисту від корозії, фахівці які спеціалізуються на корозійній науці запропонували альтернативний спосіб захисту. Спосіб був запропонований на початку минулого століття але, як це часто буває, виявився не дуже потрібним і отримав поширення лише через 100 років.

Розрізняють чотири види електрохімічного захисту:

- а) катодний;
- б) анодний;
- в) електродренажний;
- г) протекторний.

### Катодний захист

Катодний захист-проводиться за допомогою постійного струму від зовнішнього джерела при якому зовнішній метал приєднується від'ємного полюсу (в якості катоду), а до додатнього полюсу (додатковий електрод) заземлення, що поляризується анодно.

Оптимальна захисна густина струму повинна перевищувати густину струму, еквівалентну швидкості корозії металу в даному середовищі. Важливо також, щоб вона була рівномірною по всій поверхні конструкції, що

захищається. Перевищення оптимальної величини захисної щільності струму небажано, оскільки може привести до витрат електроенергії, витрат анодов.

Ефективність катодного захисту (%) характеризується величиною захисного ефекту  $Z$  і величиною коефіцієнта захисної дії  $K_3$ .

$$Z = \frac{K_1 - K_2}{K_1} \cdot 100, \quad (1.1)$$

$K_1$  - показник швидкості корозії металу без катодного захисту;

$K_2$  - при катодному захисту;

$$K_3 = \frac{\Delta m_1 - \Delta m_2}{I_n}, \quad (1.2)$$

$\Delta m_1$  - втрата маси металу в корозійному середовищі без захисту;

$\Delta m_2$  - то ж, при катодному захисту;

$I_n$  - катодна густина струму [28].

### Критерії захисту

Для досягнення максимального захисту від корозії необхідно безперервно контролювати захисну конструкцію, що захищається: визначати втрати маси контрольних зразків, включених в загальний захист споруди. Однак цей метод трудомісткий і неефективний. На практиці контролюють величину захисного потенціалу "трубопровід-грунт".

Катодна поляризація конструкції супроводжується додатковим зміщенням потенціалу конструкції в від'ємну сторону за рахунок збільшень концентраційної поляризації по кисню, що призведе до збільшення ефективності катодного захисту.

## Проектування захисту трубопроводів

При проектуванні необхідно мати наступні вихідні дані: параметри трубопроводу; питомий опір ґрунтів уздовж траси на глибину до 2 метрів з інтервалами зміни питомого опору ґрунтів, профіль траси, відстані до найближчих споруд уздовж траси (по 5 км по обидві сторони від труби); відомості про наявність блукаючих струмів уздовж траси трубопроводу та перспективи їх виникнення, дані про наявність захисної ізоляції на трубопроводі (опір і провідність ізоляції).

Маючи всі вихідні дані для проектування катодного захисту (після їх аналізу), виконують такі дії:

- вибирають джерело струму;
- розраховують анодне заземлення;
- розраховують з'єднання кабелів;
- розраховують економіку і кошторис витрат.

Проектування захисту від корозії складних об'єктів здійснюється за СНиП 11-01-95, сучасний аналог ДСТУ 4219-2003 [29, 30].

Він передбачає здійснення проектних робіт в дві стадії:

- перша - "Проект";
- друга - "Робоча документація"

Для проектування не складних об'єктів у відповідності з вищевказаним СНиП допускається проектування в одну стадію - "Робочий проект".

При проектуванні захисту підземних трубопроводів від електрохімічної корозії на стадії "Проект" дозволяється проводити розрахунки кошторисної вартості за укрупненими показниками. У випадку розрахунку лише катодного

захисту використовується вартість однієї катодної установки, що дозволяє спростити розрахунки.

Анодне заземлення служить для подачі струму в ґрунт при захисті підземної споруди. До анодного заземлення пред'являються такі вимоги:

- мінімальний перехідний опір розтікання струму;
- найбільш довговічний і недефіцитний матеріал;
- простота установки;
- найменша вартість.

#### Матеріали анодного заземлення

Принципово заземлювач може бути виготовлений з будь-якого струмопровідного матеріалу: металу, графіту, вугілля тощо. Але найбільшого поширення через дешевизну набули заземлювачі зі сталі. Це пояснюється тим, що в практичних умовах майже завжди можна знайти сталь - у вигляді старих труб, рейок, куточків, двотаврового прокату - і використовувати їх для анодних заземлень. Недолік заземлювачів з чорного металу полягає в порівняно швидкому руйнуванні.

Для зниження втрат металу анодні заземлення встановлюють в неагресивні електропровідні засипки з подрібненої і утрамбованої коксової засипки. У деяких випадках застосовують відходи електродного виробництва - графітову крихту .

Відтік електричного струму в ґрунт з пресованої коксової засипки (рисунок 1.1) не викликає розчинення поверхні засипки.

Характер електрохімічних процесів, що протікають на поверхні анодного заземлювача, залежить від кількості вологи в елеронному шарі заземлювача, що визначається вологістю ґрунтів.

В засипці не повинно бути вільного ґрунтового електроліту. В іншому випадку на поверхні заземлювача з'являється струм іонної провідності, і сталевий електрод починає руйнуватися (рисунок 1.1 г).

З цієї причини в ґрунтах насиченою вологості (для корінних пісків - 20%, суспензій - 25%, суглинків 30%), де з поверхнею сталевого електрода контактує ґрунтовий електроліт, застосування коксової засипки неефективно. Сталеві електроди руйнуються з тією ж швидкістю, що і без засипки.

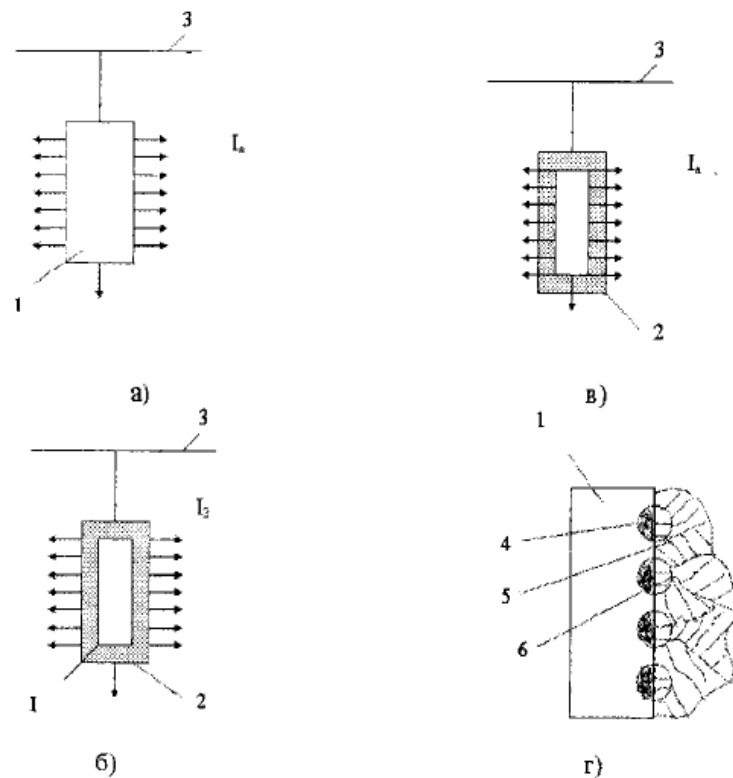


Рисунок 1.1 – Схема розтікання струму на одиничному вертикальному анодному заземлювачі, встановленому безпосередньо в ґрунт (а), в засипку в мало вологих ґрунті (б), в ґрунті насиченою вологості (в) і утворення джерел корозії заземлювача (г): 1 - заземлювач; 2 - засипка; 3 - з'єднувальний провід; 4 - джерело руйнування заземлювача; 5 - частці засипки; 6 - ґрунтовий електроліт.

Для вологих ґрунтів інтенсивність руйнування сталевих електродів в коксовій засипці визначається електрохімічним еквівалентом для сталі в коксі,



який в 1.5-2.0 рази нижче, ніж для сталі в ґрунті залежно від густини анодного струму.

Таблиця 1.1 – Основні технічні характеристики матеріалу електродів анодного заземлення

Матеріал	Щільність, г/см <sup>3</sup>	Густина анодного струму, А/м <sup>2</sup>	Розчинність матеріалу, кг/А рік	
			Без коксової засипки	З коксовою засипкою
Залізо	7,8	10 – 50	9 – 10	5
Графіт	1,6 – 2,1	8 - 30	0,9 – 1,2	0,2 – 0,5
Ферросилід	7,0 – 7,2	10 - 50	0,2 – 0,6	0,12 – 0,2
Титан	4,5	100 - 800	$1,10^{-5}$	–
Еластомер			0,5	0,3

Для забезпечення однакової густини струму і рівномірного зносу по всій поверхні анодного заземлювача необхідно створити рівномірну товщину і ступінь трамбування засипки. Ручним способом в траншеї цього досягти практично не вдається.

Вплив глибини закладення на опір розтікання струму вертикальних заземлювачів

Зі збільшенням довжини вертикального заземлювача він починає працювати у все більш стабільних умовах вологості, внаслідок чого знижується його перехідний опір на одиницю довжини. Вертикальні заземлювачі повинні працювати в умовах постійної вологості, що спостерігається на глибині менше замерзання ґрунтів, на цю глибину не поширюється в звичайних умовах промерзання. Як показують експерименти з вимірюванням перехідного опору

трубчастого вертикального заземлювача, залежно від глибини залягання найбільш доцільною можна прийняти глибину закладення 3-4 метра.

Вплив "підсолювання" ґрунту на перехідний опір заземлювача

Для заземлення прагнуть знайти поблизу траси захисної споруди майданчик з найменшим питомим опором, котрий не завжди вдається знайти, то часто штучно знижують опір ґрунту. Найбільш поширеним способом штучного зниження опору заземлювача є "підсолювання", яке, крім того, знижує температуру замерзання навколишньої вологи. Звичайні способи "підсолювання" полягають в наступному.

При першому способі виринають шурф глибиною, яка дорівнює одній третій довжини заземлювача і діаметром 500 мм. У дно шурфу на необхідну глибину забивають заземлювач, а навколо нього насипають перемішений шар солі і ґрунту (1-2 см). Кожен шар поливають водою з розрахунку 1-2 літри на 1 кг кухонної солі. При другому способі "підсолювання" в заземлювач-труба свердлять отвори діаметром 10 мм, розташовані в шаховому порядку по 6 отворів на кожні 20 см довжини заземлювача. Після забивання заземлювача на потрібну глибину всередину труби заливають розчин кухонної солі, складеної з розрахунку 1 кг солі на 1-2 літра води. Розчин просочується через отвори в ґрунт і "підсолюючи" його знижує опір розтікання струму із заземлювача.

Можна вважати, що за "підсолювання" таким способом суглинків опір заземлювача знижується в 1.5 рази, суспензій - в 2 рази і пісків - в 2.5 рази.

Глибинні анодні заземлення

В даний час поряд з анодними заземленнями поверхневого типу отримали широке застосування глибинні анодні заземлення, застосування яких у багатьох випадках дозволяє звести до мінімуму взаємний вплив захищеного від корозії споруди на незахищене. Проблема взаємовпливу виникає в густонаселених

міських районах з великим підземним господарством, на територіях перекачувальних станцій та нафтобаз, де здійснення катодного захисту з цієї точки зору представляє великі труднощі.

Практика експлуатації встановлення катодного захисту, а також спеціальні дослідження показали, що термін служби анодних заземлень встановлених безпосередньо в ґрунт мало залежить від густини струму.

Для сталевих електродів, встановлених в коксову засипку, такого явища не спостерігається, тобто такі анодні заземлювачі працюють стабільно і не вимагають помітної зміни напруги. Крім того, встановлено, що при застосуванні коксової засипки анодні руйнування заземлювачів помітно знижується. Коефіцієнт зниження руйнування анодів змінюється від 1.5 до 2.

Перевагою горизонтального заземлення є:

- легка доступність всіх частин заземлення для огляду;
- порівняно однакові умови роботи для всіх частин заземлення;
- порівняльна простота виконання необхідних земляних робіт.

Вертикальне заземлення виконується у вигляді одного або декількох вертикальних заземлювачів, розташованих в ряд на інтервалах.

Перевагами вертикальних заземлювачів є:

- помітно менші розміри майданчика під заземлення [31].

Істотним недоліком анодів зі сталі є низька стійкість до електролітичного розчинення. Практичний знос сталевих анодів, встановлених безпосередньо в ґрунт, становить  $10 \text{ кг} | (\text{А} \times \text{год})$  і на одну захисну установку з електро-віддачі 15 А потрібно близько 1,5 тон сталі, щоб забезпечити 10-річний термін служби [32].

Анодний захист застосовується для металів, котрі можуть переходити, в так званий, пасивний стан. Це головним чином, нержавіючі і вуглецеві сталі в концентрованих кислотах, лугах і сольових розчинах.

