

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	4
ВСТУП.....	5
1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД.....	7
2. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ І ОБЛАДНАННЯ.....	24
3. АНАЛІЗ ПРИЧИН ЩО ОБУМОВЛЮЮТЬ ПРИШВИДШЕННЯ КОРОЗІЇ ТРУБОПРОВОДІВ.....	33
4. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НА КОРОЗІЮ ТРУБОПРОВОДІВ.....	41
5. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ.....	48
ВИСНОВКИ.....	55
ЛІТЕРАТУРА.....	56

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

MMB – малий міст Витстона;

MTB – міст Томсона-Витстона;

EC – електричний опір;

SCADA – диспетчерське керування і збір даних;

ER – електричний опір;

R – електричний опір [Ом];

RS – рекомендований стандарт;

Modbus — відкритий комунікаційний протокол, заснований на архітектурі ведучий-ведений;

l – довжина зразка, м;

σ – питома електропровідність сталі, См / м;

s – площа поперечного перерізу зразка, м²;

де t – залишковий ресурс обладнання, год;

h_t – поточна товщина стінки, мм;

h_0 – гранична товщина стінки, нижче якої не забезпечується міцність, мм;

C_k – швидкість корозії, мм / рік;

α – коефіцієнт неоднорідності корозії;

8760 – кількість годин в році, год;

pH – водневий показник розчину.

V – швидкість потоку, м/с;

K – корозія;

t – температура, °C;

d – діаметр, мм.

ВСТУП

На підприємствах металургійної, хімічної та нафтової промисловості, а також інших галузях народного господарства широко використовують трубопроводи. Частіше всього їх споруджують зі сталевих труб, з'єднуючи їх за допомогою зварювання, фланців і муфт різних конструкцій.

До основних механізмів деградації матеріалу трубопроводів відносяться термічна втома, корозійне розтріскування, корозійне розтріскування під напругою (міжкристалітна корозія, транскристалітна корозія і т.д.), щілинна корозія і локальний вплив (мікробна корозія, виразкова корозія та ін.), ерозія при кавітації, ерозійна корозія, вібраційна втома, гідрудар.

У даній роботі розглядається деградація трубопроводів оборотної води, основним механізмом руйнування котрих є корозійна складова.

В багатьох випадках корозійне руйнування виникає на невеликій ділянці поверхні труби, після його утворення швидкість корозії стрімко збільшується. Якщо не приймати необхідних заходів число руйнувань зростає і через декілька років трубопровід доводиться спочатку частково, а потім і повністю замінювати.

Для запобігання незапланованих ремонтів, передчасного виходу зі строю, та продовження ресурсу роботи трубопроводів, необхідно застосувати заходи з аналітичного контролю та захисту їх від корозії.

Щоб правильно інтерпретувати результати аналітичного контролю та приймати заходи по захисту від корозії, необхідні дані про вплив контрольованих параметрів в вимірюваній області їх значень на корозію конструкційних матеріалів.

Контроль корозії матеріалу трубопроводів може здійснюватись різними методами. Один з них – постійне вимірювання зміни швидкості корозії за допомогою корозійного моніторингу за зміною електричного

опору. Метод електричного опору засновано на вимірюванні електричного опору зразків з відомою геометрією, поміщених в агресивне середовище. Метод дає усереднене значення швидкості корозії і його можна назвати автоматизованим методом вагового аналізу.

Для своєчасного отримання даних про розвиток корозійних процесів і ранньої профілактики корозійних руйнувань, оцінки і прогнозування залишкового ресурсу трубопроводів, контролю корозійної активності середовища існує можливість застосування сучасних систем корозійного моніторингу заснованих на зміні електричного опору.

У даній роботі проведено дослідження впливу технологічних параметрів на корозію трубопроводів, а також проведено порівняння швидкості корозії отриманої системою моніторингу корозії заснованої на зміні електричного опору, та швидкості корозії отриманої гравіметричним методом.

РОЗДІЛ 1

ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

Деградація – процес погіршення характеристик будь-якого об'єкта чи явища з плином часу, поступове погіршення, занепад, зниження якості, руйнування матерії внаслідок зовнішнього впливу за законами природи і часу.

До основних механізмів деградації трубопроводів відносяться термічна втома, корозійне розтріскування, корозійне розтріскування під напругою (міжкристалітна корозія, транскристалітна корозія і т.д.), щілинна корозія і локальний вплив (мікробна корозія, виразкова корозія та ін.), ерозія при кавітації, ерозійна корозія, вібраційна втома, гідроудар.

У даній роботі розглядається деградація трубопроводів оборотної води, основним механізмом руйнування яких є корозійна складова.

У роботі [1] детально розглянуто механізм корозії в трубопроводах оборотного водопостачання і способи захисту від корозії.

Корозією називають самовільне руйнування металів внаслідок фізико-хімічної взаємодії їх з навколишнім середовищем [2, 3]. У практиці водопостачання під матеріалами маються на увазі прості метали, а також обладнання і вироби, які виготовлені з цих металів; середовищем, в якій відбувається корозія металів, є вода. Отже, процеси корозії пов'язані з характерними особливостями води і металу. Однак корозію слід відрізнити від ерозії – поверхневого механічного руйнування металів.

Відомо, що корозійний процес протікає на кордоні двох фаз: метал – навколишнє середовище, тобто є гетерогенним (неоднорідним) процесом взаємодії рідкого або газоподібного середовища (або їх окислювальних компонентів) з металом.

Корозія металу може бути хімічною та електрохімічною [2]. У практиці водопостачання поширена електрохімічна корозія, яка відбувається

в присутності електролітично провідного середовища, за якої іонізація атомів металу і відновлення окисного компонента корозійного середовища протікають не в одному акті і їх швидкості залежать від електродного потенціалу металу.

За умовами протікання корозія в системах водопостачання є в основному електрохімічний окислювально-відновний процес, можливість протікання якого визначається зміною вільної енергії системи. Анодний процес пов'язаний з переходом іонів металу в розчин; при катодному процесі відбувається асиміляція електронів що містяться в розчині деполяризатором (розчинений кисень – киснева деполяризація, іони водню – воднева деполяризація). На одній і тій же ділянці можуть відбуватися одночасно анодний і катодний процеси.

Нерідким випадком в системах оборотного водопостачання є біологічна корозія за участю продуктів, що виділяються мікроорганізмами біологічних обростань.

При проектуванні систем оборотного водопостачання з вимушеним застосуванням агресивної води слід, перш за все, вибирати тривкі матеріали для обладнання, трубопроводів і споруд, передбачати їх захист покриттями або відповідну обробку води. Забезпечення корозійної тривкості виробничих апаратів та іншого обладнання повинно передбачатися в технологічних проектах виробництва з урахуванням ступеня агресивності води.

Захист металу від корозії може бути здійснено багатьма способами. Вибір того чи іншого з них в кожному окремому випадку повинен ґрунтуватися насамперед на визначені причин виникнення корозії, її форми і т.д. При цьому необхідно погоджувати такі вимоги:

- 1) ефективність захисту;
- 2) збереження металом всіх необхідних від нього механічних властивостей;
- 3) захист повинен бути максимально дешевим.

Основними методами захисту металів від електрохімічної корозії в системах оборотного водопостачання є наступні.

1. Обробка корозійного середовища, що представляє собою в основному нейтралізацію кислих стічних вод.

2. Обробка води сповільнювачами корозії з утворенням захисних окисних і інших неметалічних плівок неорганічними і органічними:

а) до неорганічних сповільнювачів корозії відносяться нітрат натрію $NaNO_3$, хромат калію K_2CrO_4 і біохромат калію $K_2Cr_2O_7$, силікат натрію Na_2SiO_3 , фосфати (гексаметафосфат натрію, триполіфосфат натрію і динатрійфосфат) і ін.;

б) до органічних сповільнювачів корозії відносяться глюкозати хрому, сульфоглюкозати натрію і ін.;

3. Захисні покриття металів лаками, фарбами, смолами і емаллями.

4. Електрохімічний протекторний захист металу.

На ряду з захистом від корозії в даний час важливим питанням є моніторинг корозії трубопроводів.

Безперервний контроль швидкості корозії трубопроводів дозволяє вирішити ряд завдань, а саме [4]:

- своєчасне отримання даних про розвиток корозійних процесів і рання профілактика корозійних руйнувань;

- визначення правильності вибору конструкційного матеріалу, оцінка і прогнозування залишкового ресурсу обладнання;

- контроль корозійної активності середовища та ефективності інгібітору;

- використання корозійного моніторингу в якості складової частини автоматизованої системи управління технологічним процесом.

Одним із сучасних способів моніторингу корозії трубопроводів є корозійний моніторинг заснований на методі електричного опору з високою роздільною здатністю.

Даний метод добре зарекомендував себе в умовах лабораторних випробувань більше 50 років тому і докладно описаний в літературі того часу.

У монографії [5], викладено такі відомості. Корозійні процеси, що ведуть зазвичай до зміни перетину зразків, а іноді і до більш глибоких змін в самому матеріалі (міжкристалітна корозія, утворення тріщин, розшарування і т.п.), звичайно, повинні привести до зміни омичного опору. Тому методом вимірювання омичного опору зразків до корозії і після неї можна отримати цінні результати, які будуть характеризувати поведінку металів в даних умовах.

Особливо сильна зміна опору спостерігається при появі міжкристалітної корозії.

Далі на підставі лабораторних випробувань і наступних розрахунків були зроблені висновки про те, що внаслідок корозії змінюється діаметр зразка і зростає опір. Таким чином, вимірявши опір до і після корозії, можна визначити новий діаметр зразка, а отже, і глибину проникнення корозії. При однаковій глибині проникнення корозії відносна зміна опору буде тим вище, чим менше початковий діаметр зразка.

Тому найбільшу чутливість метод дає при вивченні корозії тонких листових матеріалів і дроту.

Метод зручний тим, що дозволяє проводити безперервні спостереження за корозією і вивчати на одному і тому ж зразку розвиток процесу в часі. Для вимірювання опору користуються звичайними подвійними мостами, що випускаються промисловістю ММВ, а також установками, зібраними в лабораторіях.

При зміні опору важливо забезпечити надійність контакту, бо порушення його може викликати таке збільшення опору, яке перевищить опір, що виникає за рахунок корозії. Контакт створюють зазвичай пайкою

або щільним клемовим з'єднанням, місця контакту ізолюють від корозійного середовища.

Найчастіше опір вимірюють до і після корозії, проте в літературі описані установки, в яких корозійні випробування поєднували з безперервними вимірами опору без вилучення зразка з корозійного середовища. Метод був з успіхом застосований Хадсоном при дослідженні атмосферної корозії сталевго дроту [6], Н.І. Ісаєвим при дослідженні атмосферної корозії сталевго і оцинкованого дроту [7], а також для дослідження корозії в присутності інгібіторів [8].

У роботі [9], в розділі спеціальні методи корозійних випробувань, описується можливість вимірювання міжкристалітної корозії нержавіючих сталей за зміною електричного опору зразка.

Ступінь міжкристалітної корозії характеризується при цьому зміною електричного опору зразка за певний час корозії.

Величину електроопору зразків визначають перед випробуванням і після їх кип'ятіння в розчині сірчаною кислотою міді і сірчаною кислотою. Порушення контакту між кристалітами металу в результаті міжкристалітного руйнування при кип'ятінні зразків веде до збільшення електричного опору сталі.

Якщо електричний опір випробовуваних зразків до і після кип'ятіння має одне і те ж значення або його зміна відповідає зменшенню перетину зразка, що вказує на відсутність в сталі схильності до міжкристалітної корозії.

У довідковому виданні [10], метод електричного опору посів важливе місце. Методом вимірювання змін електричного опору можна безпосередньо визначати корозійні втрати на спеціальному зразку у досліджуваній корозійній системі. Повідомляється, що цим методом може бути виявлено зменшення товщини зразка в результаті корозії, рівне $2,5 \times 10^{-7}$ см [11, 12]. Цей метод найбільш успішно застосовують як спосіб контролю зниження

корозії, наприклад в результаті застосування інгібіторів або для виявлення змін корозійної активності середовища.

У роботі [13] дається наступний опис оцінки швидкості корозії за методом електричного опору.

Для оцінки швидкості корозії матеріалів теплообмінників, конденсаторів та іншого обладнання, що працює з водними середовищами, використовують метод, заснований на визначенні інтенсивності руйнування металу за зміною електричного опору зразків (резистометричний метод).

Визначення швидкості корозії з виміру електричного опору засновано на тому, що продукти корозії металу мають електропровідність значно (на кілька) порядків меншу, ніж метал, і, отже, будь-який процес іонізації і виходу іона в розчин буде викликати зростання електричного опору досліджуваного зразка [14].

Практично швидкість вимірюють за зміною відношення електричного опору кородуючого зразка до його початкового значення.

Опір зразків вимірюють за допомогою схеми звичайного рівноважного моста. Зразки встановлюють в різних точках обладнання та ізолюють від металу корпусів.

Резистометричний метод, як будь-який метод, який використовує штучно приготовані корозійні зразки, не дозволяє визначати абсолютні показники процесу корозії, а дає лише порівняльні дані про корозійну агресивність води за різних режимах експлуатації обладнання.

У роботі [15] є інформація, що стосується визначення корозії за зміною електричного опору.

Якщо в процесі корозії змінюється перетин зразка, в матеріалі утворюються тріщини, розшарування або протікає міжкристалітна корозія, то змінюється і його омичний опір. Вимірюючи електричний опір зразків до і після корозії, можна судити про корозійну тривкість металів в даних умовах.

Особливо сильна зміна електричного опору спостерігається при міжкристалітній корозії.

Далі йдуть вимірювання випробовуваних зразків і розрахункова частина, після чого робляться висновки про те що, вимірюючи опір до і після протікання корозії, визначають новий діаметр зразка, а отже, і глибину проникнення корозії.