### Електродренажний захист

Третім різновидом ЕХЗ є електродренажний захист, що використовує в якості катодного струму блукаючий струм рейкового електротранспорту. Блукаючий струм є частиною тягового струму електропоїзда або трамвая. Так як рейки є провідником тягового струму і вони не ізольовані від землі, то частина струму протікає в землі недалеко від рейок і може потрапити на сусідні трубопроводи. Стікаючи потім з трубопроводу, блукаючий струм викликає електролітичне розчинення металу. Якщо весь блукаючий струм відводити (дренувати) з трубопроводу, то струм всюди буде тільки натікати, що і забезпечить ефект захисту.

Найпростіша електродренажна установка - кабельна перемичка між трубопроводом і рейками. Величина струму в перемичці буде визначатися різницею потенціалів труба-рейки в точках їх з'єднання. Блукаючий струм виконуватиме свої захисні функції, якщо потенціал рейок менше потенціалу трубопроводу. У цьому випадку струм по перемичці направлений з трубопроводу в рейки, а не в землю.

У 1895 р в патенті № 538755, виданим Уоткінсу, описується ймовірно вперше пристрій, який зараз ми називаємо «дренажний перетворювач». (відведення блукаючих струмів із газопроводу на джерела їх виникнення ) Перші неприємності з блукаючими струмами на трубопроводі були зафіксовані в 1887 р в Брукліні поблизу новітньої трамвайної лінії. Цим ознаменувався початок ери трамвая [33].

## Протекторний захист

У 1824 р Гемфрі Деві запропонував захистити мідну обшивку корабля за допомогою прикріплених до неї залізних (або цинкових) блоків при співвідношенні поверхонь заліза і міді 1: 100. Як ми тепер називаємо, Х. Деві вперше запропонував протекторний захист - різновидність електрохімічного захисту (рисунок 1.2).

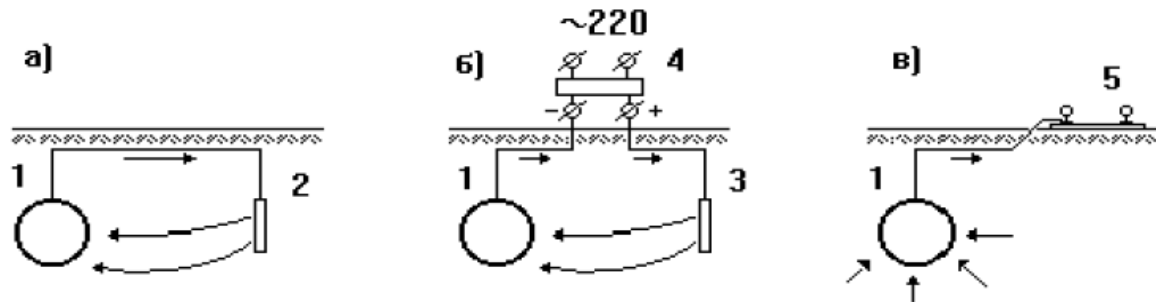


Рисунок 1.2 – Схеми протекторного (а), катодного (б) і електродренажного (в) захисту трубопроводу: 1 - трубопровід; 2 - протектор; 3 - анодний заземлювач; 4 - випрямляч змінного струму; 5 - рейки електро-транспорту.

Дійсно, швидкість корозії мідних листів помітно впала, але захищена мідь стала обростати морськими організмами, що помітно знизила швидкість судна і Британське Адміралтейство відкинуло цю ідею. Лише після того, як дерев'яні кораблі з мідною обшивкою були замінені сталевими судами, протекторний захист за допомогою цинкових пластин став традицією.

Протекторний захист - електрохімічний захист за допомогою струму гальванічної пари.

Сучасні протекторні матеріали - це сплави на основі магнію або алюмінію, рідше цинку. Всі вони відрізняються від сталевих захисних споруди своїм електрохімічним потенціалом, а саме їх потенціал більш від'ємний. Завдяки різниці потенціалів в гальванічній парі виникає струм, який стікає з анода (більш електро-від'ємного електрода) і натікає з електроліту на катод. Створення стікаючого струму - мета електрохімічного захисту.

## Комплексний захист

У переважній більшості випадків застосовують електрохімічний захист спільно з захистом ізоляційними покриттями. Спроби використовувати ЕХЗ для неізольованої споруди приведуть до невиправданих витрат електроенергії і анодного матеріалу [33].

Отже виходячи з важливості безпеки транспортування природного палива існуючою системою, залишається відкритим питання сто відсоткового корозійного захисту трубопроводів на всіх етапах транспортування.

Найбільш дієвим активним методом захисту газотрубних систем від ґрунтової корозії та блукаючих струмів є катодний захист. В цьому випадку переважно корозійні процеси та руйнування металу протікають на анодних заземлювачах, які в багатьох випадках мають експлуатаційний термін 5-10 років, через розчинність. Цьому руйнівному фактору також сприяє деградація металу анодів через те, що в якості аноду вибирають експлуатовані труби, які мають певну ступінь деградаційної пошкоджуваності. Але в багатьох випадках аноди вимушено виводять з експлуатації через зростання електричного опору в системі: метал аноду-ґрунт, а в випадку використання коксової засипки зовні аноду в системі: метал аноду-коксова засипка-ґрунт. На певний час експлуатацію можна подовжити шляхом збільшення напруги на аноді, але це викликає необґрунтовані економічні витрати за тривалої експлуатації станцій катодного захисту [34].

## Розділ 2. Методи дослідження та обладнання

### 2.1 Об'єкти дослідження

Об'єктом дослідження є деградація трубних сталей магістрального газопровіду і анодних заземлювачів. Останні були виготовлені з того ж металу, що і труби газопровіду, але перед тим вони пропрацювали тривалий час в складі газопровіду як магістральні труби

За предмет дослідження приймаються закономірності зміни механічних характеристик придатних для оцінювання ступеня деградації сталей.

Досліджено труби газопровіду зі сталі Сталь 20 Ду273 з товщиною стінки 8 мм. Для виготовлення анодів використано труби тієї ж марки сталі Ду159 з товщиною стінки 6 мм. Перед тим труби анодів 20 років експлуатувалися в складі газопроводу, а потім були порізані на ділянки довжиною 20 метрів. Хімічний склад та механічні властивості матеріалів труб у стані поставки приведені в таблицях 2.1 та 2.2.

Таблиця 2.1 – Механічні властивості матеріалу труб у стані поставки

№ ділянки/зразка		$\sigma_b$ МПа	$\psi$ %	$\delta$ %	кcu $10^5$ Дж/м <sup>2</sup>	НВ
0	1	484	73,0	31,3	23,52	143
	2	453	65,0	30,0	23,52	143

Таблиця 2.2 – Вміст водню в стані поставки

№	н/п	m <sub>z</sub> , г	C <sub>H<sub>2</sub></sub> <sup>200</sup> , см <sup>3</sup> /100г Ме	C <sub>H<sub>2</sub></sub> <sup>800</sup> , см <sup>3</sup> /100г Ме	ΣC <sub>H<sub>2</sub></sub> , см <sup>3</sup> /100г Ме
1	2	3	6	7	8
0	1	7,1841	0,0432	0,0623	0,1055
	2	7,1156	0,0343	0,0479	0,0822
	3	7,1952	0,1349	0,0884	0,2233

## 2.2 Дослідження механічних характеристик

### 2.2.1 Методика досліджень сталей на удар за нормальної температури.

Різні матеріали при їх використанні в вигляді виробів піддаються як статичному, так і динамічному навантаженню. Для визначення умови виникнення крихкого стану і оцінки поведінки матеріалу в умовах підвищеної швидкості деформації проводять динамічне випробування.

Динамічне випробування – це випробування, під час яких швидкості навантаження більше 10 мм/хв або коли навантаження супроводжується ударом.

Випробування за такої швидкості навантаження дозволяють визначити динамічні властивості матеріалу, серед яких найбільш істотне значення має ударна в'язкість, характерна схильність матеріалу до крихкого руйнування.

Ударна в'язкість – це схильність матеріалу при динамічних випробування протидіяти впливу згинаючим навантаженням. Одиниця виміру КС – Дж/м<sup>2</sup>.

Залежно від виду концентратора напруження ударну в'язкість позначають:

- КСУ – U-образний надріз з радіусом r = 1мм (рисунок 2.1 а);
- КСV – V-образний надріз з радіусом r = 25мм і кутом 45° (рисунок 2.1 б);
- КСТ – T-образний з втомною тріщиною (рисунок 2.1 в).



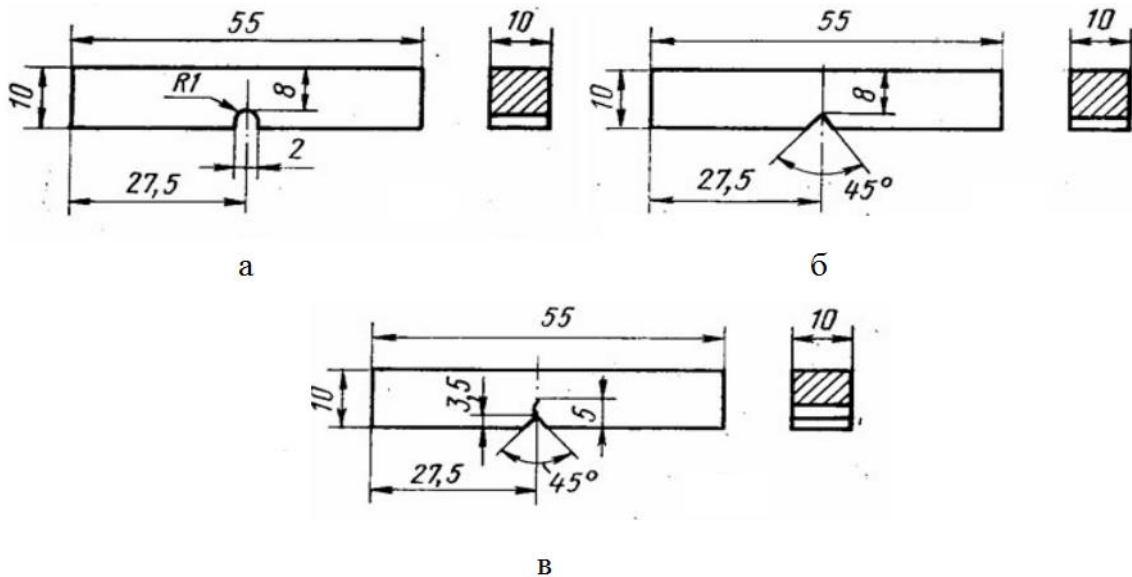


Рисунок 2.1 – Зразки для випробування на ударну в'язкість

За стандартом визначення ударної в'язкості проводиться на маятникових копрах.

В розрахунках обробки результатів експерименту величина ударної в'язкості  $KС$  визначається як відношення роботи, використаної на руйнування зразка при випробуванні на двоопорний ударний згин до площі його початкового поперечного перерізу в місці концентрації напруження:

$$KС = \frac{K}{S_0}, \quad (2.1)$$

де  $K$  – робота, яка витрачена на руйнування зразку, Дж

$S_0$  – початкова площа поперечного перерізу зразка в місці концентратора,  $\text{см}^2$ .

$S_0$  розраховується за формулою:

$$S_0 = H_1 \cdot B \quad (2.2)$$

де  $H_1$  – початкова висота робочої частини зразка, см;

$B$  – початкова ширина зразка, см.

Іспити на удар проводились методом Шарпі за ГОСТ 9454-78 на копрі МК-30а.

### 2.2.2 Методика досліджень сталей на розтяг за нормальної температури

Одним з найпоширеніших і основних видів випробувань матеріалів сталей на міцність є випробування на розтяг. Воно дозволяє не лише судити про поведінку матеріалу в процесі випробування, а, отже, і в процесі роботи, але і визначити ряд найважливіших механічних характеристик.

Для проведення випробування на розтягування використовують стандартні зразки (рисунок 2.2).

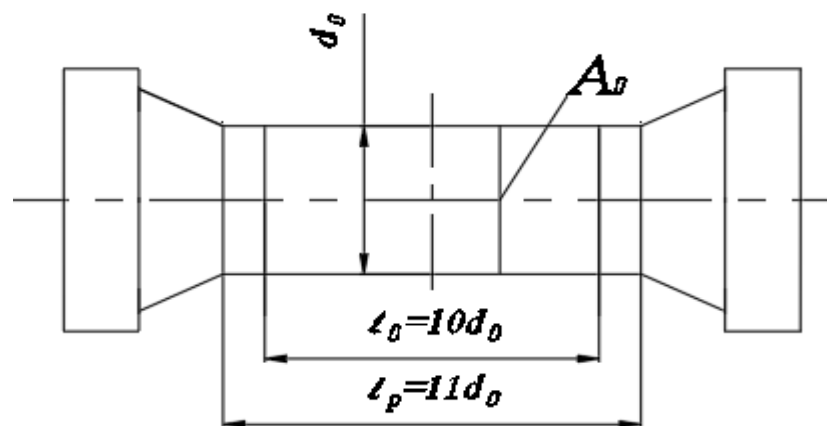


Рисунок 2.2 — Стандартні зразки для випробування на розтяг.

Зразок має робочу  $l_p$  і розрахункову  $l_0$  довжину, які залежать від розмірів поперечного перерізу зразка (діаметру робочої довжини  $d_0$  круглого зразка або площі поперечного перерізу  $A_0$ ).

Форма і розміри голівок (потовщень по кінцях зразка) вибираються залежно від зацеплень випробувальної машини.

Механічні дослідження на розтяг велись на стандартних зразках діаметром 5мм. Испити на розтяг проводились на розривній машині ИМ – 4Р за ГОСТ1497-84 і ГОСТ 10006-80.

Умовна границя текучості  $\sigma_{0,2}$  – напруження, при якому зразок отримує залишкове (пластичне) видовження, яке дорівнює 0,2% своєї розрахункової довжини визначається за формулою:

$$\sigma_{0,2} = \frac{F_{0,2}}{A_0}, \quad (2.3)$$

де  $F_{0,2}$  – навантаження, які викликають залишкове (пластичне) видовження, що дорівнює 0,2%, (Н);

$A_0$  – первинна площа поперечного перерізу, (м<sup>2</sup>).

Повне руйнування зразка і його напруження розраховується за формулою:

$$\sigma_b = \frac{F_{разр}}{A_1} \quad (2.4)$$

де  $A_1$  – площа поперечного перерізу в найтоншому місці шийки після розриву (м<sup>2</sup>).

Після проведення випробування і вимірів розмірів зразка проводяться розрахунки, в результаті яких визначаються характеристики пластичності: відносне залишкове видовження  $\delta_r$  і відносне залишкове звуження при розриві  $\psi_r$ .

Відносне залишкове подовження при розриві:

$$\delta_r = [(l_1 - l_0) / l_0] \cdot 100\%$$

де  $l_1$  – довжина зразка після розриву;

$l_0$  – довжина зразка до навантаження.

Відносне залишкове звуження при розриві:

$$\psi_r = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \cdot 100\% \quad (2.6)$$

### 2.2.3 Механічні, металографічні і інші дослідження

Вирізку зразків з поковок вели на фрезерному верстаті з застосуванням охолоджуючої речовини. Чергові операції з виготовлення циліндричних зразків із поковок і прутка вели на токарному верстаті. Кінцеву доводку до необхідної чистоти проводили на круглошліфувальному верстаті моделі 312М алмазними кругами з застосуванням охолоджуючої речовини.

Кінцеву доводку плоских зразків на ударну в'язкість виконували на плоскошліфувальному верстаті типу 3171. Точність виготовлення зразків відповідала указаним допускам.

Вимір геометричних характеристик проводили штангенциркулями, що відповідають ГОСТ 166-89, мікрометри відповідають вимогам ГОСТ 6507-90.

Металографія зразків проводилась на мікроскопі НЕОФОРТ-21, з послідуною обробкою результатів в програмі Ресурс С-7. Хімічний склад металу та домішок визначався приладом SPECTROPORT.

Для дослідження вмісту водню в металі труб використовувалась спеціально розроблена в Фізико-механічному інституті ім. В. Г. Карпенка НАН України установка. Спочатку визначалась частка низькоенергетичного водню, що виділився з металу за температури 200°C, а потім високоенергетичного за температури 800°C. Сумарна кількість водню визначалась як сума складових. Для кожної ділянки трубопроводу досліджувалось 3 зразка.

Вимір опору ґрунту проводився приладом Ф4103-М1. Електрохімічних характеристики знімалися за допомогою ПИ-1.

### Розділ 3. Дослідження змін механічних характеристик під час тривалої експлуатації

Проаналізовані зміни механічних характеристик металу труб газопроводу і ступінь наводнювання окремих його ділянок. Труби, що знаходилися в експлуатації тривалий час, були виготовлені зі сталі Сталь 20. Для досліджень обрано труби Ду273 з товщиною стінки 8 мм.

Для досліджень були вибрані фрагменти трубопроводу, що знаходилися під захистом тієї ж самої катодної станції, але на різній відстані від неї. Були проведені металографічні дослідження.

Металографічні дослідження труби газопроводу Ду273 проводились для металу в стані поставки (0, також зразки вирізались з труб на відстані 0,5 км від катодної станції (1), на відстані 8 км (2) і на відстані 15 км (3). На момент поставки метал труб мав ферито-перлітну мікроструктуру, за шкалою 7 ГОСТ 8233 зміст перліт/ферит відповідав співвідношенню 35/65. За час експлуатації відбулось розкладання перліту і для всіх зразків незалежно від відстані співвідношення перліт/ферит стало відповідати 20/80, що свідчить про суттєві деградаційні процеси в металі труб. На момент поставки розмір зерна металу відповідав 9-10 балам за ГОСТ 5639. Після тривалої експлуатації у зразків з ділянок 1 і 3 він змінився до 6-7 балів, а у зразків з ділянки 2 - до 8-9 балів. У всіх металів по тривалій експлуатації відзначаються на границях феритних зерен поодинокі прошарки цементиту, у зразків з ділянок 2 і 3 зафіксовані дисперсні карбіди біля границь зерен, у зразків з ділянок 3 утворилися дисперсні карбіди по фериту. Мікроструктуру металу зразків ділянок 1, 2 і 3 представлено на рисунку 3.1.

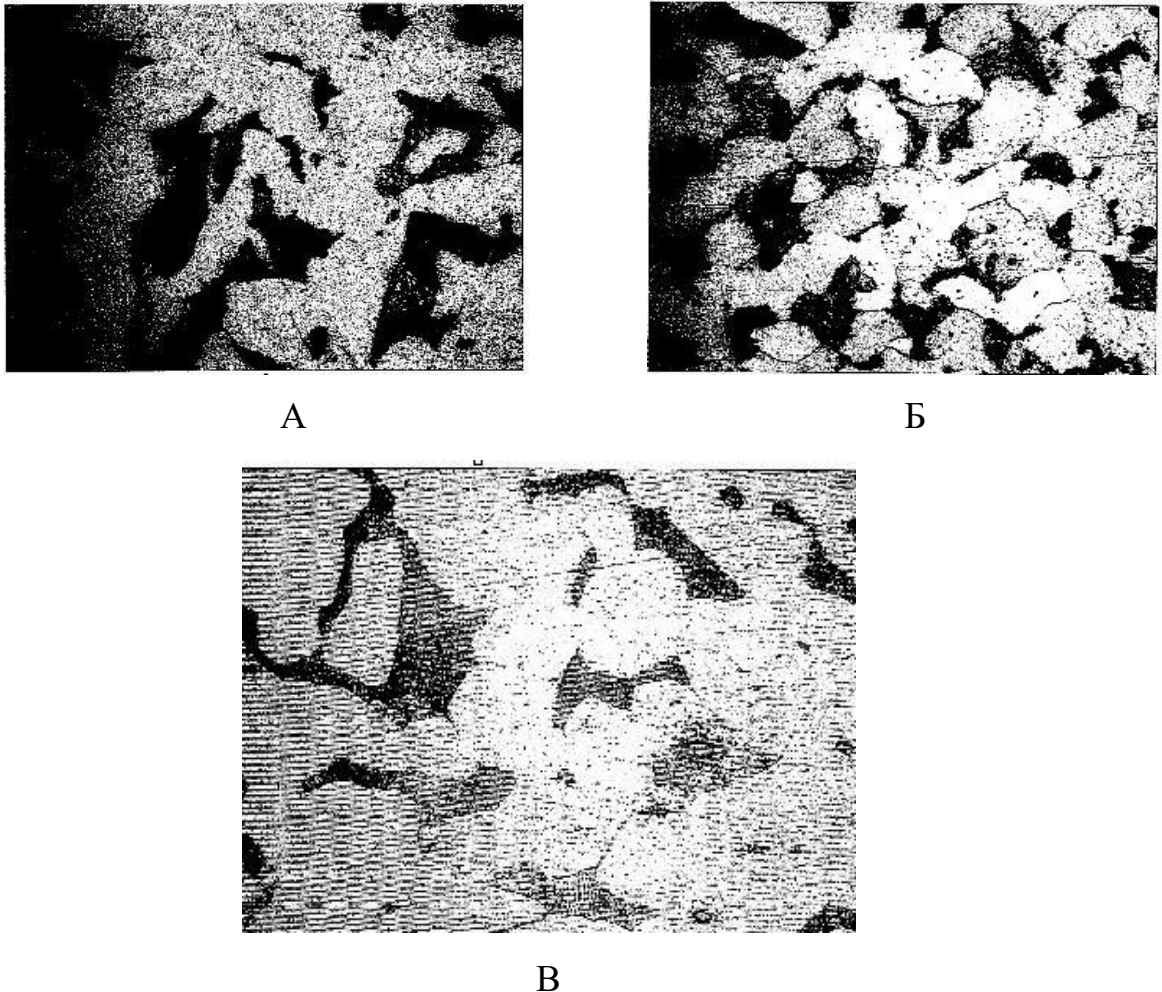


Рисунок 3.1 — Мікроструктура металу на відстані 0,5 км (А), 8 км (Б),  
15 км (В),  $\times 1000$

Корозійні пошкодження внутрішньої поверхні по тривалій експлуатації приблизно однакові на всіх ділянках і знаходяться в інтервалі значень 0,2 – 0,25 мм. На зовнішній поверхні глибини виразкової корозії для зразків 1, 2 і 3 відповідно склали до 2мм, 0,4 мм і 0,7 мм.

В цілому металографічні дослідження довели, що за час експлуатації зі структурою металу відбулись значні зміни, що проявилось в зміні розміру зерна, розкладанні перліту, утворенні карбідів по фериту і біля границі зерен.

Результати дослідження механічних характеристик труби запасу і зразків, вирізаних з труб на ділянках 1, 2, 3, надані в таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Результати дослідження механічних характеристик труби запасу і зразків, вирізаних з труб

№ ділянки/зразка		$\sigma_b$ МПа	$\psi$ %	$\delta$ %	кcu $10^5$ Дж/м <sup>2</sup>	НВ
0	1	484	73,0	31,3	23,52	143
	2	453	65,0	30,0	23,52	143
1	1	484	63,0	23,3	19,6	143
	2	492	63,0	22,0	22,54	143
2	1	475	59,0	33,0	18,62	143
	2	490	59,0	33,0	20,77	143
3	1	470	65,0	33,0	16,27	137
	2	470	66,0	30,0	14,7	137
Ст20 ГОСТ 550-75		$\geq 431$	$\geq 50$	$\geq 22$	$\geq 7,64$	$\leq 150$

Аналіз даних показує, що за час експлуатації механічні характеристики знаходяться в інтервалі допустимих значень. Дещо відрізняються від решти значення ударної в'язкості металу з ділянки 3. Можливо, це пояснюється більшими змінами структури металу, а саме утворенням дисперсних карбідів не лише на границі зерен, а і по фериту. Ударна в'язкість є найбільш чутливою характеристикою до деградації сталей і це може свідчити про початок змін не лише структури, а вже і механічних характеристик. Але поки ці показники не виходять за межі допустимих [35].

В наступному досліді проаналізовано структурні зміни металу труб анодних заземлювачів зі сталі Сталь 20, що експлуатувалися тривалий час в складі станцій катодного захисту трубопроводів. Для досліджень обрано сталеві труби Ду159 довжиною від 20 метрів, що експлуатувались протягом 1÷20,5 років як анод. Результати структурних змін дозволили визначити тенденції деградації сталевих анодних заземлювачів.

Спосіб закладання анодів вертикальний, глибина закладання до 20-30 метрів.

За час експлуатації на аноди подавалось напруження в діапазоні  $(-0,95 \div -1,12)V$ . Зразки вирізались з анодів на глибині не більше 2 метрів від поверхні, напрямок волокон повздовжній.