Далі впливає, що за однакової глибини проникнення корозії відносна зміна опору тим вища, чим менше початковий діаметр зразка. Тому найбільшу чутливість метод дає при вивченні корозії тонких листових матеріалів і дроту. Автори роботи [16] в своїх досліджах використовували тонкі зразки напилених в вакуумі металів, опір яких реєструвався за допомогою моста постійного струму типу МТВ.

Якщо корозія має нерівномірний характер, то як показано в роботі [14], за зміною електричного опору тонкого зразка можна визначити глибину проникнення корозії, але при цьому необхідно визначити і втрати маси металу зразка.

За даними узятим з роботи [17] тривкість матеріалу до корозії можна охарактеризувати, обчислюючи не глибину проникнення корозії, а відносну зміну опору.

У роботі [18], написано що характер корозії і її швидкість визначають шляхом систематичних оглядів і замірів, проведених періодично протягом всього терміну служби обладнання. Однак такі періодичні обстеження вимагають досить частого відключення апаратів, їх підготовки і розкриття, що зменшує продуктивний час роботи. Крім того, корозійні властивості середовища на різних ділянках можна встановити тільки за результатами їх впливу на обладнання (тобто після корозійного руйнування), що не дає змоги вчасно вживати необхідних заходів для запобігання подальшому поширенню корозії.

Перевагу слід віддавати методу безперервного контролю за допомогою зондів. Зонди для контролю корозії дають можливість визначити агресивність потоків в робочих умовах, встановити ділянки з найбільшою швидкістю корозії тощо. На підставі цих даних можна вибрати найбільш надійний варіант захисту від корозії, і зокрема оптимальне дозування інгібіторів і нейтралізаторів.

Принцип роботи зонда заснований на контролі зміни електричного опору зразків, виготовлених з того ж матеріалу, що й досліджуваний обладнання. Зразок певних розмірів і форми поміщають всередині апарату на тих ділянках, де вивчення характеру корозії металу або агресивних властивостей середовища має найбільший інтерес. Показання всіх зондів можуть бути винесені на один щит. При дотриманні умов підготовки і установки зондів, а також точності вимірювань зондування дає точну картину корозії обладнання. Відзначимо, що всі роботи пов'язані з зондуванням, вимагають високої кваліфікації і повинні проводитися спеціальною службою.

У роботі [19] сказано, що корозійний контроль металу котлів в стоянкових режимах може також визначатися за електричним опором металу (резістометричний метод). На практиці резістометричний метод часто застосовується одночасно з методом поляризаційного опору, що забезпечує більшу надійність одержуваної корозійної інформації.

Теоретичні основи резістометричного методу вкрай прості. При корозії зразка в результаті зменшення площі поперечного перерізу змінюється його електричний опір. Зміна опору і служить мірою кількості металу що прокородував, а віднесені до певного інтервалу часу – мірою швидкості корозії.

На відміну від методу поляризаційного опору резістометричний метод дає лише усереднене значення швидкості, проте можливість безперервного запису залежності опору від часу дозволяє легко судити про раптову зміну

швидкості корозії. Великою перевагою методу є і те, що його можна використовувати і в середовищах з високим омичним опором (конденсаті, парі).

Одним з методів контролю корозії, розглянутому в роботі [20], є метод електричного опору. Метод електричного опору (ЕС, резистометричний) заснований на вимірюванні електричного опору зразків з малим поперечним перерізом, поміщених в агресивне середовище. Зразки можуть бути дротяними, у вигляді тонкої смужки або трубки. При зменшенні товщини (поперечного перерізу) зразка в результаті корозії опір його підвищується у відповідності з залежністю:

$$R = \rho L / A \quad (1.1)$$

де R - опір, Ом;

ρ - питомий опір, Ом-см;

L - довжина, см;

A - площа поперечного перерізу зразка, см^2 .

Зміна опору датчика врівноважується мостом електричного струму, в результаті виникає сигнал, пропорційний величині корозійних втрат. Швидкість корозії оцінюють в мм / рік.

При виборі форми і товщини вимірювального елемента необхідно враховувати умови його експлуатації. У потоці рідини або газу він може піддаватися механічній деформації, а надмірне потовщення зразка знижує чутливість методу. Необхідно враховувати форму чутливого елемента і при розробці приладів ЕС-контролю.

В роботі [21] зроблено висновок, що застосування сенсорів прямокутного перетину дозволяє реалізувати безеталонну настройку і калібрування приладів, що досить складно зробити при круглому перетині датчиків.

Конструкція зонда електричного опору визначається температурою і тиском в досліджуваній системі. Найбільш зручною формою монтажу є

«виймається» зонд, який можна поміщати в працюючий апарат і отримувати з нього через спеціальну систему клапанів і засувок. Обов'язково корозійностійке виконання датчиків.

Чутливість вимірів зміни товщини зразка сучасними корозиметрами, що реалізують метод електричного опору, в жорстких експлуатаційних умовах [22,23] при тиску 4,0-27,6 МПа і температурі 200-270 ° С дуже висока, порядку 3-1СГ6 нм.

Для вимірювання швидкості корозії випускаються портативні переносні прилади, які прості в обслуговуванні і їх легко використовувати в промислових умовах. Такі ЕС-корозиметри припускають автономну роботу оператора-контролера, який знімає показання датчиків, встановлених на контрольованому об'єкті, і ці дані потім аналізуються за допомогою графіків зміни показників датчиків в часі.

Відомі й інші різновиди традиційного резистометричного методу, наприклад, система для детектування і безперервного моніторингу корозії металів, зокрема, магнію і його сплавів [24]. Для вимірювання електричного опору приповерхневого шару використовується контактний сенсор. При появі на поверхні продуктів корозії (MgO , $Mg(OH)_2$) відбувається зміна опору шару, по якому можна визначити швидкість корозії металу.

Ще один різновид ЕС-методу – метод «гарячого» дроту [25]. Метал датчика нагрівають струмом, що проходить через нього, до певної температури і проводять дослідження корозійної активності середовища при цій температурі. Якщо ж в якості матеріалу чутливого елемента використовувати корозійностійкий метал (платину), то можна вивчати явища, обумовлені виділенням теплоти в локальних зонах, наприклад, при обробці металів.

Резистометричний метод застосовується для періодичних або безперервних вимірювань швидкості загальної корозії досліджуваного матеріалу в газоподібних фазах і не електропровідних рідинах. Метод дає

усереднене значення швидкості корозії і його можна назвати автоматизованим методом вагового аналізу [26]. Один з його недоліків – неможливість вимірювання миттєвої швидкості корозії, хоча крім усереднених значень швидкості корозії за певний проміжок часу (кілька днів або тижнів), метод забезпечує інформацію про тенденції корозії. Не можна також визначити характер вимірюваної корозії, але якщо різке збільшення її швидкості не пов'язана із змінами технологічних параметрів, то можна припустити наявність піттинга або іншого локального джерела руйнування [10]. У будь-якому випадку для систем, де можливо таке збільшення корозії, на основі вимірювання електричного опору може бути розроблено сигнальний пристрій.

Одним з головних недоліків резистометричного методу є його чутливість до температурних коливань, оскільки електричний опір датчика з підвищенням температури збільшується і ця зміна може бути більшою, ніж така за рахунок корозії. Цю проблему вирішують використанням поряд з робочим компенсаційного датчика. Обидва датчика виконані з одного металу, включені в загальний ланцюг і розміщені поруч, що забезпечує рівність температур, але компенсаційний датчик захищений від впливу корозійного середовища покриттям з фторопласту, кераміки, скла, епоксидної смоли і ін. Необхідно відзначити, що температурна компенсація датчика при використанні методу електричного опору в умовах перепаду температур не завжди адекватна [27].

Однією з переваг резистометричного методу є можливість автоматизації процесу безперервної реєстрації та аналізу корозійних даних в часі із застосуванням великої кількості датчиків на основі багатоканальних систем. Такі автоматичні системи з комп'ютерною обробкою даних застосовуються для корозійного моніторингу трубопроводів, насосів, сепараторів морських нафтопереробних споруд [21]. Системи визначають

зменшення товщини зразка з точністю до 1 мм, що забезпечує точність вимірювання швидкості корозії до $1 \cdot 10^{-3}$ мм / рік.

Застосування методу електричного опору має обмеження не тільки в електропровідних, але і в газових середовищах в залежності від їх складу. Хоча резистометричний корозійний моніторинг широко використовується в газовій промисловості, на Астраханському газоконденсатному родовищі зонди електричного опору працюють незадовільно [28] внаслідок підвищеного вмісту сірководню в середовищах. Утворені продукти корозії – сульфіди заліза – електропровідні і спотворюють результати вимірювань. З цієї ж причини, а також через значний перепад температур відмовилися від використання традиційного резистометричного методу при створенні безперервної технології корозійного моніторингу в системах десульфуризації димових газів.

Метод моніторингу корозії методом електричного опору також знайшов своє місце в сучасних наукових статтях, наприклад в статті під назвою Сучасні методи моніторингу корозії [29], детально розглянуто дане питання.

У сучасному світі корозія металів і захист їх від корозії є однією з найважливіших науково-технічних і економічних проблем. Успіх практичної реалізації хіміко-технологічних заходів щодо захисту від корозії обладнання нафто- і газопереробних процесів в великій мірі визначається технічною ефективністю застосовуваного методу корозійного контролю. В даний час системи оперативного контролю та оптимізації корозійних процесів отримали новий розвиток – в режимі реального часу, це дає можливість точно визначати причини корозійної активності. На сьогоднішній день існує ряд методів, що дозволяють зробити оцінку інтенсивності і визначити характер корозійних пошкоджень. На практиці найбільшого поширення набули гравіметричний метод, метод електричного опору і метод лінійної поляризації [30]. Вимірювання корозії методом електричного опору (ЕС)

можна уявити як "електронні" купони корозії. У цьому методі використовується залежність опору металу від корозії. Вимірювання електричного опору забезпечує основний вимір металевої втрати (корозії), але на відміну від купонів, величина металевої втрати може бути виміряна в будь-який час. Вимірювання корозії методом електричного опору є способом автоматичного контролю швидкості. Метод ЕС дозволяє вимірювати електрохімічні та механічні види корозії, такі як ерозія або кавітація. Метод ЕС підходить для вимірювання корозії що виникає в обладнанні, застосовуваному в нафтохімічній і нафтогазовій сфері, робочим середовищем якого є електроліти: пари, гази, ґрунти, "вологі" вуглеводні, і безводні рідини. Область застосування датчиків, заснованих на вимірі ЕС:

- Нафтогазова промисловість і нафто- і газопроводи;
- Нафто- і газопереробні заводи. Нафтохімічні процеси;
- Зовнішні поверхні підземних трубопроводів;
- Водопровідні системи;
- Димова труба, витяжна труба;
- Архітектурні структури.

Цей датчик може бути встановлений для безперервного вимірювання корозії, або може бути портативним, для періодичного збору даних з різних місць розташування.

Далі в статті [24] описані принцип роботи датчиків і основні особливості даного способу моніторингу корозії. Після чого вказані переваги моніторингу корозії методом електричного опору.

Моніторинг корозії, створюваний застосуванням датчиків корозії на технологічному процесі, може дати такі переваги:

- Автоматизований контроль в режимі реального часу дозволяє безперервно отримувати інформацію з датчиків контролю про зміни, що відбуваються швидкості корозії.

- Система вимірювань, заснованих на датчиках ЕС, дозволить своєчасно реагувати на появу корозії обладнання.

- Можна створити схему випробування інгібітору корозії. Це дозволить зібрати дані для виявлення закономірностей і динаміки руйнування металевих обладнань під дією корозії, а також проводити випробування з метою оцінки економічної доцільності і ефективності пропонуванних хімічних інгібіторів.

- При застосуванні інгібіторів корозії можлива корекція подачі інгібітору від показань датчика. Це дозволить до точно витратити інгібітори корозії і отримати найкращі антикорозійні показники в системі.

- Раціональна організація системи моніторингу корозійної обстановки та управління подачею інгібітора забезпечить досягнення високого процентного рівня захисту системи і зниження аварійності. Таким чином, використання сучасних датчиків корозії не тільки значно полегшить роботу операторів та обслуговуючого персоналу, але також дозволить оперативно і якісно отримувати інформацію про технологічний процес, відстежувати стан обладнання установки і контролювати значення регульованих параметрів.

У статті [31] описана можливість в промислових умовах контролювати швидкість корозії конструкційних матеріалів поряд і у взаємозв'язку з іншими показниками технологічного процесу.

При проектуванні корозійний моніторинг дозволяє правильно вибрати конструкційні матеріали з урахуванням їх корозійної тривкості в умовах експлуатації.

При експлуатації моніторинг дозволяє спостерігати і прогнозувати стан об'єкта з метою отримання своєчасної інформації про його можливі відмови внаслідок корозії.

Далі в статті вказані методи, існуючі на сьогоднішній день, що дозволяють зробити оцінку інтенсивності і визначити характер корозійних пошкоджень і їх короткий опис.

Потім вказані переваги методу електричного опору, і представлено дослідження можливості застосування системи безперервного моніторингу швидкості корозії вуглецевої сталі в середовищах водооборотних циклів методом електричного опору.

В кінці статті зроблено висновок про те, що система моніторингу швидкості корозії методом електричного опору дозволяє в модельних середовищах, в масштабі реального часу здійснювати моніторинг швидкості корозії в діапазоні від 0,01 до 50,0 мм / рік.

У статті [32] згадується моніторинг корозії методом електричного опору.

Метод заснований на тому, що геометричні розміри чутливого елемента зменшуються при його корозійному руйнуванні, що збільшує електричний опір елемента. Вимірюється втрата металу, а на підставі цих даних з математичного алгоритму розраховується швидкість корозії. Метод працює в будь-яких середовищах. Вимірюючи електричний опір на датчику ЕС, дана система дозволяє отримувати кількісні дані втрати металу і визначати швидкість корозії в будь-якому рідкому, газоподібному і твердому середовищі. Датчики можуть функціонувати в екстремальних умовах хімічного впливу при температурі до 540 за Цельсієм і тиску до 41,3 МПа.