Механічні характеристики труб аварійного запасу зі Сталі 20 (стан поставки) і після 20 років експлуатації (вихідний стан для експлуатації в якості анода) наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2. – Механічні характеристики труб Ду159 зі сталі Сталь 20

Характеристика	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %	$\Psi$ , %	KCV MJ/m <sup>2</sup>	НВ
Труба аварійного запасу	474	292	35	65	1,23	241
Труба аноду на початок експлуатації	475	269	16	56	1,2	143

Порівняння механічних властивостей сталей труби запасу та анода до початку його експлуатації свідчать, що найбільші відмінності стосуються твердості НВ: 143 НВ для експлуатованого на трубопроводі металу проти 241 НВ для вихідного стану. Така закономірність корелює з нижчою міцністю для експлуатованого стану, однак суперечить порівняльним оцінкам характеристик пластичності  $\delta$  і  $\psi$ , особливо відносному видовженню, яке зазнало істотного зниження після 20,5 років експлуатації. Саме ця невідповідність на користь експлуатаційної деградації сталі і вказує на те, що отримані відмінності не слід пов'язувати з розкидом результатів механічних випробувань різних труб.

Проаналізовано відмінності у механічних характеристиках сталі після різного часу роботи анода. Якщо отримані ефекти пов'язувати лише з експлуатаційною деградацією металу, то в перший рік він знеміцнюється, а далі – зміцнюється (рисунок 3.2 а). На завершенні експлуатації границя міцності  $\sigma_b$



становила 536 МПа, а границя текучості  $\sigma_{0,2}$  – 307 МПа, тобто вони зросли порівняно зі станом сталі на початку експлуатації відповідно на 10,5 та 11,4%.

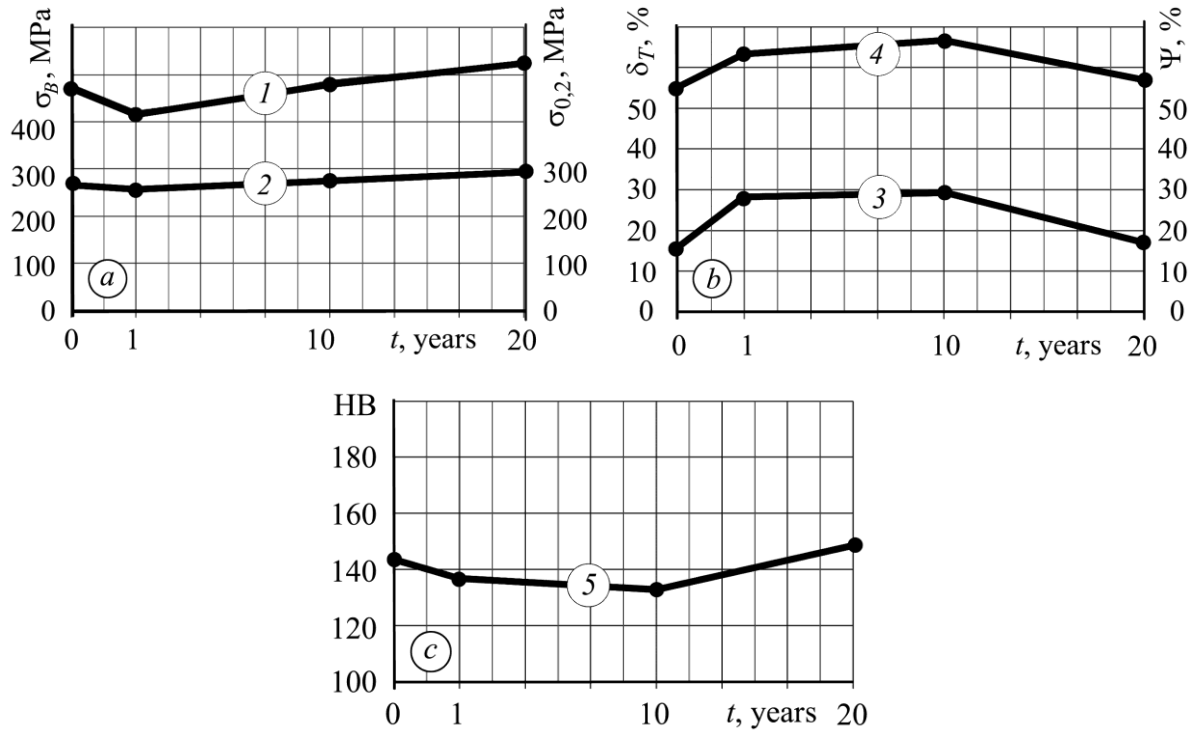


Рисунок 3.2 — Характеристики міцності (a)

і пластичності (b) та твердість (c) сталі анода після різного часу експлуатації:

1 –  $\sigma_B$ ; 2 –  $\sigma_{0,2}$ ; 3 –  $\delta$ ; 4 –  $\psi$ ; 5 – HV.

Поведінка характеристик пластичності протилежна характеристикам міцності, величини  $\delta$  і  $\psi$  у перші 10 років збільшилися на 89 і 33% відповідно, однак на 20-му році практично відповідали значенням, властивим анодам до експлуатації (рисунок 3.2 b). Щодо твердості (рисунок 3.2 c), то вона не завжди корелювала з характеристиками міцності (рисунок 3.2 a). Так, для періоду експлуатації анода 1...10 років металу властива тенденція до зростання міцності за одночасного зниження твердості.

Зазначимо можливі причини зміни механічних властивостей сталі експлуатованого анода, яка попередньо впродовж 20,5 років зазнавала сумісної дії механічного навантаження та корозивно-наводнювального середовища. Насамперед

це пластична деформація, принаймні на мікрорівні. В результаті тривалого наводнювання металу в ньому міг зберегтися дифузійно нерухомий водень. Цьому могли сприяти утворені в стінці труби дефекти нано- та мікрорівня, а показник такої пошкодженості – різке зниження твердості. Тривало експлуатованому металу зазвичай властиві залишкові напруження, які також впливають на його механічні властивості.

Вказані чинники впливатимуть і за подальшої експлуатації сталей вже як анодів. По-перше, повільно, але виходитиме з металу водень, який знаходився в дефектах під високим тиском. По-друге, відбуватимуться релаксаційні процеси, пов'язані зі зниженням внутрішніх напружень. Це підтверджують [36] зміни в стані металу труб запасу впродовж їх тривалого зберігання. Попередньо пластично деформований метал чутливий до деформаційного старіння, коли вільний вуглець осідає на дислокаціях. Відповідно наведені результати важливі для розуміння процесів, які призводять до зміни стану попередньо експлуатованих трубних сталей, які в подальшому можна використовувати на менш відповідальних об'єктах, однак за сумісної дії напружень та агресивного середовища [37].

При мікроструктурних досліджень було виявлено в'язкий характер зламу, неметалеві включення у вигляді оксидів точкових 1 бал і силікатів, що не деформуються 1 бал. Розмір зерна відповідає 7-8 балу. Форма перліту тонкопластинчаста і зерниста, перліт складає 35%, ферит 65%. По границях зерен відмічаються дисперсні карбіди (рисунок 3.3). Мікротвердість складала 200 кг/мм<sup>2</sup>.

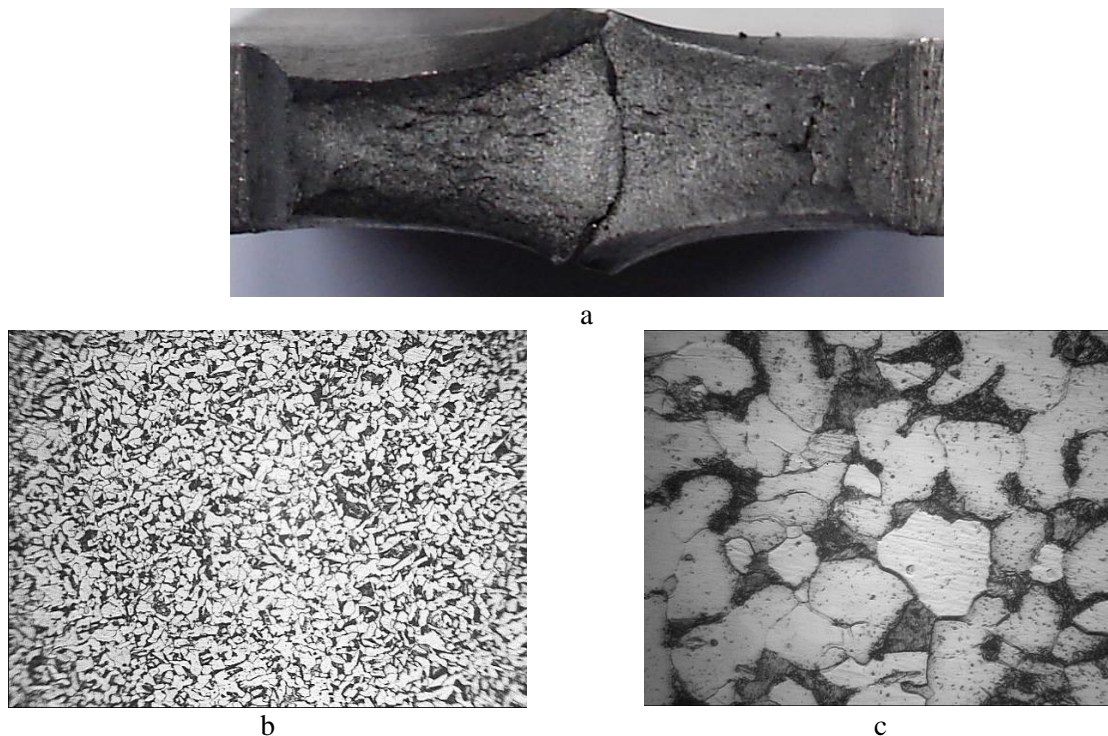
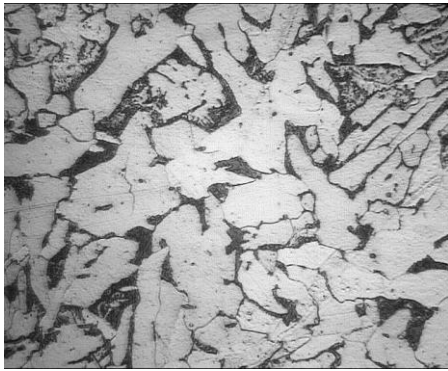


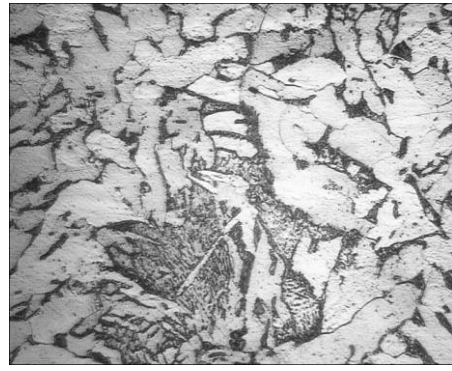
Рисунок 3.3 — Характер зламів зразків на ударну в'язкість після 20-ти років експлуатації в складі газопроводу (а) і мікроструктура зразка (b,  $\times 100$ ; c,  $\times 1000$ )

Аноди, що досліджувалися після 1 року експлуатації були явно з іншої партії поставки. Лише ці аноди мали бал зерна 9-10 за ГОСТ 5639-82, тоді як всі інші мали бал 7-8. Решта анодів були виготовлені з труб однієї партії поставки.

Мікроструктура металу анода заземлення після 1-го року експлуатації ферито-перлітна. Виявлено загальну та виразкову корозію зразків глибиною зі зовнішньої поверхні до 1,1 мм; з внутрішньої – до 0,35 мм. Перліт тонкопластинчастий і зернистий. Мікроаналіз показав, метали труб забрудненні неметалевими включеннями: оксидами – 1-2 бали і сульфідами – 1 бал (рисунок 3.4).



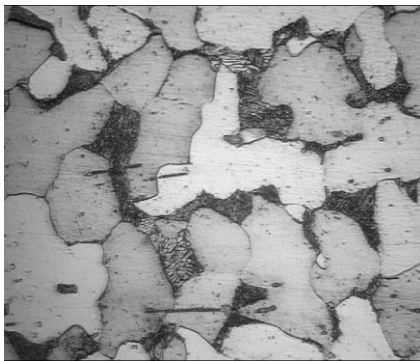
а



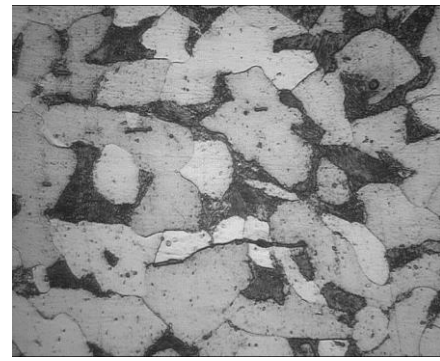
b

Рисунок 3.4 — Мікроструктура металу аноду після 1-го року експлуатації у поздовжньому перерізі (а,  $\times 1000$ ) і в поперечному перерізі (b,  $\times 1000$ )

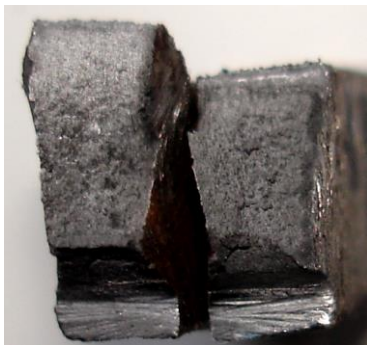
Злами зразків на ударну в'язкість металу аноду після 1-го року експлуатації мають дрібнокристалічний характер. Виявлено перліт зернистий переважно по границях зерен (рисунок 3.5), мікротвердість складала  $221 \text{ кг/мм}^2$ .