У статті [33] розглядається корозійний моніторинг систем трубопроводу. У статті вказані основні методи моніторингу, їх переваги і недоліки.

Значний вплив на зношуваність газо- і нафтопроводів надають процеси корозії. Наслідки від руйнування є головним фактором, що визначає форму і зміст системи контролю технічного стану конструкції. У зв'язку з сильним зносом трубопроводів в процесах експлуатації моніторинг швидкості корозії в даній області є однією і основоположних завдань для дослідників [34].

Моніторинг є системою спостереження за станом трубопровідних об'єктів для своєчасного виявлення змін експлуатаційних параметрів, їх оцінки та попередження негативних наслідків. В стадії розробки перебувають такі методи як опір змінному струму, тонкошарове активування поверхні, вимірювання електрохімічного шуму, радіоізотопний метод. Ці методи поки не забезпечені приладами що випускаються промисловістю і широкого застосування не знайшли.

Далі в статті описується кожен з перерахованих вище методів моніторингу корозії, і наводяться їхні переваги й недоліки.

У статті [4] представлена розроблена система безперервного вимірювання швидкості корозії, яка дозволяє автоматично в режимі реального часу оперативно визначати корозійну агресивність середовища і вимірювати швидкість корозії безпосередньо обладнання в умовах експлуатації, а також визначати залишковий ресурс роботи обладнання. Система забезпечує підключення до сучасних SCADA великої кількості точок контролю.

Система дозволила спрогнозувати остаточний ресурс обладнання і дату закінчення експлуатації з похибкою близько 10 %.

Було зроблено висновки про те, що:

- система безперервного вимірювання швидкості корозії дозволяє в умовах експлуатації кількісно вимірювати швидкість корозії і оперативно контролювати корозійні процеси в режимі реального часу за допомогою датчиків за підвищених тисках і температурах; система дозволяє реалізувати безперервний прямий метод вимірювання товщини стінки і швидкості корозії устаткування без порушення його цілісності;
- система з високою точністю визначає залишковий ресурс обладнання, а також з високою вірогідністю прогнозує дату заміни обладнання.

В учбових посібниках та книгах [35-40] описано аналіз причин що обумовлюють пришвидшення корозії металів, розглянуті питання моніторингу та захисту від корозії . Розглянуті сучасні уявлення про електрохімічну корозію металів.

У книгах [41-49] розглянуті питання корозії з точки зору електрохімії та біохімії.

У книгах [50-52] розглянуті питання водооборотного водопостачання.

Проблемам деградації сталей присвячена робота [53]. Існує також ряд робіт вітчизняних та зарубіжних науковців [54-60], присвячених проблемам корозії, її моніторингу, та впливу різних факторів на корозію сталі взагалі, та безпосередньо в середовищі водооборотних циклів.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ І ОБЛАДНАННЯ

Дослідження корозії сталей залежно від різних факторів (температура, швидкість потоку, рН, аерація) здійснювались на установці в воді з 3% NaCl. Схема установки представлена на рисунку 2.1

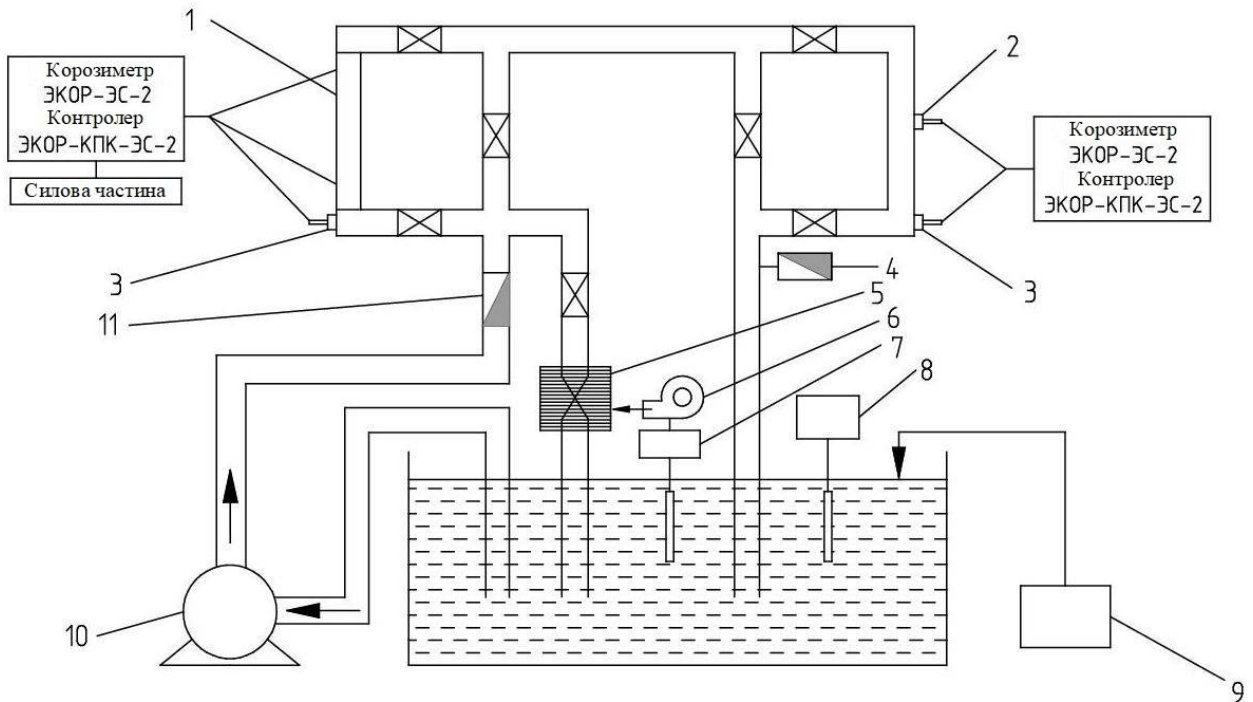


Рисунок 2.1 – Схема установки

Первинний перетворювач – ділянка труби з силовою частиною (1) внутрішнім діаметром 21 мм вмонтований в пластиковий трубопровід.

Первинні перетворювачі – датчики корозії дровові ДКП (3), датчик корозії спіральний ДКС (2) встановлюються у фланці.

Циркуляція 3% -ного розчину NaCl в дистильованій воді здійснюється за допомогою насоса Pedrollo 950 W (10) продуктивністю 20-160 л / хв. Внутрішній діаметр труб 21 мм. Розчин знаходиться в емальованій посудині об'ємом 12 л.

При роботі насоса 10 температура розчину підвищується до 50 °C, тому для забезпечення температури 40 °C проводиться охолодження.

Охолодження забезпечується пропусканням розчину через кожухотрубчастий холодильник AURORA (5) і обдування його вентиляторами ВН-2 (6).

Температура розчину підтримується і контролюється за допомогою регулятора температури ТЕРА (7), який керує двома вентиляторами ВН-2.

Лічильник Gross (11) вимірює витрату води.

Датчик швидкості потоку (4) вимірює швидкість потоку в умовних одиницях.

Рівень рН розчину вимірюється рН-метром HANNA HI 2211 (8) і підтримується додаванням лугу або кислоти.

Аерація забезпечується мікрокомпресором (9).

Метод електричного опору заснований на вимірюванні електричного опору зразків з відомою геометрією, поміщених в агресивне середовище.

Для вимірювання швидкості корозії Системою використовується метод електричного опору з високою роздільною здатністю (High-Resolution ER). Даний метод заснований на прецизійному вимірюванні товщини (діаметра) металу що кородує (вимірювальної частини). Товщина (діаметр) визначається по електричному опору з урахуванням впливу (компенсації) температури.

При зміні товщини зразка опір його збільшується відповідно до залежності:

$$R = \frac{l}{\sigma \cdot s}, \text{ Ом}, \quad (2)$$

де l – довжина зразка, м;

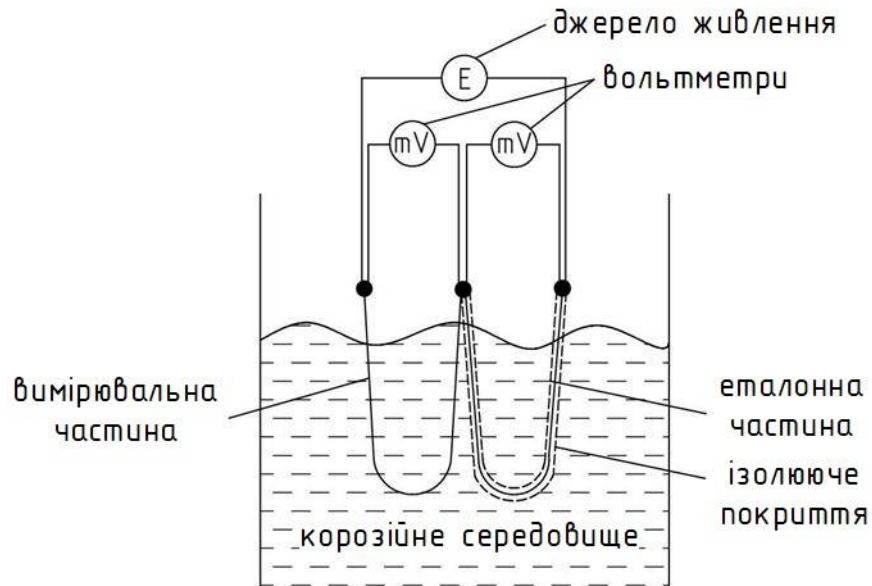
σ – питома електропровідність сталі, См / м;

s – площа поперечного перерізу зразка, м².

Для компенсації впливу температури на вимірювання товщини (діаметра) використовується еталонна частина. Еталонна частина виготовлена з того ж металу, що і вимірювальна частина, має ту ж температуру, але ізольована від впливу середовища.

Функціональна схема вимірювання швидкості корозії методом електричного опору представлена на рисунку 2.2.

а)



б)

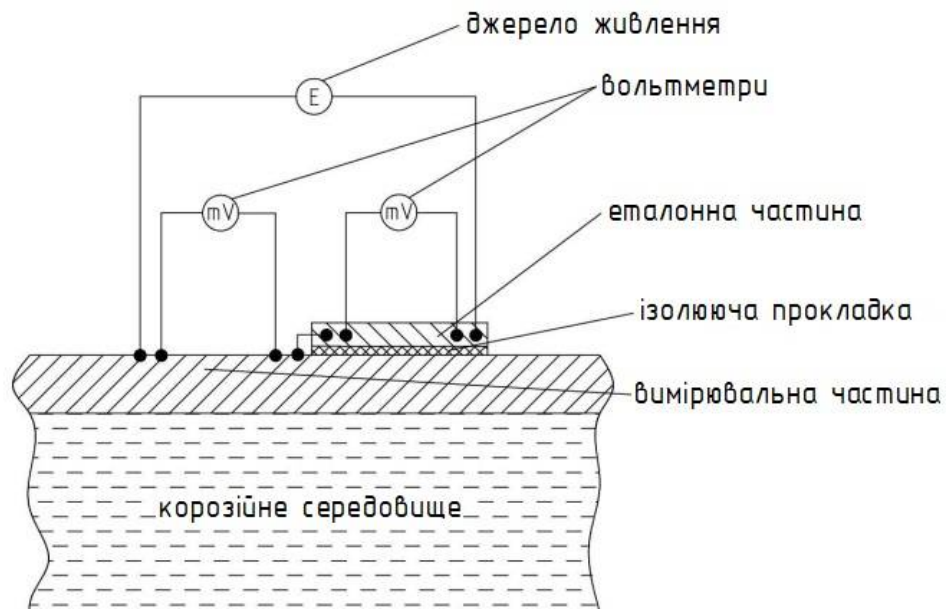


Рисунок 2.2 – Функціональна схема вимірювання швидкості корозії методом електричного опору:

а - вимірювання швидкості корозії за допомогою датчика корозії;

б - вимірювання швидкості корозії ділянки контрольованого обладнання

Склад системи

Система складається з датчиків корозії ДКП, ділянок контролюваного обладнання, корозиметра ЕКОР-ЕС-2М, контролера процесу корозії ЕКОР-КПК-ЕС-2, бар'єру іскрозахисту, блоків живлення, робочої станції.

Блок-схема Системи представлена на рисунку 2.3.

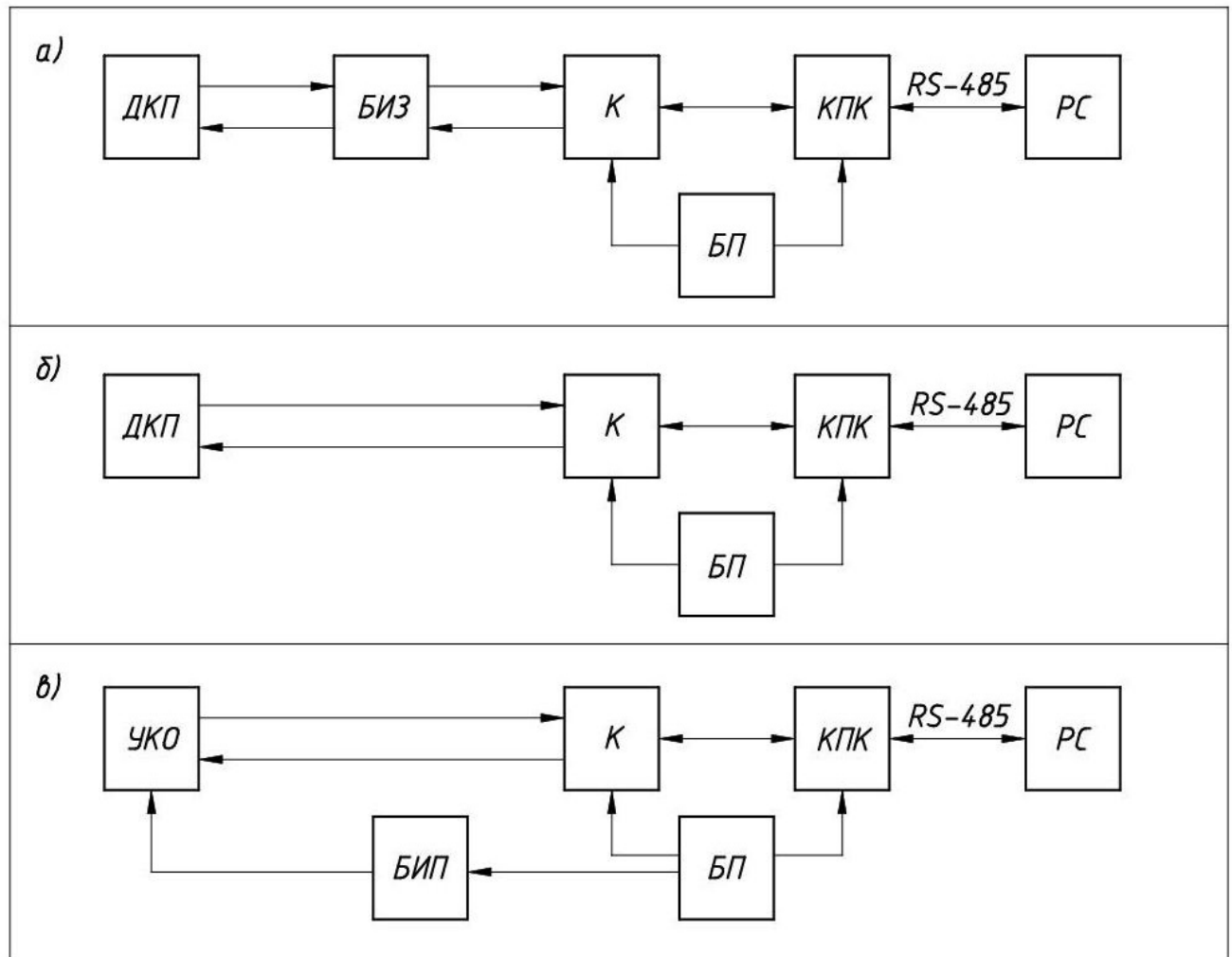


Рисунок 2.3 – Блок-схема Системи контролю швидкості корозії

а - іскробезпечне виконання для датчика корозії;

б - звичайне виконання для датчика корозії;

в - для ділянки контролюваного обладнання.

ДКП – датчик корозії; БИЗ – бар'єр іскрозахисту; К – корозиметр;

КПК – контролер процесу корозії; БП, БИП – блоки живлення;

УКО – ділянка контролюваного обладнання; РС – робоча станція.

Датчик корозії ДКП

Датчик корозії призначений для контролю корозійної агресивності технологічного середовища. Датчик представлений на рисунках 2.4 – 2.5

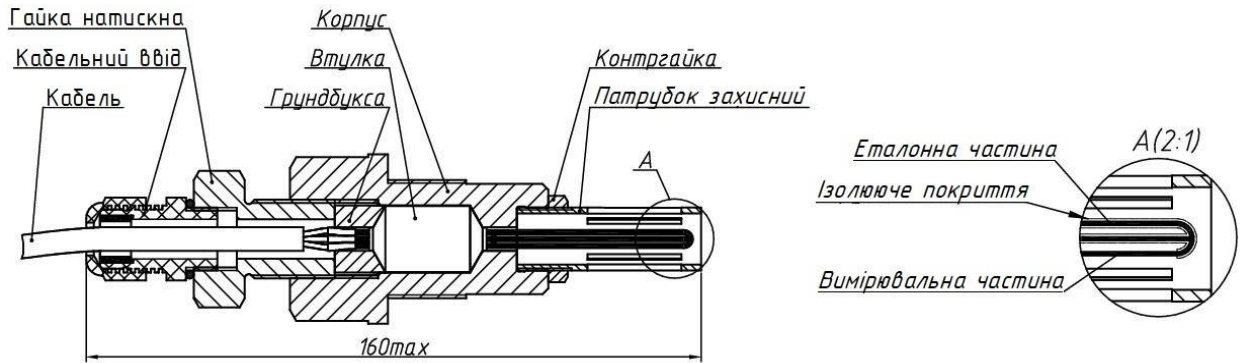


Рисунок 2.4 – Датчик корозії

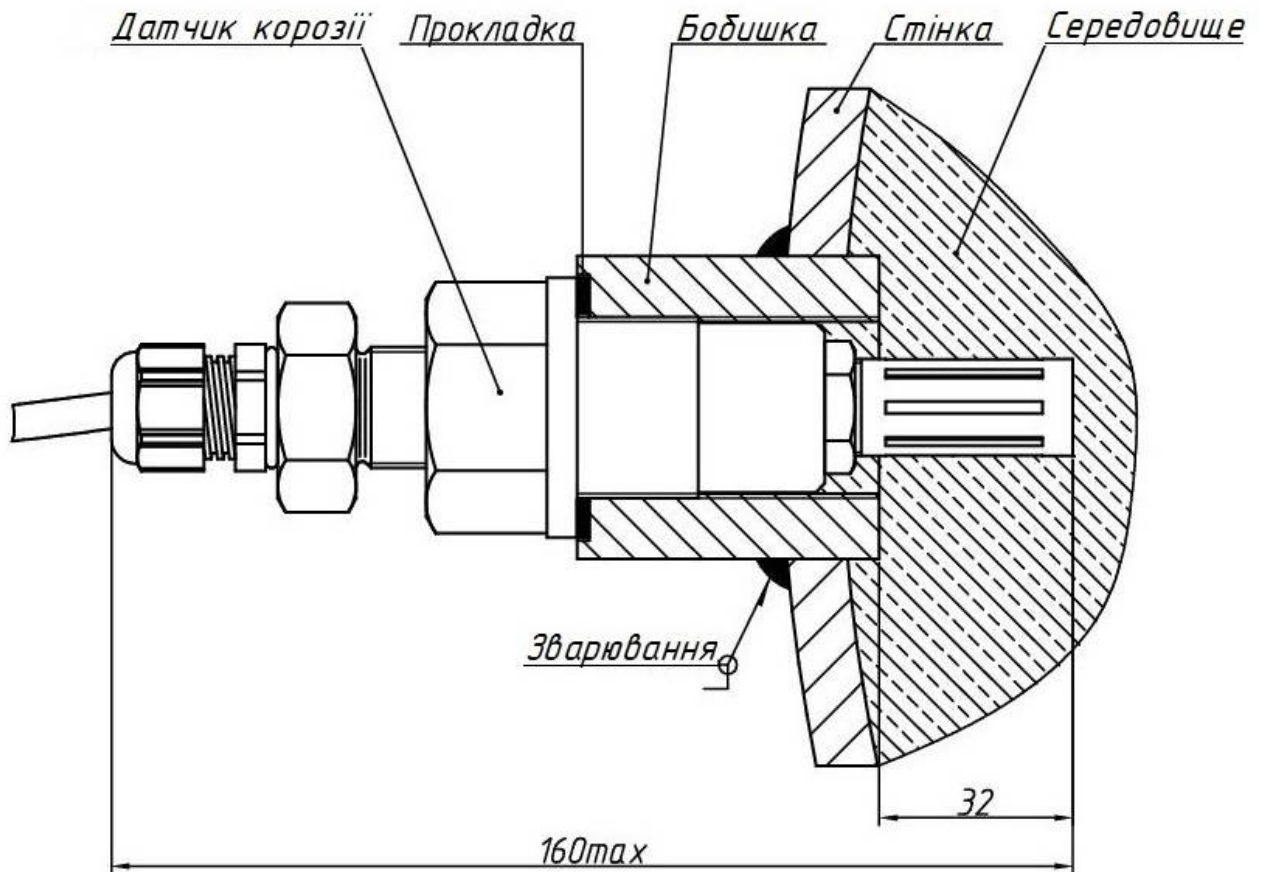


Рисунок 2.5 – Вид датчика корозії з вузлом введення, змонтованого на трубопроводі

Вимірювальна частина датчика знаходиться в контактi з корозійним середовищем. Еталонна частина датчика виконана з того ж металу і захищена покриттям від корозійного впливу середовища. Вимірювальна і еталонна частина мають однакову температуру.

Через еталонну і вимірювальну частини датчика пропускається однаковий струм. На обох частинах вимірюється падіння напруги. Співвідношення падінь напруги на вимірювальній і еталонній частині дорівнює співвідношенню їх електричного опору. За співвідношенням падінь напруги визначається діаметр вимірювальної частини датчика. За зміною діаметра за задані проміжки часу розраховується швидкість корозії.

Розміри, геометрія, термін служби і чутливість датчика визначаються в залежності від величини швидкості корозії.

Ділянка контрольованого обладнання

Ділянка контрольованого обладнання призначена для безпосереднього контролю швидкості корозії контрольованого обладнання, зображена на рисунку 2.6.

Для контролю швидкості корозії ділянки контрольованого обладнання проводиться підготовка ділянки стінки обладнання: приварка кріпильних і контактних шпильок, монтаж еталонної частини і кабелів, термоізоляція.

Монтаж шпильок здійснюється за допомогою конденсаторного зварювання, що дозволяє виключити вплив на механічні, фізичні та корозійні характеристики контрольованого обладнання.

Вимірювальною частиною є ділянка стінки обладнання, еталонна частина виконується з матеріалу обладнання, розміщується на поверхні обладнання, електрично ізолюється від устаткування за допомогою ізолюючої прокладки.

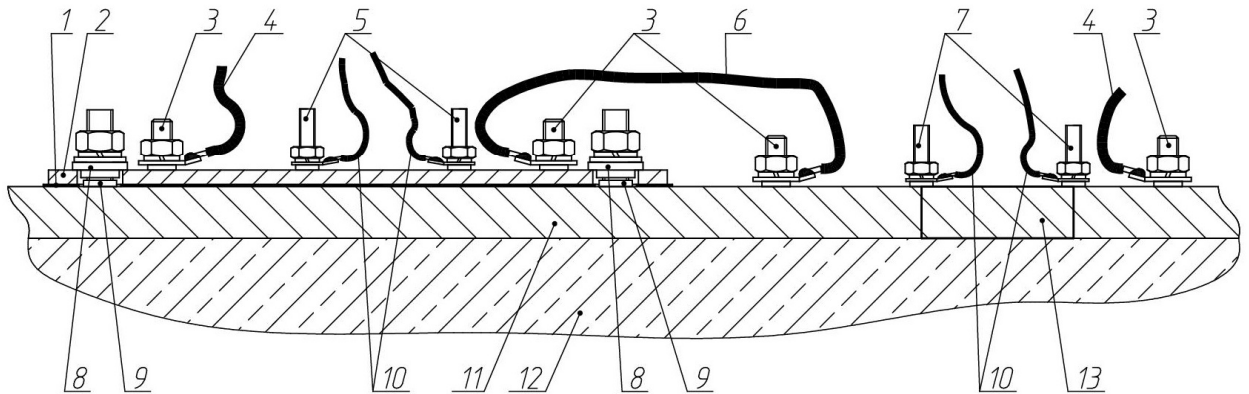


Рисунок 2.6 – Ділянка контрольованого обладнання

- 1 – Ізолююча прокладка;
- 2 – Еталонна частина;
- 3 – Контактна шпилька силової частини;
- 4 – Силовий кабель;
- 5 – Контактна шпилька еталонної частини;
- 6 – Перемичка;
- 7 – Контактна шпилька вимірювальної частини;
- 8 – Ізолююча втулка;
- 9 – Кріпильна шпилька;
- 10 – Сигнальний кабель;
- 11 – Стінка;
- 12 – Середовище;
- 13 – Вимірювальна частина.

Через еталонну і вимірювальну частини ділянки контрольованого обладнання пропускається однаковий струм. На обох частинах вимірюється падіння напруги. Співвідношення падінь напруги на вимірювальній і еталонній частині дорівнює співвідношенню їх електричного опору. За співвідношенням падінь напруги визначається товщина вимірювальної

частини датчика. За зміною товщини за задані проміжки часу розраховується швидкість корозії.

Термін служби ділянки контрольованого обладнання дорівнює терміну служби обладнання. Чутливість ділянки визначається товщиною стінки контрольованого обладнання.

Корозиметр ЕКОР-ЕС-2М

Корозиметр ЕКОР-ЕС-2М призначений для вимірювання падіння напруги на вимірювальній і еталонній частині датчика корозії і / або ділянки контрольованого обладнання.

Вимірювання виконується за допомогою прецизійного 24-бітного аналого-цифрового перетворювача.

Корозиметр виконує обробку (фільтрацію) отриманих даних і передає дані в цифровому вигляді через RS-485 по протоколу ModBus для подальшої обробки в контролер процесу корозії.

До корозиметра можна підключити:

- два датчика корозії;
- дві ділянки контрольованого обладнання;
- датчик корозії і ділянку контрольованого обладнання.

Контролер процесу корозії ЕКОР-КПК-ЕС-2

Контролер призначений для управління процесом вимірювань і отримання даних корозиметра і їх обробки.

Алгоритм управління вимірами, реалізований контролером, дозволяє виключити вплив на корозію вимірювальної частини датчика і виконувати вимірювання в умовах електрохімічного захисту (катодного, анодного, протекторного).

Контролер виконує статистичну обробку отриманих даних, обчислює співвідношення опорів і розраховує геометричні розміри вимірювальної частини.

Контролер за зміною товщини (діаметра) вимірювальної частини обчислює швидкість корозії за задані проміжки часу (від 10 хв. до 24 год.).

Контролер передає дані в цифровому вигляді через RS-485 по протоколу ModBus в систему SCADA (Honeywell, Trace Mode і ін.).

Контролер здійснює запис і зберігання отриманих даних (протягом трьох місяців) в енергонезалежній пам'яті.