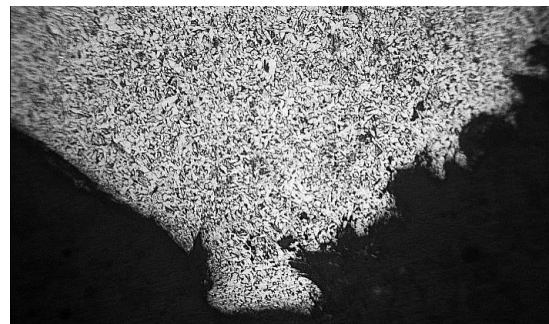
а



b



с



d

Рисунок 3.5 — Мікроструктура (а, b  $\times 1000$ ) і характер зламів зразків на ударну в'язкість металу аноду після 1-го року експлуатації (с) і лінія злому зразка (d,  $\times 100$ )



Досліджень металу анода після десятирічної експлуатації виявили ферито-перлітну структуру, спостерігається смугастість структурних складових, що дорівнює 1 балу за шкалою ЗБ ГОСТ5640-68. Перліт складає 30%, ферит 70%, тоді як на момент установки анодів співвідношення перліту і фериту було 35% і 65% відповідно. Характер злому після удару в'язкий. Виявлено загальну та виразкову корозію глибиною зі зовнішньої поверхні до 0,5 мм; з внутрішньої – до 0,9 мм. Перліт тонкопластинчастий (рисунок 3.6). Мікротвердість дорівнювала 206 кг/мм<sup>2</sup>.

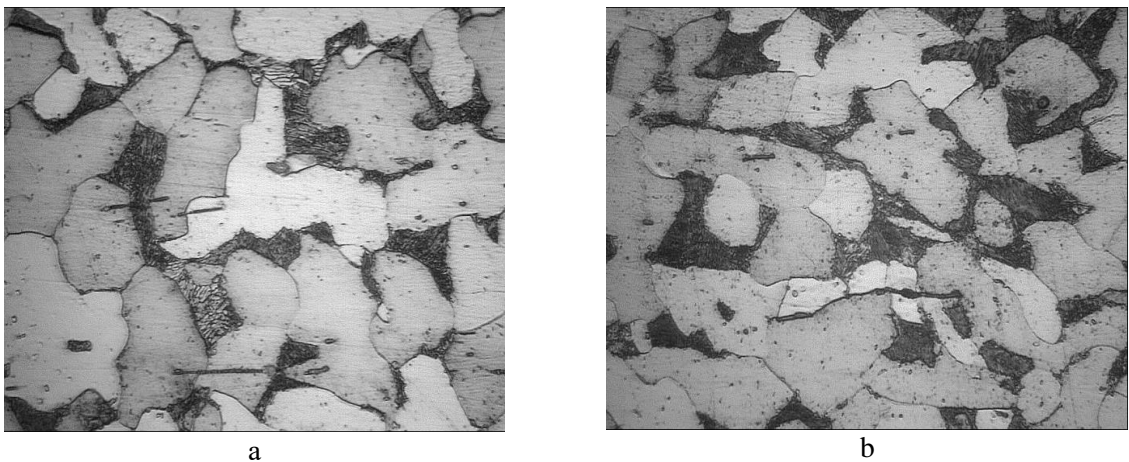


Рисунок 3.6 — Мікроструктура металу аноду після 10-ти років експлуатації у поздовжньому перерізі (а,  $\times 1000$ ) і в поперечному перерізі (б,  $\times 1000$ )

Злами зразків на ударну в'язкість металу аноду після 10-ти років експлуатації мають в'язкий характер руйнування (рисунок 3.7).

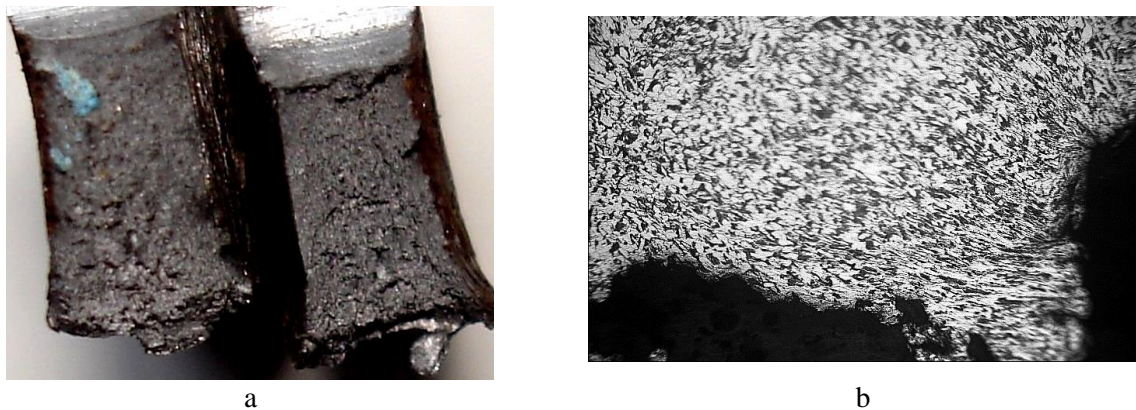
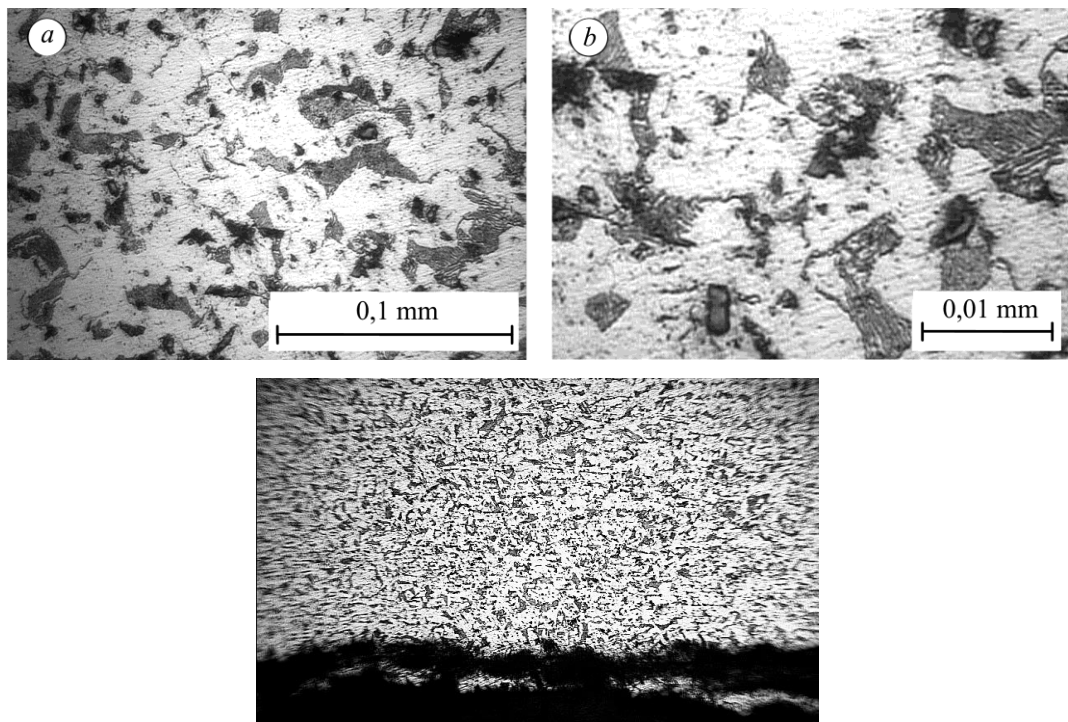


Рисунок 3.7 — Характер зламів зразків на ударну в'язкість металу аноду після 10-ти років експлуатації (а) і лінія злому зразка (б,  $\times 100$ )

Макроаналіз труб анодів заземлення після року та 10-ти років експлуатації показав, що зовнішня і внутрішня поверхні вкриті шаром продуктів корозії, видно виразки корозійного походження різного діаметру.

В структурі зразків анодів заземлення, що пропрацювали 20 років в умовах катодного захисту виявлено забруднення неметалевими включеннями, переважно оксидів точкових 1 бал і силікатів 1 бал. Порівняно з анодами після 10 років експлуатації співвідношення між перлітом і феритом не змінилось і відповідно складало: перліт 30%, ферит 70%, але на границях зерен відмічаються прошарки цементиту. Мікротвердість складала 221 кг/мм<sup>2</sup>.

Характер зламів зразків на ударну в'язкість сухий волокнистий з центральною ділянкою кристалічної будови. Зовнішня і внутрішня поверхня металу піддані загальній і виразковій корозії. Глибина виразок зростає з часом експлуатації і через 20 років назвні труби складає до 1 мм, а на внутрішній поверхні до 0,7 мм (рисунок 3.8).



С

Рисунок 3.8 — Мікроструктура металу аноду після 20 років експлуатації: корозійне ураження поверхні (а,  $\times 100$ ) і розклад перліту (b,  $\times 1000$ )

Хімічний склад металу анодів незалежно від його стану відповідав чинним вимогам до трубних сталей. Структура металу ферит-перлітна, перліт тонкопластинчастий (рисунок 3.9 *a*). Метал забруднений неметалевими включеннями, переважно оксидами FeO, MnO довільної форми та скловидними SiO<sub>2</sub>, які мають витягнуту форму.

Дослідження виявили початкові ознаки розкладання перлітної складової: місцями вона дещо розмита, спостерігали окремі ділянки фериту в межах складової цементиту. Зазначимо, що такий розпад перліту є типовим для високотемпературної експлуатації сталей [38], що пов'язано з високою швидкістю дифузії. Тут інтенсивність дифузії на порядок менша, однак слід брати до уваги, що вона прискорюється не тільки прикладеними напруженнями, особливо градієнтом напружень [39], але і розчиненим у сталі воднем [40], що варто враховувати для періоду експлуатації металу на трубопроводі [37].

Зовнішня і внутрішня поверхні труби піддані загальній і виразковій корозії. Глибина виразок зростає з часом експлуатації і через 20 років становить до 1 мм зовні труби, а на внутрішній поверхні – до 0,7 мм.

В цих дослідів велика увага приділяється вивченню змін характеристик металу труб та анодів на структурному рівні та виявленню їх експлуатаційної деградації, що відбулися під час експлуатації. Та доказали що металеві втрати є стабільними і за різні роки суттєвих їх експлуатації суттєвих змін в зниженні корозійної тривкості не відбулося [34].

На анодах відбулося розкладання перліту з 35% до 30%, також відбулося окрихчення металу, про що свідчить зміна характеристик ізлому при ударі з в'язкого на початок експлуатації на сухий після 20 років експлуатації.

Механічні характеристики труб знаходяться в межах норми, але в деяких ділянках ударна в'язкість найменша. Можливо, це пояснюється більш серйозними змінами структури металу.

#### Розділ 4. Дослідження електрохімічних характеристик металу труб

Предметом досліджень були труби газопроводу Ду273, виготовлені зі сталі Сталь 20. В експлуатації досліджувана ділянка газопроводу знаходилась 51 рік. За цей час газопроводом транспортувався природний газ під середнім тиском 30 кг/см<sup>2</sup>. Як відомо, захисний потенціал певної ділянки трубопроводу, що накладається катодною станцією, суттєво залежить від складу ґрунту, відстані ділянки труби від точки дренажу катодної станції, стану ізоляційного покриття, електричного опору системи анод-ґрунт тощо[41]. Величина потенціалу протягом року може змінюватися внаслідок дії зовнішніх чинників. Для досліджень були вибрані фрагменти трубопроводу, що знаходились під захистом тієї ж самої катодної станції, але на різній відстані від її точки дренажу. Були проведені металографічні дослідження, визначена ступінь наводнювання металу.

В якості анода вивчали труби Ду159 (сталь 20), які відпрацювали у газопроводі високого тиску 20,5 років. Спосіб закладання анодів вертикальний, глибина – до 20...30 м. Температура експлуатації анодних заземлень від +45 до –40°C. За час експлуатації на аноди подавали електричну напругу в діапазоні (–0,95...–1,12) V.