Була проведена державна атестація системи як засобу вимірювання швидкості корозії. Розроблено програму метрологічної атестації. В основу атестації було покладено порівняння швидкості корозії, яка вимірюється системою і швидкості корозії, отриманої ваговим аналізом.

Отримані дані про товщину стінки і швидкості корозії об'єкта використовувалися для автоматичного визначення залишкового ресурсу устаткування за допомогою SCADA (Trace Mode).

Залишковий ресурс визначався по формулі

$$\tau = \frac{h_T - h_0}{V \cdot \alpha} \cdot 8760, \quad (2.1)$$

де τ - залишковий ресурс обладнання, год;

h_T - поточна товщина стінки, мм;

h_0 - гранична товщина стінки, нижче якої не забезпечується міцність, мм;

V - швидкість корозії, мм / рік;

α - коефіцієнт неоднорідності корозії;

8760 - кількість годин в році, год.

РОЗДІЛ 3

АНАЛІЗ ПРИЧИН ЩО ОБУМОВЛЮЮТЬ ПРИШВИДШЕННЯ КОРОЗІЇ ТРУБОПРОВОДІВ

Існує ряд чинників, що прискорюють або уповільнюють корозію металевих труб і апаратів [1].

Вплив водневого показника розчину (рН).

Вплив величини рН загальновідомий: вважається, що зі збільшенням рН середовища, за інших рівних умов, корозія зменшується, і навпаки – з пониженням рН вона збільшується. Значення рН мінімальної корозії буде характерною величиною для кожного металу:

Таблиця 3.1 – Значення рН мінімальної корозії

Метал	Al	Pb	Sn	Zn	Fe
рН	6,5	8	8,5	11,5	14

У зоні нейтральних значень рН (від 4 до 9) корозія сталі майже не залежить від її величини, тому що розчинність і швидкість дифузії кисню істотно не змінюються зі зміною величини рН. Зниження швидкості корозії сталі при подальшому збільшенні рН (від 10 до 14) пояснюється головним чином зменшенням розчинності продуктів корозії в лугах (утворення гідратів).

Практично відзначається, що корозія відбувається при $\text{pH} = 7 \div 7,2$ з пухкими відкладеннями. При $\text{pH} \geq 7,5$ продукти корозії стають міцними, що захищають метал від руйнування.

Вплив температури.

Вплив температури на швидкість корозії сталі не однаковий. У закритій системі оборотного водопостачання зі збільшенням температури води корозія збільшується. Це пояснюється гальмуванням вільного виділення

кисню з води. Криві, що характеризують залежність корозії від температури, близькі до прямої лінії (пряма 1, рисунок 3.1)

У відкритій системі оборотного водопостачання за температури води вище 70-80 °C (крива 2, рисунок 3.1) відбувається зниження корозії внаслідок сильного зменшення розчинності кисню з підвищенням температури.

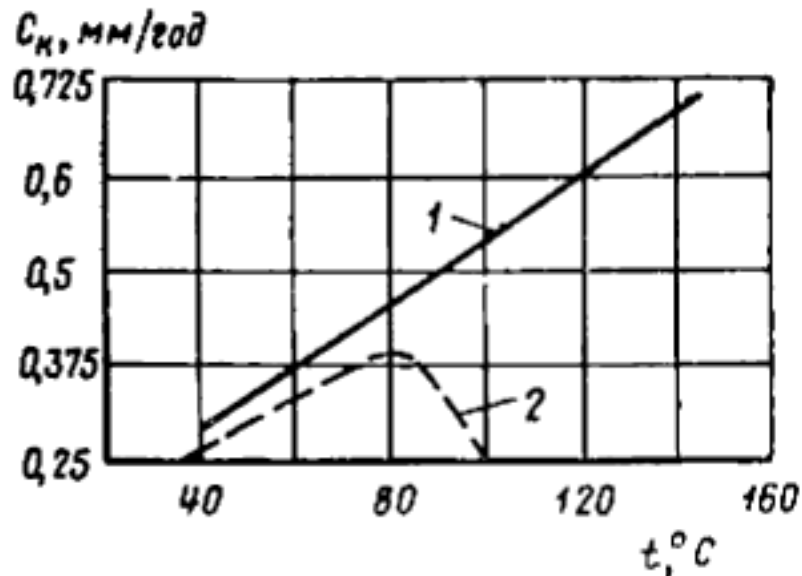


Рисунок 3.1 – Залежність швидкості корозії (C_k , мм/год) сталі у воді від температури t °C

1 - закрыта система; 2 - відкрита система.

Розчинність кисню в воді змінюється залежно від її температури для одного і того ж парціального тиску: при 0 °C зміст O_2 в воді дорівнює 20 cm^3/l (14,16 мг/л); при 20 °C – близько 6 cm^3/l (8,84 мг/л); при 40 °C – близько 4,2 cm^3/l (6,59 мг/л); при 60 °C – близько 3,15 cm^3/l ; при 80 °C – близько 2,2 cm^3/l ; при 100 °C – 0.

Захисні плівки на металах, чутливі до зміни температури, можуть стати причиною зміни швидкості корозії від зміни температури. При цьому характер цієї залежності може бути дуже складним, тому що визначається він температурною залежністю властивостей оксидної плівки, і можливо іншими

факторами (дифузією кисню, його розчинність і зміна катодного перенапруження).

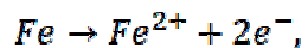
Різна температура окремих ділянок металевої конструкції викликає термогальванічні корозійні пари, в яких більш нагріта зона металу є, як правило, анодом і тому піддається більш інтенсивному анодному розчиненню.

Температура по-різному впливає на перебіг анодного і катодного процесів металу що кородує, тому може змінитися не тільки швидкість, але і полярність електродів. Наприклад, в гальванічній парі Fe-Zn в холодному розчині цинк є анодом, в гарячому розчині (90-95 °C) анодом стає залізо, потенціал якого стає більш від'ємним з підвищенням температури [16].

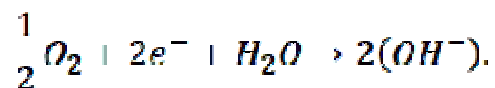
Вплив складу і концентрації корозійного середовища.

Кисень щодо корозії грає двояку роль: він може бути і підсилювачем і сповільнювачем. Корозія збільшується майже пропорційно зміні вмісту кисню в воді. При цьому реакції протікають, наприклад, відповідно до таких рівнянь:

анодний процес



катодний процес



Кисень необхідний для утворення захисних плівок. Він в змозі руйнувати водневу плівку на катоді і утворює у воді іони OH^{-} . Ці іони є додатним електродом, який тягне до себе додатні заряди з металу. Зазначена вище реакція називається процесом з кисневою деполяризацією.

Однак в природних водах (лужних і нейтральних) кисень впливає на щільність захисної плівки, що утворюється: якщо вміст кисню малий, плівка виходить пухкою, погано пристає; за великої концентрації кисню плівка виходить щільною, добре пристає, завдяки чому корозія може припинитися

або сповільнитися. За дослідів багатьох авторів при $pH = 6 \div 8$ і зростанні кількості кисню в воді до $14-20 \text{ см}^3/\text{л}$ корозія збільшується, потім при більшій величині падає, і стає незначною. При кислих водах ($pH < 6$), сповільнююча дія кисню зникає.

Вуглекислота не викликає сильної корозії при лужних і нейтральних водах; при концентрації в воді $CO_2_{\text{своб}}$ в межах до 30 мг/л швидкість корозії вуглецевої сталі залишається майже такою ж, що і в воді, яка не містить вуглекислоти (в даному прикладі, наведеному на рисунку 3.2, рівній $0,13 - 0,15 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}$). Потім вона зростає і перевищує ліміт допустимості концентрації $CO_2_{\text{своб}}$ понад 70 мг/л . Негативний вплив вільної вуглекислоти полягає в тому, що вона утримує в розчині солі кальцію і цим перешкоджає утворення захисної плівки.

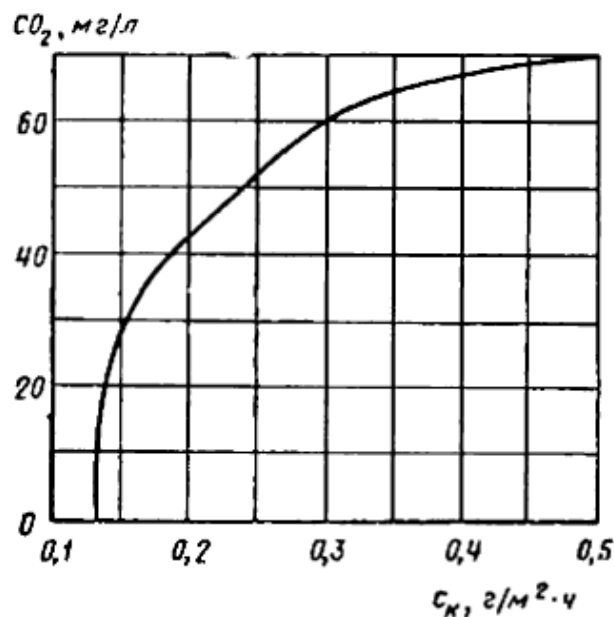


Рисунок 3.2 – Залежність швидкості корозії вуглецевої сталі від концентрації вільної вуглекислоти в воді

Хлориди є прискорювачами корозії з двох причин: по-перше, внаслідок збільшення кислотності води; по-друге, внаслідок руйнівної дії, що чиниться хлорид-іоном на захисну плівку.

Сульфати впливають на корозію металу при карбонатній жорсткості більше 2 мг-екв/л незначно, але здійснюють агресивну дію на бетон. При вмісті сульфатів до 300 мг/л вода вважається слабо агресивною, до 600 мг/л - середньої агресивності і понад 600 мг/л сильно агресивною, а більш 1200-1500 мг/л - дуже сильно агресивною.

Нітрати вже при невеликих концентраціях викликають окиснення металу, що сприяє утворенню на залізі захисної плівки. З точки зору корозії вміст нітратів до 20 мг/л безпечно.

Кислоти прискорюють процес корозії, так як є деполяризаторами.

Сірководень посилює корозію. Він в змозі викликати корозію навіть за відсутності кисню, утворюючи елементарну сірку і сульфід заліза, які будуть катодом щодо основного металу. У присутності кисню сірководень утворює сірчисту і сірчану кислоти, які є деполяризаторами [1].

Вплив швидкості потоку електроліту.

Вплив швидкості потоку електроліту на швидкість корозії металів досить складний. Він особливо помітний, якщо метал кородує з кисневою деполяризацією. Потік електроліту змінює швидкість підведення кисню до металу і може змінити контролюючу стадію. Вплив швидкості потоку залежить також від корозійної активності середовища.

У корозійних середовищах швидкість корозії металів, як правило, зростає в міру зростання швидкості потоку V (рис. 3.3, а). Якщо ж метал перебуває в середовищі, здатному пасивувати метал, то залежність швидкості корозії такого металу від швидкості потоку помітно ускладнюється (рисунок 3.3, б).

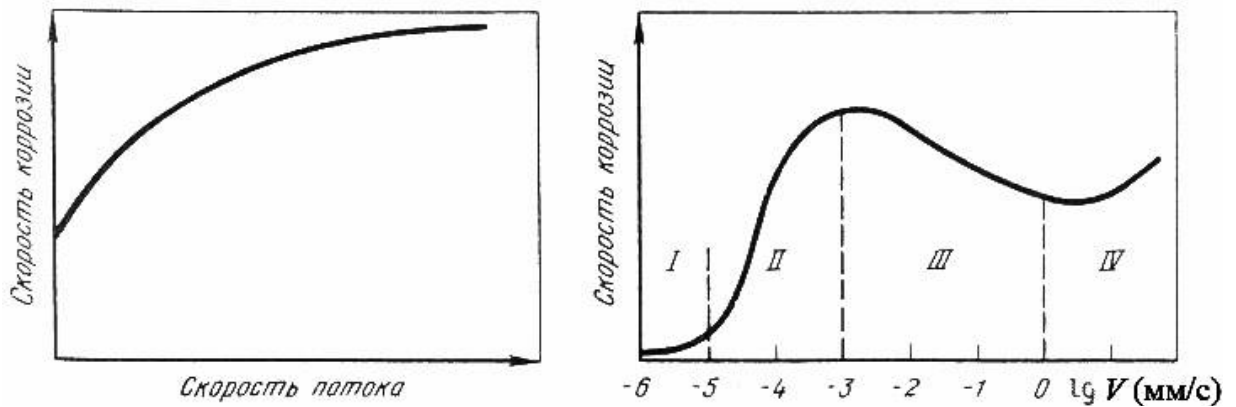


Рисунок 3.3 – Залежність швидкості корозії металу що не пасивується (а) і металу що пасивується (б) від швидкості потоку

Сталь в водопровідній воді, насиченій киснем, спочатку кородує тим вище, чим вище швидкість потоку (I, II). Це обумовлено збільшенням доступу кисню до поверхні металу. Катодний процес кисневої деполяризації полегшується, але до певної межі.

При досягненні такої швидкості потоку, при якій кількість кисню, досить для початку пасивації металу, останній у міру підвищення швидкості потоку буде переходити в усі більш стійке пасивне стан (III) до тих пір, поки швидкість потоку не досягне таких величин, при яких можливий механічний збій (руйнування) захисної плівки, і метал почне кородувати з підвищеною швидкістю (IV). За високих швидкостей потоку, метал може руйнуватися також внаслідок ерозії або кавітації [16].

При великій швидкості потоку рідини і дії його в розпиленому вигляді руйнування металу може бути викликано так званої ударною корозією. Такий вид корозії спостерігається, наприклад, в результаті дії ударів струменя вологої пари на метал при роботі лопатей циркуляційних насосів.

Експериментальні дані показують, що при ударній корозії швидкість руйнування металу обернено пропорційна границі його міцності. Руйнування носить в основному механічний характер.

Якщо в потоці рідини утворюються простори зі зниженим тиском (вакуумні порожнечі), то спостерігається особливий вид руйнування, який

зветься кавітацією. Причиною кавітації є гідравлічні удари, що виникають внаслідок того, що в вакуумні порожнечі з силою спрямовується потік рідини, який руйнує метал. Такий вид руйнування металу спостерігається на лопатках гідравлічних турбін, на лопатях пропелерних мішалок, в насосах, в трубах і т.п. Руйнування в зоні кавітації характеризується появою безлічі дрібних поглиблень, що переходять в раковини [4].

Вплив осадів і біологічних обростань.

Осади незалежно від їх природи сприяють швидкому розвитку локальної корозії. Утворюючись з механічних домішок, карбонатних або інших, відкладення викликають місцевий перегрів металу і швидке його руйнування.

Біологічні обростання завжди пов'язані з осадженням механічних домішок, тому вони також викликають локальні корозійні елементи і стимулюють розвиток точкової (пітингової) корозії. В окремих випадках можуть розвиватися залізобактерії (при вмісті у воді заліза не менше 0,2 мг / л), які переводять закисне залізо $Fe(OH)_2$ в окисне $Fe(OH)_3$ [1].

Вплив контакту з іншими металами.

Контакт з іншими металами також може стати причиною прискорення корозії в трубопроводах оборотної води. Якщо контактують два метали з різними електродними потенціалами, то відбувається взаємний вплив одного металу на інший. При контакті двох електрохімічно-різнорідних металів анодом називається той, потенціал якого більш від'ємним, а катодом - метал з більш додатним потенціалом. У металі з більш негативним потенціалом (анода), як правило, підвищується швидкість корозії; у більш позитивного металу (катода) швидкість корозії знижується або корозія припиняється повністю.

При контактній корозії на поверхні обох складових системи реалізується компромісний потенціал. Швидкості розчинення обох складових системи при цьому потенціалі будуть відрізнятися від індивідуальних

швидкостей розчинення кожної зі складових у тому ж розчині. Залежно від потенціалу, який набуває система, швидкість розчинення катода може бути вище, нижче або дорівнює його власній швидкості розчинення в тому ж електроліті. Ефективність прискорюючого впливу катодного контакту на корозію основного металу в звичайних умовах залежить [16]:

- від природи металів (електродного потенціалу в даному середовищі і поляризуємості електродних процесів);

- від площі контактує металу – з збільшення площі катодного металу розчинність основного (анодного) металу зростає.

РОЗДІЛ 4

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НА КОРОЗІЮ ТРУБОПРОВІДІВ

На лабораторній установці, представлений на схемі 2.1, яка імітує водооборотний цикл, досліджувався вплив температури, швидкості потоку, аерації, рН на корозію трубопроводу виконаного зі сталі 09Г2С.

Було отримано експериментальні дані, які представлено у вигляді графіків, що зображено на рисунках 4.1 – 4.4.

Змінною величиною при проведенні експерименту, у кожному випадку, є лише один вхідний керуючий параметр, а інші вхідні керуючі параметри мають постійну, незмінну величину.

Було отримано висновки того, як кожен технологічний параметр впливає на перебіг корозії трубопроводу, та доцільність застосування сталі 09Г2С в якості конструкційного матеріалу трубопроводу оборотної води.

В підрозділі 4.5 наведено порівняння швидкості корозії отриманої системою та швидкості корозії отриманої гравіметричним методом. Результати вимірювання зведені в таблицю 4.1, визначено і занесене в таблицю середнє відхилення швидкості корозії отриманої системою від швидкості корозії отриманої гравіметричним методом

4.1 Вплив температури на корозію трубопроводів

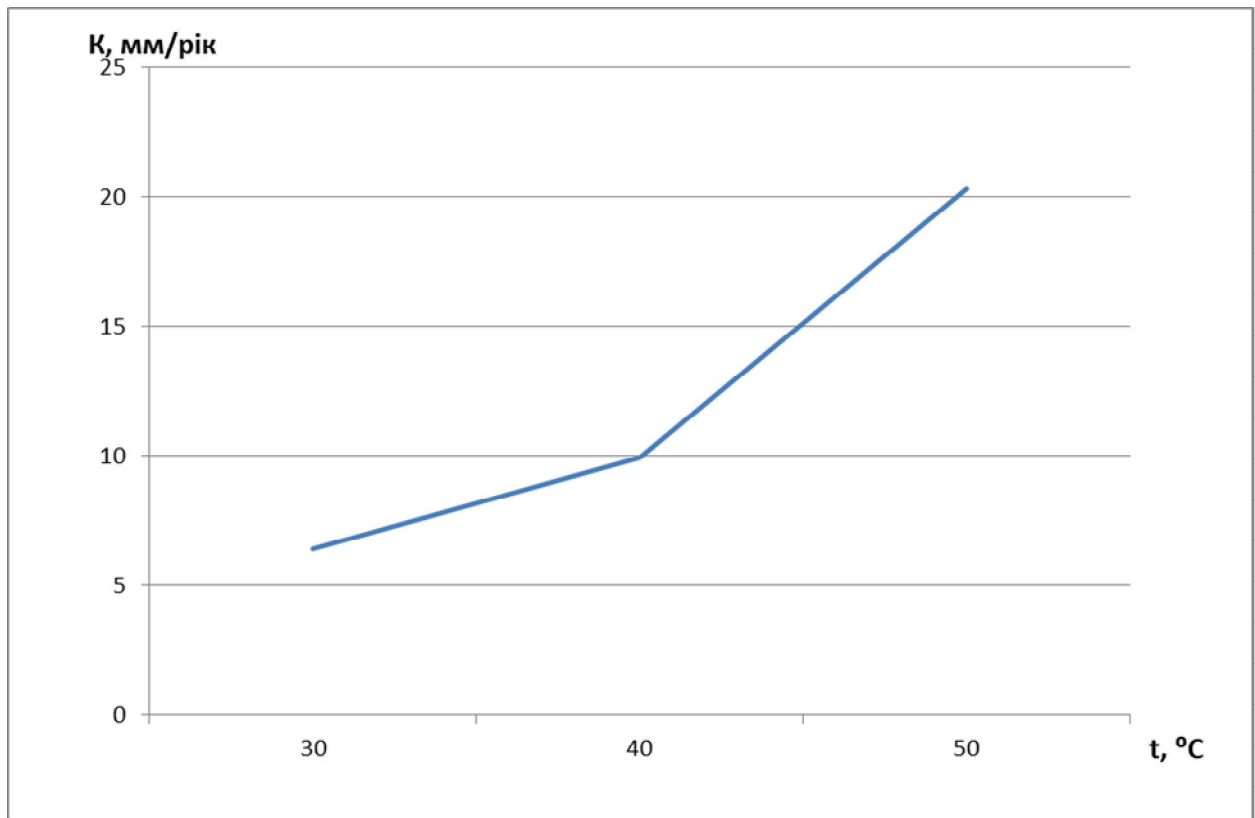


Рисунок 4.1 – Залежність корозії (K) сталі 09Г2С від температури (t); вода + 3% NaCl, аерована, рН=7, швидкість потоку 1,75м/с

Як видно з графіка, за температури води 30 °C, швидкість корозії сталі 09Г2С складає приблизно 6 мм/рік, це значення знаходиться в діапазоні від 5.0 до 10.0 мм/рік і належить до групи стійкості матеріалу – малостійкі [49], а при збільшенні температури оборотної води швидкість корозії збільшується. Тому сталь 09Г2С не можна використовувати в якості матеріалу для труб водооборотного циклу.

Висновок: при збільшенні температури оборотної води швидкість корозії збільшується.

4.2 Вплив швидкості потоку на корозію трубопроводів

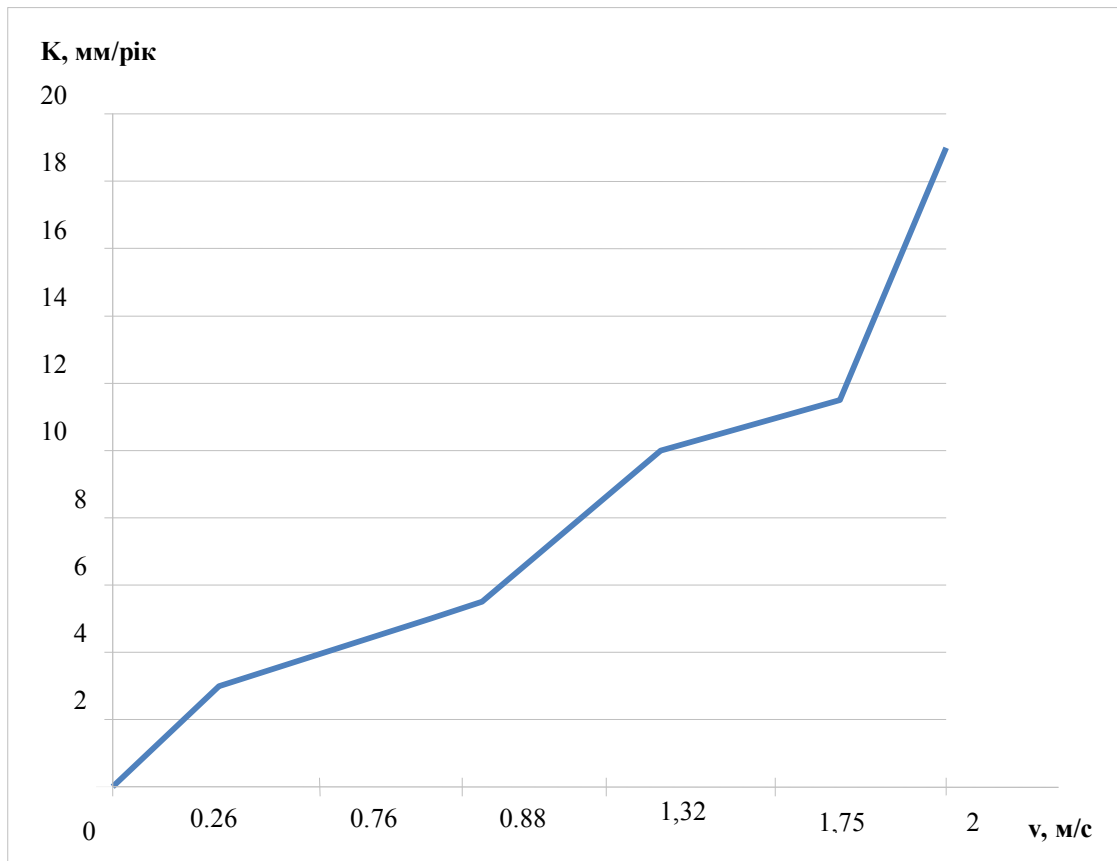


Рисунок 4.2 – Залежність корозії (K) сталі 09Г2С від швидкості потоку (v);
вода +3% NaCl, аерована, рН=7, t=40 □

Як видно з графіка, при швидкості потоку 0,26 м/с швидкість корозії сталі 09Г2С складає 3 мм/рік, це значення знаходиться в діапазоні від 1.0 до 5.0 мм/рік і належить до групи стійкості – малостійкі[49], а при збільшенні швидкості потоку оборотної води швидкість корозії збільшується. Тому сталь 09Г2С не можна використовувати в якості матеріалу для труб водооборотного циклу.

Висновок: при збільшенні швидкості потоку оборотної води швидкість корозії збільшується.

4.3 Вплив аерації на корозію трубопроводів

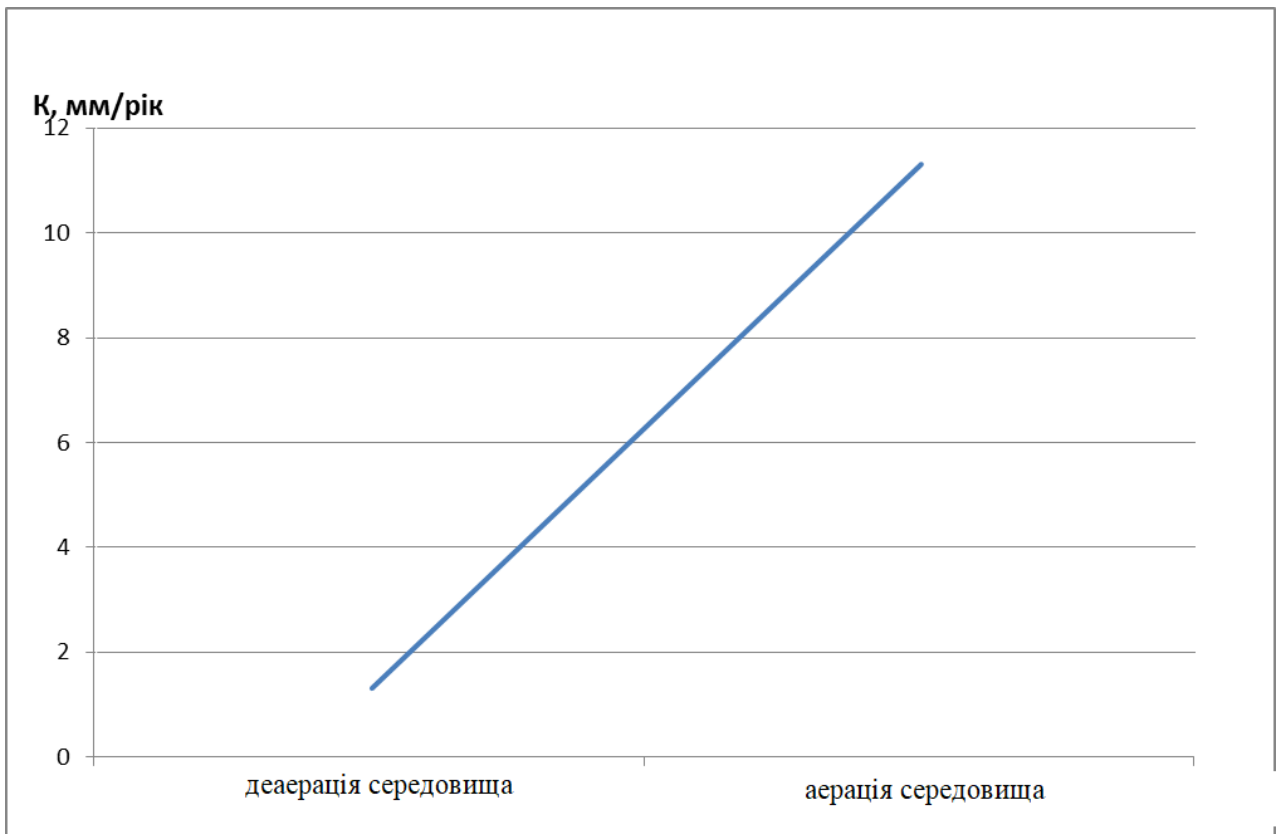


Рисунок 4.3 – Залежність корозії (K) сталі 09Г2С від аерації; вода+3% NaCl, рН=7, швидкість потоку 1,75 м/с, t=40 °C

Як видно з графіка, у воді без вмісту кисню значення швидкості корозії складає більше ніж 1 мм/рік, знаходиться в діапазоні, від 1.0 до 5.0 мм/рік, і належить до групи стійкості – малостійкі[49]. Тому сталь 09Г2С не можна використовувати в якості матеріалу для труб водооборотного циклу, навіть якщо значення вмісту кисню в воді досягає нуля. Існує лінійна залежність між ступенем аерації води і швидкістю корозії у трубопроводі.