Крім того, досліджувались зміни електричного опору системи анод-ґрунт на анодах, робота яких була поліпшена використанням хімічно активних речовин. Ці речовини були закладені в спеціальній упаковці близько року назад на глибину приблизно двох метрів. Для закладки були використані різні за хімічним складом продукти: аміачна селітра, NaCl, і суміш (Na + K – 32,4%, Ca + Mg – 19,2%, амоній – 8,4%, хлориди – 17,8%, решта CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) [42].

Практика експлуатації станцій катодного захисту довела, що однією з проблем, що виникає з часом, є поступове збільшення електричного опору між анодним заземлювачем і ґрунтом. Проведені дослідження стану металу анодів не виявили значних корозійних пошкоджень зовнішньої і внутрішньої поверхонь.



Наприклад, за 20 років експлуатації труби в якості анодного заземлювача глибина корозії назовні складає до 1мм, а на внутрішній поверхні до 0,7 мм. Таким чином, анодні заземлювачі за своїм фізичним станом могли б і далі експлуатуватися як аноди в складі станцій катодного захисту. Але заміри електричного опору між ґрунтом і анодними заземлювачами показали його зростання в 10 -20 раз.

Отже, експлуатуючі організації вимушені періодично закладати додаткові анодні заземлювачі, які працюють паралельно з уже існуючими. Такі операції досить трудомісткі і потребують: проведення певних попередніх організаційних заходів; буріння технологічних свердловин під глибинні анодні заземлювачі або копки котлованів під закладання підповерхневих анодів; транспортування великої кількості матеріалів (коксового дріб'язку, кабельних з'єднуючих ліній тощо.); перевезення персоналу для ремонту анодних заземлювачів; використання землерійної техніки для закладання з'єднуючих кабельних ліній тощо.

Враховуючи задовільний стан металу анодів було запропоновано замість установки нових заземлювачів поліпшити роботу вже діючих[42]. Для цього необхідно порушати електричні бар'єри в системі анод-кокса засипка-ґрунт, інтенсифікувавши корозійні процеси на аноді. Для досягнення поставленої мети було розташувано біля анодів хімічно активні речовини. Вони були упаковані в мішки з бейтінгу або поліпропілену і закопані на глибину більшу за величину промерзання ґрунту в даній місцевості ( $\geq 2\text{м}$ ).

З метою забезпечення поступового розчинення всі солі мали вигляд гранул. Розчинення відбувалось за рахунок сезонних коливань ґрунтових вод і опадів, а в літній період разово було проведено технологічне обслуговування шляхом заливки анодів технічною водою.

Дослідження електричного опору ґрунту і системи анод-ґрунт показали ефективність використання хімічно активних речовин для зменшення опору в системі анод-ґрунт (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 – Заміри електричного опору ґрунту і системи анод-ґрунт

№ п/п	На момент закладки		Через 7 місяців		Через 9 місяців		Через 10 місяців *		Через 10 місяців після заливки водою **	
	Rгр, Ом	Ра.з., Ом	Rгр, Ом	Ра.з., Ом	Rгр, Ом	Ра.з., Ом	Rгр, Ом	Ра.з., Ом	Rгр, Ом	Ра.з., Ом
1	40	9	48	12	43	11	48/38	11/4,5	23	4
1'	28	22	31,5	14	35	13	31,5/22	13/6,4	24	8
2	41	40	50	22,5	48	21	50/42	40/2,5	23	5
2'	32	20	42,2	11,8	35	12	42,2/29	12/6	22	2
3	30	8,8	30	4,5	36	16	30/20	16/6	24	2
3'	28	7	40	7	51	6	40/25	8/5	22	12

1,1' – NaCl; 2,2' – селітра; 3,3' – Na + K – 32,4%, Ca + Mg – 19,2%, амоній – 8,4%, хлориди – 17,8%, решта CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>;

\* - в чисельнику - дані до заливки водою, в знаменнику – по заливанню водою в той же день;

\*\* - через 10 місяців і 2 тижні після заливання водою;

Rгр – електричний опір ґрунту;

Ра.з. – електричний опір системи анод - ґрунт.

Слід зауважити, що опір ґрунту і системи анод-ґрунт залежить від пори року, кількості опадів та рівня ґрунтових вод. Тому важливо оцінювати величину опору системи анод-ґрунт з урахуванням величини опору ґрунту на момент

проведення відповідного заміру. Установлено, що за час експлуатації протягом року найкращі результати отримано на анодах, біля яких використовувалися закладки з аміачною селітрою і NaCl. Навіть за зростання електричного опору ґрунту, в системі анод-ґрунт опір зменшено, або він залишався приблизно на тому ж рівні. Використання суміші (Na + K – 32,4%, Ca + Mg – 19,2%, амоній – 8,4%, хлориди – 17,8%, решта  $\text{CO}_3^{2-}$ ) в цілому показали ефективність її застосування, але результати поки менш очевидні. Треба відзначити, що ці дослідження розраховані на більш тривалий час, тому остаточні висновки будуть зроблені пізніше з урахуванням швидкості корозії анодних заземлювачів.

Металаграфічні дослідження довели, що за час експлуатації відбулося розкладання перліту, і для всіх зразків зразків, незалежно від відстані, співвідношення перлит/ферит складав 20/80, про що свідчать деградаційні процеси в металі труби. Також відмічаються на границях феритних зерен поодинокі прошарки цементиту, та зафіксовані дисперсні карбіди по фериту. В таблиця 4.2 наведенні результати дослідження вмісту водню.

Таблиця 4.2 – Результати досліджень вмісту водню

№	н/п	m <sub>z</sub> , г	C <sub>H<sub>2</sub></sub> <sup>200</sup> , см <sup>3</sup> /100г Ме	C <sub>H<sub>2</sub></sub> <sup>800</sup> , см <sup>3</sup> /100г Ме	ΣC <sub>H<sub>2</sub></sub> , см <sup>3</sup> /100г Ме
1	2	3	6	7	8
0	1	7,1841	0,0432	0,0623	0,1055
	2	7,1156	0,0343	0,0479	0,0822
	3	7,1952	0,1349	0,0884	0,2233
1	1	7,4592	0,0954	0,0205	0,1159
	2	6,4411	0,0339	0,0167	0,0506
	3	7,0917	0,0996	0,0481	0,1477

## Продовження таблиці 4.2

№	н/п	m <sub>z</sub> , г	C <sub>H<sub>2</sub></sub> <sup>200</sup> , см <sup>3</sup> /100г Ме	C <sub>H<sub>2</sub></sub> <sup>800</sup> , см <sup>3</sup> /100г Ме	ΣC <sub>H<sub>2</sub></sub> , см <sup>3</sup> /100г Ме
2	1	7,0983	0,3894	3,1903	3,5797
	2	7,0945	0,3645	1,0077	1,3722
	3	7,9985	0,0153	0,4689	0,4842
3	1	7,9223	0,2553	0,6902	0,9455
	2	7,2946	0,2354	0,4159	0,6513
	3	7,7534	0,0341	0,6751	0,7092

Установлено, що для ділянок 1 і 3 вміст водню знаходиться в тому ж інтервалі значень, що і для металу в стані поставки. Для ділянки 2 сумарний вміст водню знаходиться в інтервалі значень 0,4842 – 3,5797 см<sup>3</sup>/100г (0,4361 -3,225 ppm), що є в межах допустимого для даної сталі, але значно більше, ніж на інших досліджених ділянках.

Результати досліджень електрохімічних характеристик наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Результати дослідження електрохімічних характеристик

№ ділянки	E <sub>роб.</sub> , В	i <sub>кор.</sub> , А/см <sup>2</sup> 10 <sup>4</sup>	E <sub>кор.</sub> , В
0	-	0,79	-0,59
1	-2,4	0,56	-0,615
2	-0,68	1,25	-0,6
3	-0,6	0,99	-0,6

Дослідження електрохімічних характеристик, довело що струм корозії суттєво залежить від удаленості від точки дренажу. Як відомо [43], електрохімічні характеристики більш рано починають відстежувати зародження і протікання деградаційних процесів в металі. Коли зміни структури довели

наявність деградаційних процесів, зміни механічних характеристик, а саме КСУ і в окремих випадках характеристики пластичності, показали напрямок таких тенденцій (зміцнення чи прозміцнення металу), то електрохімічні характеристики дозволяють більш детально проаналізувати залежність ступеня деградації від накладеного захисного потенціалу.

Проведенні дослідження показали, що вміст водню у всіх випадках знаходився в межах норм, але у зразків 2 ділянки значно 2 він значно більший, ніж на сусідніх ділянках.[35,44] Можливо це обумовлено установкою труб з іншої партії поставки, а можливо менш ефективним катодним захистом на цій ділянці .

За період проведених дослідів активація роботи анодних заземлювачів хімічно активними речовинами показала ефективність запропонованого підходу.

Електрохімічні властивості сталей оцінювали потенціодинамічним методом, використовуючи зразки прямокутної форми  $15 \times 10$  mm та товщиною 3 мм. За корозивне середовище слугував 3%-ий водний розчин NaCl. Випробовували за кімнатної температури. Поляризаційні криві отримували на потенціостаті ПИ-2МК-10А, використовуючи триелектродну схему: робочий електрод, хлорид-срібний електрод порівняння і допоміжний – платиновий. Швидкість розгортки потенціалу  $4$  V/h, а частота його реєстрації  $1$  kHz.

Побудувавши поляризаційні криві (рисунок 4.1), не виявили істотних відмінностей між трубою запасу та анодом після 20 років експлуатації. Потенціали корозії і анодний струм розчинення сталі 20 труби запасу та анода практично збігаються [45]. Відповідно відсутні переваги анодів з труб запасу, тому доцільно з економічного погляду використовувати труби, які попередньо експлуатували на трубопроводах.

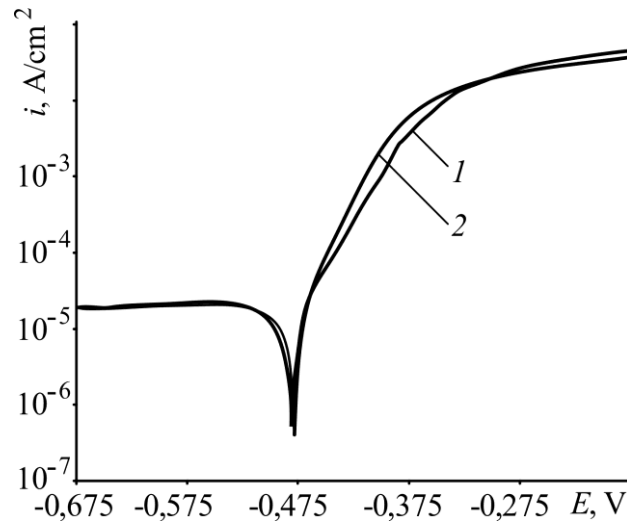


Рисунок 4.1 — Поляризаційні криві сталі 20 у 3%-му NaCl: 1 – труба запасу; 2 – анод після 20 років експлуатації.

Дослідження електрохімічних характеристик сталі показали їх практичну незмінність під час експлуатації, що дає можливість подальшого використання анода за цим критерієм, а обмеження в довговічності сталевих анодів обумовлене зростанням електричного опору між ними і ґрунтом.

## Розділ 5. Техніка безпеки

### 5.1 Загальна техніка безпеки

5.1.1 Дана інструкція розроблена згідно вимог державних санітарних правил та норм ДСанПіН 5.5.6.009-98 "Влаштування и обладнання кабінетів комп'ютерної техніки в навчальних закладах та режим праці учнів на персональних комп'ютерах", затверджених постановою Головного державного санітарного лікаря України 30.12.1998 р. № 9.

5.1.2 Вимоги цієї інструкції з безпеки поширюються на студентів під час проведення навчального процесу в комп'ютерних лабораторіях кафедри машинознавства та обладнання промислових підприємств (МОПП).

5.1.3 До роботи із засобами обчислювальної техніки допускаються особи, які пройшли медичний огляд і інструктаж з питань охорони праці та безпеки життєдіяльності: вступний - при зарахуванні до університету; первинний - перед початком занять в комп'ютерній лабораторії; плановий - при зміні умов виконання навчальних завдань, при порушенні студентами вимог нормативно-правових актів про охорону праці.

5.1.4 Студенти, які не пройшли медичний огляд і інструктаж з питань охорони праці та безпеки життєдіяльності у встановлені терміни, до занять в лабораторіях не допускаються.

5.1.5 Забороняється приступати до роботи із засобами обчислювальної техніки в стані алкогольного, наркотичного та токсичного сп'яніння.

5.1.6 Небезпечними і шкідливими виробничими факторами при роботі із засобами обчислювальної техніки є: електромагнітне і рентгенівське випромінювання; продукти аероіонізації; електростатичне поле між екраном монітора і користувачем.

5.1.7 Дотримання цієї інструкції обов'язково.