Висновок: по мірі збільшення вмісту кисню у оборотній воді, збільшується швидкість корозії трубопроводу.

4.4 Вплив рН середовища на корозію трубопроводів

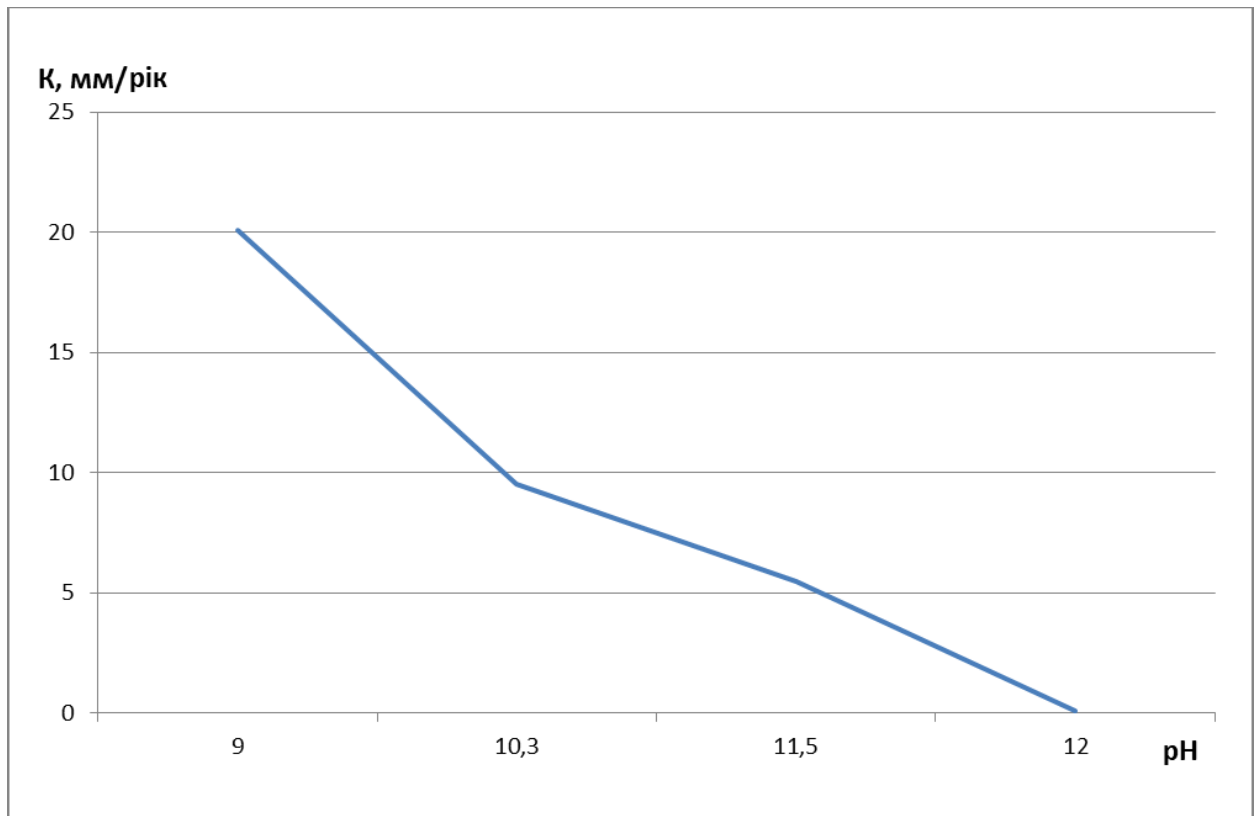


Рисунок 4.4 – Залежність корозії (К) сталі 09Г2С від рН; вода+3% NaCl, аерована, швидкість потоку 1,75 м/с, $t=40$ °C

Як видно з графіка, при значенні рН=12, швидкість корозії складає 0 мм/рік, але при відхиленні рН середовища на 0,5 у меншу сторону, що відповідає значенню кислотності 11,5, можна спостерігати швидкість корозії трубопроводу що дорівнює 5 мм/рік, це значення знаходиться в діапазоні від 5.0 до 10.0 мм/рік і належить до групи стійкості – малостійкі [49].

Тому можна зробити висновок, що сталь 09Г2С не слід використовувати в якості матеріалу труб водооборотного циклу, якщо рН середовища менше 12.

Висновок: швидкість корозії зменшується при підвищенні рН середовища, трубопровід перестає кородувати повністю, після досягнення рН=12.

4.5 Порівняння швидкості корозії отриманої системою та швидкості корозії отриманої гравіметричним методом

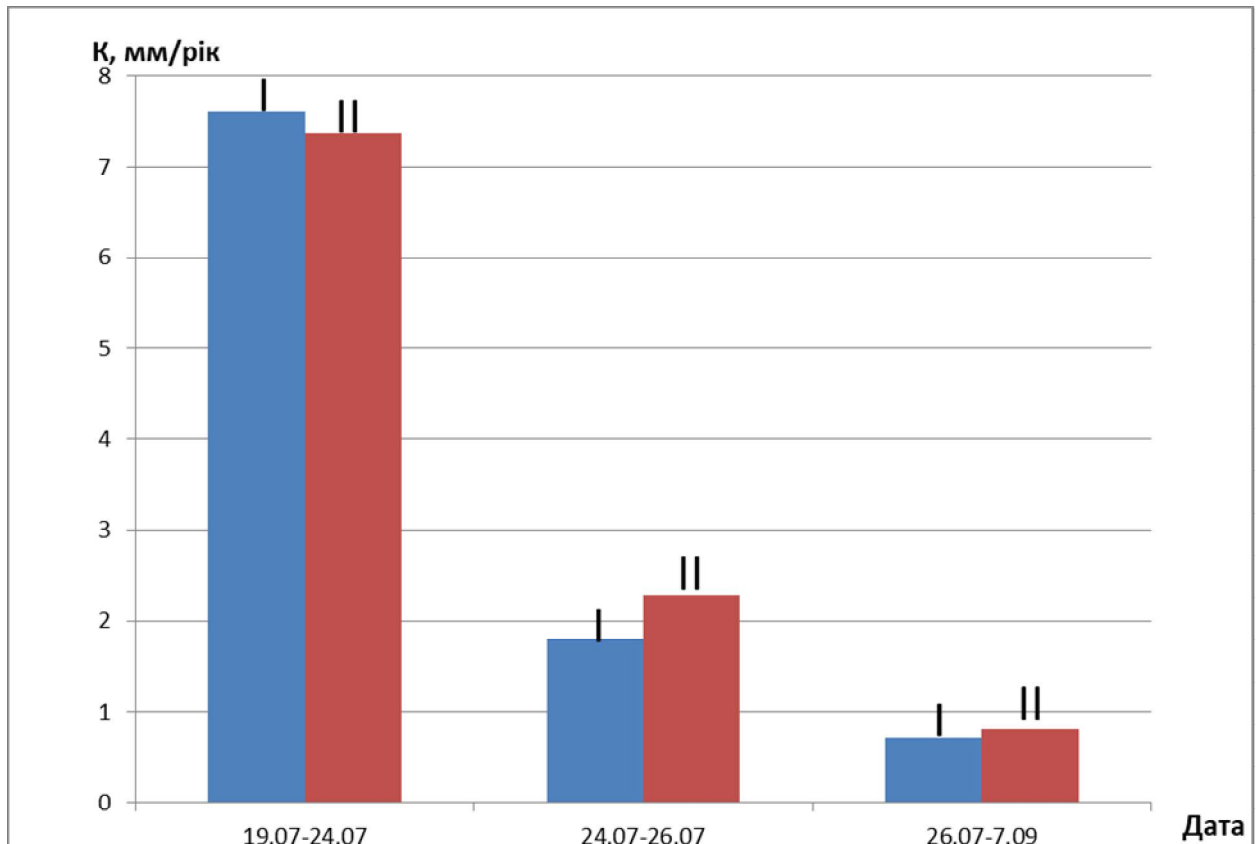


Рисунок 4.5 – Швидкість корозії (K) труби з вуглецевої сталі (внутрішній діаметр 22 мм): I- отримана системою, II- отримана гравіметричним методом; вода+3% NaCl, аерована, швидкість потоку 1,75 м/с, $t=40$ °C, pH=7

Графік представлений на рисунку 4.5 містить порівняння швидкості корозії отриманої системою та швидкості корозії отриманої гравіметричним методом. Результати вимірювання зведені в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Порівняння швидкості корозії отриманої системою, та швидкості корозії отриманої гравіметричним методом

№ вимірювання	Швидкість корозії, мм/рік		Відхилення швидкості корозії отриманої системою від швидкості корозії отриманої гравіметричним методом, %
	Система	Гравіметричний метод	
1	7,6	7,4	2,63
2	1,8	2,2	22,22
3	0,75	0,8	6,67

Після трьох вимірювань середнє відхилення швидкості корозії отриманої системою від швидкості корозії отриманої гравіметричним методом складає 10,5 %.

РОЗДІЛ 5

ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

Існує ряд інструкцій з техніки безпеки, яких треба дотримуватись під час виконання магістерської роботи, а саме «Інструкція з безпеки життєдіяльності № 4 при проведенні навчального процесу у комп'ютерних лабораторіях кафедри машинознавства та обладнання промислових підприємств (МОПП)», «Інструкція з безпеки життєдіяльності № 8 при виконанні лабораторних робіт студентами кафедри машинознавства та обладнання промислових підприємств (МОПП)», «Інструкція з охорони праці № 11 при роботі на електрообладнанні, вимірювальних приладах і персональному комп'ютері на кафедрі машинознавства та обладнання промислових підприємств (МОПП)».

Загальні положення інструкції з безпеки життєдіяльності №4 говорять те, що до роботи із засобами обчислювальної техніки допускаються особи, які пройшли медичний огляд та 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. Студенти, які не пройшли медичний огляд і інструктаж з питань охорони праці та безпеки життєдіяльності у встановлені терміни, до занять в лабораторіях не допускаються.

Забороняється:

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

- користуватися електронагрівальними приладами, встановлювати на вікнах глухі решітки, користуватися відкритим вогнем у приміщеннях комп'ютерних лабораторій.

В інструкція з безпеки життєдіяльності № 8, вказано що перед початком роботи необхідно візуально перевірити справність обладнання, проводки, вилок, розеток, перевірити достатність освітлення робочих місць, цілісність заземлюючих провідників і надійність заземлюючих контактів на робочих столах і на контурі захисного заземлення.

При виявленні будь-яких несправностей до роботи не приступати, негайно повідомити викладачеві, зав. лабораторією.

Під час виконання роботи працювати тільки на справному обладнанні, підключати і відключати електроприлади необхідно тільки тримаючись за вилку.

Забороняється:

- торкатись електрообладнання та електроприладів мокрими або вологими руками;
- виконувати будь-які ремонтні роботи на електрообладнанні і електроприладах, переміщати з місця на місце включені в мережу електроприлади;
- підключати кілька споживачів електроенергії до однієї мережевої розетки, щоб уникнути перевантаження;
- захарашувати підступи до електричних пристроїв (шаф, автоматичних вимикачів, розеток) і відкривати їх.

Після закінчення роботи необхідно відключити електроприлади та електрообладнання, привести до ладу робоче місце.

При роботі з електрообладнанням і приладами можливі наступні аварійні ситуації:

- загоряння горючих матеріалів;
- ураження електричним струмом.

У випадку загоряння слід негайно знеструмити електрообладнання загальним автоматичним вимикачем і приступити до гасіння пожежі

первинними засобами пожежогасіння. Доповісти про спалах викладача, зав. лабораторією і надалі діяти за їх вказівці.

У разі ураження електричним струмом знеструмити електрообладнання, надати першу допомогу потерпілому, при необхідності викликати швидку допомогу за тел. 103. Негайно повідомити про подію викладачеві, зав. лабораторією.

Згідно з інструкцією № 11 при роботі на електрообладнанні, вимірювальних приладах і персональному комп'ютері, треба дотримуватись загальних вимог безпеки.

Перед початком роботи необхідно одягнути спецодяг, перевірити з'єднання обладнання з контуром захисного заземлення, справність обладнання, інструменту, автоматичних вимикачів, розеток, вилок, освітлення, а також наявність первинних засобів пожежогасіння.