5.1.8 Робочі місця студентів при роботі із засобами обчислювальної техніки в комп'ютерних лабораторіях кафедри МОПП повинні бути організовані відповідно до таких вимог:

### 5.1.1 Вимоги до приміщення:

а) приміщення, обладнане комп'ютерною технікою, має мати підлоги з поверхнею, пристосованої до вологого прибирання;

б) площа на одного студента, який працює з персональним комп'ютером, повинна становити не менше  $6,0 \text{ м}^2$ , обсяг - не менше  $20 \text{ м}^3$ ;

в) для оформлення інтер'єру приміщень комп'ютерних лабораторій забороняється застосовувати полімерні матеріали (деревинно-стружкові плити, шпалери, що миються, плівкові і рулонні синтетичні матеріали та інші.), які виділяють в навколишнє середовище шкідливі хімічні речовини, які перевищують гранично допустимі концентрації;

г) вікна повинні мати регульовані жалюзі або штори.

### 5.1.2 Вимоги до освітлення приміщень та робочих місць:

а) приміщення комп'ютерних лабораторій повинно мати природне і штучне освітлення;

б) природне освітлення повинно відповідати вимогам ДБН В 2.2-3-97 "Будинки та споруди навчальних закладів";

в) штучне освітлення в приміщеннях комп'ютерних лабораторій повинно здійснюватися системою загального освітлення; в якості джерел світла при штучному освітленні повинні застосовуватися переважно люмінесцентні лампи;

г) необхідно проводити очищення вікон і світильників не рідше двох разів на рік, а також заміну перегорілих ламп по мірі їх виходу з ладу;

д) необхідно передбачити обмеження прямої блискоти джерел природного та штучного освітлення; заходом захисту від прямої блискоти є правильне розміщення робочих місць відносно джерел світла.

### 5.1.3 Вимоги до мікроклімату:

а) в приміщенні комп'ютерних лабораторій температура повітря повинна бути  $19,5 \pm 0,5^\circ\text{C}$ ; відносна вологість повітря  $60 \pm 5\%$ , швидкість руху повітря не більше  $0,1 \text{ м/с}$ ;



б) для охолодження і очищення повітря від пилу необхідно встановлювати побутові кондиціонери.

#### 5.1.4 Вимоги до обладнання та організації робочого місця:

а) основним обладнанням робочого місця з персональним комп'ютером є монітор, клавіатура, стілець (крісло), робочий стіл, допоміжним - попітр, підставка для ніг та інше;

б) конструкція робочого столу повинна забезпечувати можливість оптимального розміщення на поверхні столу обладнання, при цьому необхідно враховувати його кількість, конструктивні особливості і характер виконуваної роботи;

в) конструкція робочого стільця (крісла) повинна забезпечувати підтримку раціональної пози при виконанні основних операцій, створювати умови для зміни пози з метою зниження статичного напруження м'язів шийно-плечової області і спини та попередження стомлюваності.

#### 5.1.5 Вимоги з електробезпеки:

а) приміщення комп'ютерної лабораторії має бути обладнано автономним контуром захисного заземлення;

б) заземлення персональних ЕОМ здійснюється за допомогою штатного кабелю живлення з заземлювальним провідником і триполюсні розетки;

в) неприпустимо підключення ЕОМ і периферійних пристроїв до звичайної двопровідної мережі, в тому числі з використанням перехідних пристроїв;

г) електричні кабелі не повинні перебувати під ногами працюючих на ПЕОМ. У разі прокладання кабелів по підлозі повинна забезпечуватися їх захист від механічних пошкоджень.

5.1.6 Вимоги щодо пожежної безпеки. У приміщеннях комп'ютерних лабораторій забороняється:

а) користуватися електронагрівальними приладами;

б) встановлювати на вікнах глухі решітки;

в) користуватися відкритим вогнем [46].

### 5.3 Вимоги безпеки перед початком роботи

5.3.1 Переодягтися в спец одяг.

5.3.2 Візуально оглянути справність кабелів живлення, вилок, розеток, цілісність заземлюючих контактів на робочих столах і на контурі захисного заземлення.

5.3.3 Переконатися в достатності освітлення місця роботи.

5.3.4 При виявленні будь-яких несправностей обладнання, інвентарю, недостатності освітлення повідомити про це викладачеві, який проводить заняття або зав. лабораторією.

5.3.5 Перед підключенням обладнання до мережі необхідно перевірити ланцюг захисного заземлення в мережах розетка.

5.3.6 Підключення системного блоку комп'ютера до мережі здійснювати спеціальною розеткою.

5.3.7 Принтери та інші пристрої повинні бути заземлені.

5.3.8 Під час експлуатації електрообладнання необхідно строго керуватися правилами, з технічного паспорта. Слід приділяти увагу електрообладнанню, котре цілодобово працює.

### 5.4 Вимоги безпеки під час виконання роботи

5.4.1 При виконанні роботи на комп'ютері необхідно перебувати в раціональній позі, яка виключає підвищене навантаження на характерні групи м'язів.

5.4.2 Підключати та відключати електрообладнання треба тільки тримаючись за вилку.

5.4.3 Забороняється торкатися електроприладів мокрими та вологими руками.

5.4.4 Забороняється виконувати ремонті роботи на електрообладнанні та електроприладах, що знаходяться у включеному стані. Ремонт приладів повинні виконувати працівники кафедри в окремих приміщеннях.

5.4.5 Забороняється переміщати прилади з місця на місце включені в мережу електроприлади.

5.4.6 Студентам дозволяється працювати на справних приладах, комп'ютерах та іншому електрообладнанні.

5.4.7 Забороняється застосування саморобних пристроїв, які не відповідають вимогам "Правил улаштування електроустановок до переносних електропроводів".

5.4.8 Забороняється залишати без нагляду включені прилади та освітлення.

5.4.9 Забороняється працювати на вимірювальних приладах, комп'ютері при знятому кожусі, з'єднання сполучати ривками, докладаючи зусиль.

5.4.10 Забороняється працювати на вимірювальних приладах, комп'ютерах у вологому одязі, перебувати від монітора на відстані не менше 50 см, перекривати вентиляційні отвори в корпусі системного блоку і приладах, встановлювати на корпус комп'ютера іншу оргтехніку сторонні предмети.

5.4.11 Паливо в лабораторіях заборонено.

5.4.12 Підключення декілька споживачів електроенергії до однією змінного струму забороняється.

5.4.13 Забороняється зміна перегорілих запобіжників «жучками». Необхідно застосовувати калібровані запобіжники заводського виготовлення.

5.4.14 Забороняється захаращувати підступи до електричних пристроїв ( шаф, розеток тощо), також відкривати їх.

5.4.15 При раптовому вимкненні подачі електроенергії всі вимикачі і рубильники повинні бути вимкнені.

5.4.16 Не допускається залишати перевантажувати електромережу, користуватися розбитими розетками та вилками, вимикачами.

5.4.17 Роботи з ремонту апаратури і проведення експериментів на відкритих схемах з небезпечним для життя напругою проводити тільки вдвох.

5.4.18 При роботі з електропаяльником слід використовувати вогнетривку підставку.

5.4.19 При виявленні іскор або характерного запаху слід повідомити керівнику занять, обслуговуючому персоналу.

5.4.20 Приступати до роботи дозволяється після усунення помічених несправностей електрообладнання, стендів.

5.4.21 Приміщення, мають мати автономний контур захисного заземлення.

5.4.22 Обладнання має бути, розташоване, на відстані не менше 1 м від нагрівальних приладів і не повинна бути під впливом сонячних променів.

5.4.23 При проведенні профілактичних ремонтних робіт дозволяється використовувати етиловий спирт.

5.4.24 Забороняється використання бензину, гасу та інших легкозаймистих рідин при проведенні профілактичних ремонтних робіт.

5.4.25 Дозволяється зберігати запас легкозаймистих рідин, що не перевищує 0,5 літра, в неспаленої тарі з щільно закритою кришкою.

5.4.26 При роботі можливі випадки ураження людей електричним струмом. Причинами можуть бути :

- Одночасний дотик руками або металевим предметом до корпусу електрообладнання і оголених дротів;
- Робота на несправному елетроприладу;
- Порушення правил користування електрообладнанням.

## 5.5 Вимоги безпеки після закінчення роботи

5.5.1 Після закінчення роботи вимкнути всі прилади, комп'ютери, стенди.

5.5.2 Вимкнути всі автоматичні вимикачі, відключити подовжувачі мережі 220 V .

5.5.3 Повідомити про закінчення роботи викладачеві, який проводив заняття або зав. лабораторією.

5.5.4 Один раз в квартал проводити очищення від пилу та бруду за допомогою пирососа, щітки і бази вимірювальних приладів, персональних комп'ютерів, макетів, іншого обладнання.

5.5.5 Забороняється проводити очищення від пилу, бруду включене в мережу 220 V електрообладнання.

5.5.6 Спец одяг помістити в спеціально відведене місце.

5.5.7 При виявленні під час роботи і після закінчення несправності повідомити керівнику занять, обслуговуючому персоналу [47].

5.6 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

5.6.1 При виникненні будь-якої аварійної ситуації негайно повідомити про те, що трапилося керівнику, який проводить заняття або зав. лабораторією і діяти тільки за їхньою вказівкою.

5.6.2 При роботі з електрообладнанням і приладами, можливі наступні ситуації:

- Загорання горючих матеріалів;
- Ураження електричним струмом.

5.3 При пожежі :

- негайно знеструмити все обладнання, загальним автоматичним вимикачем;
- негайно евакуювати в безпечне місце постраждалих;
- повідомити службу порятунку по телефону 101;
- видалити в безпечне місце неушкоджені прилади та комп'ютери;
- приступити до гасіння пожежі первинними засобами пожежогасіння;
- довести до відома керівництво інституту про випадок;
- електрообладнання гасити вуглекислотним (ВВ), порошковими вогнегасниками ( ВПУ) або сухим піском;
- гасити обладнання і дроти водою забороняється.

5.4 У разі ураження електричним струмом слід негайно знеструмити електрообладнання і викликати швидку за допомогою телефону 103. Працівники на студенти зобов'язані знати заходи першої медичної допомоги потерпілому при ураженні електричним струмом і вміти надати при необхідності.

5.5 Негайно повідомити про випадок безпосередньо керівнику робіт, завідувачу кафедри [48].

## Висновок

В роботі розглянуті всі засоби захисту магістральних трубопроводів. Найбільш дієвим залишається комбінований захист, застосуванням ізоляційних покриттів та електрохімічного захисту.

В залежності від атмосфери, ґрунту, вологості, тиску корозія впливає по різному. Захист направлений на боротьбу з електрохімічною корозією, яка представляє собою руйнування металу, що супроводжується появою електричного струму.

Металографічні дослідження газопроводу Ду 273 показали, що за час експлуатації відбулося розкладання перліту, незалежно від відстані співвідношення перліт/ферит стало 20/80, хоча його співвідношення на момент поставки відповідало 35/65.

Проаналізовані механічні характеристики свідчать, що в перший рік метал знеміцнюється, а далі зміцнюється. На завершенні експлуатації границя міцності  $\sigma_B$  становила 536 МПа, а границя текучості  $\sigma_{0,2}$  – 307 МПа, тобто вони зросли порівняно зі станом сталі на початку експлуатації відповідно на 10,5 та 11,4%.

Поведінка характеристик пластичності протилежна характеристикам міцності, величини  $\delta$  і  $\psi$  у перші 10 років збільшились на 89 і 33% відповідно, однак на 20-му році практично відповідали значенням, властивим анодам до експлуатації. Щодо твердості, то вона не завжди корелювала з характеристиками міцності. Так, для періоду експлуатації анода 1...10 років металу властива тенденція до зростання міцності за одночасного зниження твердості.

На анодах відбулося розкладання перліту з 35% до 30%, також відбулося окрихчення металу, про що свідчить зміна характеристик злому при ударі з в'язкого на початок експлуатації на сухий після 20 років експлуатації.

Механічні характеристики труб знаходяться в межах норми, але в деяких ділянках ударна в'язкість найменша. Можливо, це пояснюється більш серйозними змінами структури металу.

Крім того, досліджувались зміни електричного опору системи анод-ґрунт на анодах, робота яких була поліпшена використанням хімічно активних речовин.

Установлено, що за час експлуатації протягом року найкращі результати отримано на анодах, біля яких використовувалися закладки з аміачною селітрою і NaCl. Навіть за зростання електричного опору ґрунту, в системі анод-ґрунт опір зменшено, або він залишався приблизно на тому ж рівні. Використання суміші (Na + K – 32,4%, Ca + Mg – 19,2%, амоній – 8,4%, хлориди – 17,8%, решта  $\text{CO}_3^{2-}$ ) в цілому показали ефективність її застосування, але результати поки менш очевидні. Треба відзначити, що ці дослідження розраховані на більш тривалий час, тому остаточні висновки будуть зроблені пізніше з урахуванням швидкості корозії анодних заземлювачів.

За період проведених дослідів активація роботи анодних заземлювачів хімічно активними речовинами показала ефективність запропонованого підходу.

Механічні та електрохімічні характеристики металу знаходяться в межах норми, тим самим показали ефективність застосування катодного захисту трубопроводу.



## Література

1. Il'in S. I. Izmenenie struktury i svoystv trubnoj stali vo vremja dlitel'nyh vyderzhek pod nagruzkoy / S. I. Il'in, M. A. Smirnov, Ju. I. Pashkov [i dr.] // Izvestija Cheljabinskogo nauchnogo centra. 2002. – № 4. – S. 42–46.
2. Nykyforchyn H. M., Kurzydowski K. J., Lunarska E. Hydrogen degradation of steels in long term service conditions / in Book: Environment-induced cracking of materials, vol. 2 “Prediction, industrial developments and evaluations”, ed. by S. Shipilov, Elsevier, 2008. – P. 349–361.
3. Environmentally assisted “in-bulk” steel degradation of long term service gas trunkline / H. Nykyforchyn, E. Lunarska, O. Tsyurulnyk, et al. // Engineering Failure Analysis. – 2010. – V. 17. – P. 624-632.
4. Крижанівський Є. І. Корозійно-воднева деградація нафтових і газових трубопроводів та її запобігання: наук.-техн. посібник в 3-х т. / Є.І. Крижанівський, Г.М. Никифорчин; за ред. В.В. Панасюка. – Івано - Франківськ: ІФНТУНГ. – Т. 1. – 2010. – 457 с.; Т. 2. – 2011. – 447 с.; Т. 3. – 2012. – 432 с.
5. Gabeta G. In-service degradation of gas trunk pipeline X52 / G. Gabeta, H.V. Nykyforchyn, E. Lunarska [etc.] // Фіз.хім. механіка матеріалів. – 2008. – № 1. – С. 88 – 99.
6. Крижанівський Є. І. Деградація матеріалів нафтогазових об'єктів довготривалої експлуатації та шляхи забезпечення їх працездатності / Є.І. Крижанівський // Розроблення родовищ : зб. наук. праць, 2014. – С. 241-253.
7. Окрихчення сталі магістрального нафтопроводу / О.Т. Цирюльник, Г.М. Никифорчин, О. І. Звірко, Д.Ю. Петрина // Фіз.–хім. механіка матеріалів. – 2004. – № 2. – С.126–126. (Embrittlement of the steel of an oil-trunk pipeline / О. Т. Tsyurul'nyk, H. M. Nykyforchyn, O. I. Zvirko, D. Yu. Petryna // Materials Science. – 2004 – 40, №4. – P. 302–304).
8. Експлуатаційна деградація механічних властивостей металу аміакопроводу /О. Г. Архипов, Ю. Я. Ніхаєнко, В. А. Борисенко, М. С. Хома, О.

В. Любимова-Зінченко // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2013. – № 4. – С. 97–102.

9. Горынин Н. В., Тимофеев Б. Т. Старение материалов оборудования атомных электростанций после проектного ресурса // Там же. – 2006. – № 2. – С. 13– 27 (Gorynin I. V., Timofeev B. T. Aging of materials of the equipment of nuclear power plants after designed service life // Materials Science. – 2006.– 42, № 2. – P. 155–169).

10. Nykyforchyn H.M., Kurzydowski K.-J., Lunarska E. Hydrogen degradation of steels in long term service conditions // Environment-induced cracking of materials. Vol. 2: Prediction, industrial developments and evaluations / ed. by S. Shipilov – Elsevier, 2008. – P. 349– 361.

11. Environmentally assisted “in-bulk” steel degradation of long term service gas trunkline / Н. Nykyforchyn, Е. 42 ВІСНИК СХІДНОУКРАЇНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ імені Володимира Даля №4 (228) 2016 Lunarska, O. Tsyurulnyk et al. // Eng. Failure Analysis. – 2010. – 17. – P. 624-632. 12. Оцінка деградації сталей обладнання нафтопереробних і хімічних виробництв / О. Г. Архипов, О. В. Зінченко, Д. О. Ковальов [та ін.]// Металеві конструкції. – 2009. – № 2, Т.15.– С. 115– 122. R

13. Винокурцев Г.Г., Первунин В.В., Крупин В.А., Винокурцев А.Г. В49 Защита от коррозии подземных трубопроводов и сооружений: Учеб. пособие. - Рос-тов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2003. - 124 с.: ил.

14. Авторы : М. В. Кузнецов, В. Ф. Новоселов, П. И. Тугунов, В. Ф. Котов. Противокоррозионная защита трубопроводов и резервуаров [Текст] :учеб. Пособие для физ.- мат. специальностей вузов – 2-е изд., 1992. – 240 с.

15. Н. П. Жук. Коррозия и защита металлов. Расчёты. —М: Металлургия, 1957. — 334 с.

16. Vernon W., Trans. Faraday Soc., 1927, v. 23, p. 113.

17. Коррозия и борьба с ней. Введение в коррозионную науку и технику: Пер. с англ. /Под ред. А. М. Сухотина. – Л: Химия, 1989 – Пер. Изд., США, 1985 – 456 с.: ил.
18. Vernon W., Trans. Faraday Soc., 1935, v. 31, p. 1668
19. Bennett L. H. et al., Economic Effects of Metallic Corrosion in the United States, A Report to the Congress by the National Bureau of Standards, NBS Spec. publ. 511-1, Washington, D. C., 1978.
20. Electrochemical corrosion. [Электронный ресурс]—режим доступа: <http://www.chem1.com/acad/webtext/elchem/ec7.html>.
21. Tomashov N. D., Mikhailovsky Y. N., Corrosion, 1959, v. 15, p. 77t.
22. Ткаченко В. Н. Токи коррозии и защиты трубопроводных сетей : учеб. пособие. Волгоград : ВолгГАСУ, 2004.
23. Дизенко Е. И., Новоселов В. Ф., Тугунов П. И. и др. Противокоррозионная защита трубопроводов и резервуаров. М. : Недра, 1978.
24. Бекман В. Катодная защита : справ. изд. М. : Metallurgy, 1992.
26. Бекман В., Швенк В. Катодная защита от коррозии : справ. изд. М.: Metallurgy, 1984.
26. ГОСТ 9.039-74. Единая система защиты от коррозии и старения. Коррозионная агрессивность атмосферы. Технические требования [Текст]. – Введ. 1974–14–10. – М. : Изд-во стандартов, 1976, 49 с.
27. Теория и технология электрохимических методов защиты от коррозии : [учеб.-метод. пособие] / О. В. Ярославцева, В. М. Рудой, Н. И. Останин, Т. Н. Останина, А. А. Трофимов; [науч. ред. А. Б. Даринцева] ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2016. – 96 с.
28. Кравцов В.В. Коррозия и защита конструкционных материалов. Принципы защиты от коррозии : Учеб. Пособие – Уфа : Изд-во УГНТУ, 199 – 157 с.

29. СНІП 11-01-95. Інструкція о порядку разработки, согласования, утверждения и составе проектной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений. Технические требования [Текст]. – Введ. 1995–07–01.
30. ДСТУ 4219-2003. Трубопроводи сталеві магістральні. Загальні вимоги до захисту від корозії. Технічні вимоги [Текст]. —Прийнятий 2003–12–01, 72 с.
31. Рохманкулов Д. Л., Кузнецов М.В. Гафаров Н. А. и др.; Электрохимическая защита от коррозии в примерах и расчетах. Э46 Том 2. – Уфа: Реактив, 2003.-160 с.
32. Анодное заземление. [Электронный ресурс] — режим доступу <http://pandia.ru/text/80/137/3583.php>
33. Ткаченко В. Н. Электрохимическая защита трубопроводных сетей / Учебное пособие.2-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат,2004.-320с.
34. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля : наук. журнал / відп. ред. к.т.н., доцент Кудрявцев С.О. ; СНУ ім. В. Даля. – Северодонецьк : СНУ ім. В. Даля, 2016. – № 4 (228). – 78 с.
35. Деградація металу газопроводів в умовах катодного захисту. Архипов О. Г., Усов Д. І., Карпюк Л. В., Галабурда Н. І.
36. Крижанівський Є. І., Никифорчин Г. М. Корозійно - воднева деградація нафтових і газових трубопроводів та її запобігання: Наук.-техн. пос. у 3-х т. / Під ред. В. В. Панасюка. – Т. 3: Деградація газопроводів та її запобігання.– Івано-Франківськ: Івано-Франківськ. нац. техн. ун-т нафти і газу, 2012.–432 с.
37. Архипов О. Г. Експлуатаційна деградація трубної сталі анодів заземлення / О. Г. Архипов, Д. О. Ковальов, Д. І. Усов, О. В. Любимова-Зінченко, Т. П. Венгринюк // Фізико-хімічна механіка матеріалів. - 2016. - Т. 52, № 2. - С. 87-91. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/PHKhMM\\_2016\\_52\\_2\\_16](http://nbuv.gov.ua/UJRN/PHKhMM_2016_52_2_16).
38. Андрейків О. Є., Гембара О. В. Механіка руйнування і довговічність матеріалів у водневмісних середовищах. – К.: Наук. думка, 2008. – 346 с.

39. Похмурский В. И., Федоров В. В. Некоторые особенности влияния водорода на магнитные и структурные превращения в переходных металлах и сплавах на их основе // Физ.-хим. механика материалов. – 1981. – № 1. – С. 3–11.

40. Крижанівський Є. І., Никифорчин Г. М. Корозійно-воднева деградація нафтових і газових трубопроводів та її запобігання: Наук.-техн. пос. у 3-х т. / Під ред. В. В. Панасюка. – Т. 3: Деградація газопроводів та її запобігання. – Івано-Франківськ: Івано-Франківськ. нац. техн. ун-т нафти і газу, 2012. – 432с.

41. Защита от коррозии подземных сооружений и промышленных предприятий / Б. Г. Дубровский, С. А. Волотковский, В. Я. Заблудовский/ - Киев: Техника 1979 – 240с.

42. Архипов О.Г. Підвищення ефективність роботи анодних заземлювачів шляхом подання електрохімічних бар'єрів / О.Г. Архипов, Д.І. Усов, Л.В. Карпюк, Н. І. Галабурда// Вісник СНУ ім. В. Даля. – 2017. - №5 (235). –С. 30-

43. Похмурський В. І., Хома М.С. Корозійна втома металів і сплавів. – Львів: Сполом, 2008. – 300 с.

44. Експлуатаційна деградація металу газопроводів і підвищення ефективності роботи анодів катодного захисту.

45. Оцінка деградації сталей обладнання нафтопереробних і хімічних виробництв / О. Г. Архипов, О. В. Зінченко, Д. О. Ковальов та ін. // Металеві конструкції. – 2009. – 15, № 2. – С. 115–122.

46. Інструкція з безпеки життєдіяльності № 4 при проведенні навчального процесу у комп'ютерних лабораторіях кафедри машинознавства та обладнання промислових підприємств (МОПП).

47. Інструкція з безпеки життєдіяльності № 8 при виконанні лабораторних робіт студентами кафедри машинознавства та обладнання промислових підприємств (МОПП)

48. Інструкція з охорони праці № 11 при роботі на електрообладнанні, вимірювальних приладах і персональному комп'ютері на кафедри машинознавства та обладнання промислових підприємств (МОПП)

49. М. Л. Медведева, А. В. Мурадов, А. К. Прыгаев. Коррозия и защита магистральных трубопроводов и резервуаров: Учебное пособие для вузов нефтегазового профиля. - М.: Издательский центр РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2013. - 250 с.

50. ГОСТ 51164-98 «Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии».

51. Подземная коррозия // Российская газовая энциклопедия, БРЭ. – 2004. –С. 323 – 326

52. Антикоррозионные покрытия // Российская газовая энциклопедия, БРЭ. – 2004. – С. 20.

53. ГОСТ 11262 «Пластмассы. Метод испытания на растяжение».

54. ГОСТ 14236 «Пленки полимерные. Метод испытания на растяжение».

55. РД -91.020.00-КТН-149-06 «Нормы проектирования электрохимической защиты магистральных трубопроводов и сооружений ППС».

53. СТО Газпром 9.2-002-2009 «Защита от коррозии. Электрохимическая защита основные требования».

56. СТО Газпром 9.2-003-2009 «Защита от коррозии. Проектирование электрохимической защиты подземных сооружений».

57. ГОСТ5640-68. Сталь. Металлографический метод оценки микроструктуры листов и ленты. Технические требования [Текст]. – Введ. 31-10 - 1968. – М.: Изд - во стандартов, 1988.

58. ГОСТ 5639-82. Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна. Технические требования [Текст]. – Введ. 26-08-1982. . – М. : Изд-во стандартов, 1983, — 21 с.