Перед підключенням обладнання до мережі необхідно перевірити ланцюг захисного заземлення в мережевих розетках. Підключення системного блоку комп'ютера і монітора до мережі змінного струму здійснювати за допомогою спеціальної розетки, що має заземлюючий контакт. Заземлювальні контакти розеток повинні бути надійно з'єднані з контуром захисного заземлення.

Перед початком роботи заземлити прилади, принтери та інші периферійні пристрої.

При експлуатації електрообладнання необхідно строго керуватися правилами, викладеними в технічному паспорті. Особливу увагу слід приділяти електрообладнанню, яке цілодобово працює.

При виявленні несправностей електрообладнання, приладів, стендів, захисного заземлення повідомити про це завідувачому кафедрою, завідувачеві лабораторії чи іншого керівника робіт.

Працівникам і студентам дозволяється працювати тільки на справних вимірювальних приладах, персональних комп'ютерах і іншому електрообладнанні.

При роботі з електрообладнанням і електроприладами можливі випадки ураження людей електричним струмом. Причинами цього можуть бути:

- одночасний дотик руками або металевим предметом до корпусу електрообладнання і оголених проводів;
- робота на несправному електрообладнанні;
- порушення правил користування електрообладнанням.

Працівникам і студентам забороняється:

- працювати на вимірювальних приладах, персональному комп'ютері при знятому кожусі, з'єднувачі сполучати ривками, докладаючи значних зусиль;

- висмикувати штепсельні роз'єми, вилки і фішки, взявшись за провід. Відключення виробляти тільки взявшись за роз'єм, вилку або фішку, щоб уникнути короткого замикання і можливого при цьому нещасного випадку (опіку);

- працювати на вимірювальних приладах, персональному комп'ютері у вологому одязі, вологими руками, перебувати від монітора або телевізора на відстані менше 50 см, перекривати вентиляційні отвори в корпусі системного блоку і приладах, встановлювати на корпус персонального комп'ютера і іншу оргтехніку сторонні предмети;

- палити в лабораторіях;
- залишати без нагляду, ремонтувати і переносити включене в мережу електрообладнання;

- підключати кілька споживачів електроенергії до однієї змінного струму;

- заміна перегорілих запобіжників «жучками». Необхідно застосовувати тільки калібровані запобіжники заводського виготовлення.
- захищати підступи до електричних пристроїв (шаф, автоматичних вимикачів, розеток), а також відкривати їх;
- використання бензину, гасу та інших легкозаймистих рідин при проведенні профілактичних і ремонтних робіт.

Роботи по ремонту вузлів, блоків персонального комп'ютера і приладів безпосередньо в лабораторії не допускаються. Ремонт електрообладнання та вимірювальних приладів повинні виконувати працівники кафедри і в окремих приміщеннях.

При раптовому припиненні подачі електроенергії всі вимикачі і рубильники повинні бути негайно вимкнені.

Не допускається залишати неізольованими оголені дроти, перевантажувати електромережу, користуватися розбитими вилками, розетками та вимикачами.

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

При роботі з електропаяльником слід використовувати вогнетривку підставку з пристроєм для зменшення споживаної потужності в неробочому стані.

Робоче місце містити в сухому і чистому стані.

При виявленні несправностей електрообладнання, вимірювальних приладів, стендів, при відсутності їх заземлення, а також при появі іскріння або характерного запаху перегрітої ізоляції, негайно знеструмити їх і повідомити про це керівнику занять, обслуговуючому персоналу або безпосередньо керівнику.

Приступати до роботи дозволяється тільки після усунення помічених несправностей електрообладнання, вимірювальних приладів і стендів.

Приміщення, в якому встановлені персональні комп'ютери та інша техніка, має мати автономний контур захисного заземлення.

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

При проведенні профілактичних і ремонтних робіт дозволяється використовувати ізопропіловий або етиловий спирт.

Дозволяється зберігати запас легкозаймистих рідин, що не перевищує 0,5 літра. Зберігання запасу дозволяється в неспаленій тарі з щільно закритою кришкою.

Після закінчення роботи необхідно вимкнути прилади, персональні комп'ютери, стенди, всі автоматичні вимикачі, відключити використовувані подовжувачі мережі 220 V.

Один раз в квартал проводити очищення від пилу і бруду за допомогою пилососа, щітки і бязі вузлів вимірювальних приладів, персональних комп'ютерів, макетів, і іншого електроустаткування.

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

Зняти спецодяг, помістити її в спеціально відведене місце.

При відході з приміщення необхідно вимкнути всі споживачі електроенергії.

Про виявлені під час роботи і після закінчення роботи про несправності й неполадки електроустаткування повідомити керівнику занять, обслуговуючому персоналу або безпосередньо керівнику робіт.

Здати ключі від лабораторії сторожу-вахтеру.

При роботі з електрообладнанням і вимірювальними приладами на кафедрі МОПП можливі наступні аварійні ситуації:

- загоряння горючих матеріалів;
- поразка електричним струмом.

Джерелами загоряння в лабораторіях, комп'ютерному класі можуть бути електронні вузли приладів і блоки комп'ютерів, принтерів, приладів, пристроїв електроживлення, електропаяльники, де в результаті різних порушень перегріваються електронні компоненти схем, дроти, утворюються електричні іскри і дуги, здатні викликати загоряння горючих матеріалів.

Обслуговуючий персонал і користувачі вимірювальних приладів, персональних комп'ютерів зобов'язані знати розташування засобів пожежогасіння та вміти ними користуватися.

При пожежі:

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

У разі ураження електричним струмом слід негайно знеструмити електрообладнання і викликати швидку допомогу за телефоном 103. Працівники та студенти зобов'язані знати заходи надання першої допомоги потерпілому при ураженні електричним струмом і вміти надати при необхідності.

Негайно повідомити про нещасний випадок безпосереднього керівника робіт, завідувачу кафедри або завідувачу лабораторії.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі проведено дослідження впливу температури, швидкості потоку, аерації, рН середовища на корозію трубопроводів оборотної води, що є основним чинником їх корозії в сучасних системах водопостачання, також розглянуто можливість корозійного моніторингу трубопроводів методом електричного опору.

Отримані наступні наукові результати:

1. Для досягнення оптимальних показників оборотної води, що проходить по трубопроводу, необхідно врахувати та максимально зменшити вплив чотирьох основних факторів, що ведуть до зростання швидкості внутрішньої корозії, а саме температура, швидкість потоку, аерація, рН середовища.
2. Визначено вплив на швидкість корозії кожного з основних факторів.
3. Для своєчасного отримання даних про розвиток корозійних процесів і ранньої профілактики корозійних руйнувань, оцінки і прогнозування залишкового ресурсу трубопроводів, контролю корозійної активності середовища розглянуто можливість застосування сучасних систем корозійного моніторингу заснованих на зміні електричного опору.
4. Розглянутий метод електричного опору за своїми метрологічними характеристиками і технічними показниками може бути рекомендований для використання в сучасних системах оборотної води.
5. Сталь 09Г2С не можна використовувати в якості матеріалу для труб водооборотного циклу, але вона добре підходить для наочної демонстрації корозійних процесів в водному середовищі.

ЛІТЕАТУРА

1. Шабалин А.Ф. Обратное снабжение промышленных предприятий / А.Ф. Шабалин – М.: Стройиздат, 1972. – 296 с.
2. Жук Н.П. Курс теории коррозии и защиты металлов /Н.П. Жук – М.: Металлургия, 1976. – 472 с.
3. Улиг Г. Коррозия металлов / Г. Улиг – М.: Металлургия, 1968. – 308 с.
4. Довгалов Л.Ю. Система непрерывного измерения скорости коррозии технологического оборудования в условиях эксплуатации / Л.Ю. Довгалов, Д.О. Ковалев, А.В. Ушакова и др. // Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів. – 2016. – № 11. – С. 292-296.
5. Розенфельд И.Л. Ускоренные методы коррозионных испытаний / И.Л. Розенфельд, К.А. Жигалова. – М.: Металлургия, 1966. – 349 с.
6. Томашов Н.Д. Заводская лаборатория / Н.Д. Томашов, О.Г. Дерягина, 1957., т. XXIII, №6, 679 с.
7. Постников В.С. Прибор для определения модуля сдвига и внутреннего трения проволочных образцов / В.С. Постников, Ю.В. Пигузов, ИТЭИН, № ПС-55-448, 1955.
8. Павлов С.Е. Коррозия дуралюмина / С.Е. Павлов, Оборонгиз, 1949. – 220 с.
9. Клинов И.Я. Коррозия химической аппаратуры и коррозионностойкие материалы / И.Я. Клинов – М.: Машиностроение, 1967. – 462 с.
10. Шрайер Л.Л. Коррозия / Л.Л. Шрайер – М.: Металлургия, 1981. – 632 с.
11. Dravnieks A. and Cataldi, H.A., Corrosion, 1954, v. 10, p. 224.
12. March, G.A. and Schaschl, E., Corrosion, 1958, v. 14, p. 155-155t.
13. Акользин А.П. Кислородная коррозия оборудования химических производств / А.П. Акользин, А.П. Жуков – М.: Химия, 1985. – 240 с.
14. Акользин А. П. Новые методы исследования коррозии металлов / А.П. Акользин М., Е.Н. Иванов – М.: Наука, 1973. – с. 131-142.

15. Фокин М.Н. Методы коррозионных испытаний металлов / М.Н. Фокин, К.А Жигалова – М.: Металлургия, 1986. – 80 с.
16. Михайловский Ю.Н. Заводская лаборатория / Ю.Н. Михайловский, Н.Д. Томашов, 1957, т. 23, № 12, С. 1462-1466.
17. Розенфельд И.Л. Защита металлов от коррозии лакокрасочными покрытиями / И.Л. Розенфельд, Ф.И. Рубинштейн, К.А. Жигалова – М.: Химия, 1987. – 224 с.
18. Фарамазов С.А. Ремонт и монтаж оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов / С.А. Фарамазов – М.: Химия, 1988. – 304 с.
19. Акользин А.П. Контроль коррозии металла котлов / А.П. Акользин – М.: Энергоатомизтад, 1994. – 240 с.
20. Новицкий В.С. Коррозионный контроль технологического оборудования / В.С. Новицкий, Л.М. Писчик – К.: Наукова думка, 2001. – 171 с.
21. Rosenberg R. II Chem.—Anlag+Verahren. — 1989. — 22, N 8. — P. 95—17.
22. Дегтярев В.Н. II Трубопроводн. транспорт нефти. — 1994. — № 6. — С. 25—27.
23. Corrosion monitoring system provided pay-back of three weeks //Anti- Corros. Meth. and Mater. — 1999. — 46, N 2. — P. 133.
24. Rothwell G.P. /7Chem. Eng. (USA). — 1979. — 86, N 10. —P. 107, 108, 110, 112.
25. Друченко В.А., Новаковский В.М., Чирва А.К. и др. II Защита металлов. — 1977. —13, № 3. — С. 281—287.
26. Sattler F.J. II Chem. Eng. (USA). — 1989. — 96, N 9. — P. 161—167.
27. Rothwell AM, Walsh T.O., Cox W.M. II The NACE Annual Conf. and Corros. Show, March 11—15, 1991. — Cincinnati, Ohio. —1991. — Paper N 170.
28. Абрамян А.А. Газ. пром-сть. / А.А. Абрамян А.В., Маняченко, А.В Ляшенко II — 1989. — № 3. — С. 32—33.

29. Бендов М.С. Современные методы мониторинга коррозии / М.С. Бендов // Молодой ученый. — 2010. — №10. — С. 14-16.
30. Семенова И.В. Коррозия и защита от коррозии / И.В. Семенова, Г.М. Флорианович, А.В. Хорошилов / Под ред. И.В. Семеновой – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. 2. – 336 с.
31. Довгалов Л.Ю. Система мониторинга скорости коррозии углеродистой стали в средах водооборотных циклов методом электрического сопротивления / Л.Ю. Довгалов., А.А. Анохин, Е.Ю. Ушакова и др. // Вісник СНУ ім. В.І. Даля. – 2013. – №13. – С. 194-200.
32. Лобова П.А. Коррозионный мониторинг как средство управления целостностью трубопроводов в нефтехимической промышленности / П.А. Лобова, А.Н. Баранов // Системы. Методы. Технологии. П.А. Лобова и др. Коррозионный мониторинг. – 2014. – №3(23) с.125-128.
33. Коротов В.В. Методы мониторинга коррозии трубопровода / В.В. Коротов, Д.Э. Иванова, В.А. Русин, И.М. Винокурова
34. Руководство по эксплуатации систем коррозионного мониторинга магистральных трубопроводов (для опытно-промышленной апробации). М.: ВНИИГАЗ, 2004. 400 с.
35. Рачев Х. Справочник по коррозии / Х. Рачев, С. Стефанова – Мир, 1982. – 519 с.
36. Замалетдинов И.И. Электрохимическая коррозия и защита металлов: учеб. пособие / И.И. Замалетдинов. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2010. – 152 с.
37. Поляков С. Г. Коррозионный контроль и защита металлов / С.Г. Поляков — Киев, 1984. —23с.
38. Притула В.А. Защита заводских подземных трубопроводов от коррозии / В.А. Притула – М.: Metallurgizdat, 1961. – 386 с.

39. Поляков С. Г. Электрохимический мониторинг техногенных сред / Поляков С. Г., Чвирук В. П., Герасименко Ю. С. – К.: Академперіодика, 2007. – 380 с.
40. Плудек В. Защита от коррозии на стадии проектирования / В. Плудек – М.: Мир, 1980.-438с
41. Маттссон Э. Электрохимическая коррозия / Э. Маттссон – М.: Металлургия, 1991. – 158 с.
42. Сухотин А.М. Коррозионная стойкость оборудования химических производств. Коррозия под действием теплоносителей, хладагентов и рабочих тел: Справ. изд. / А.М. Сухотин, А.Ф. Богачев, В.Г. Пальмский и др./ Под ред. А.М. Сухотина, В.М. Беренблит. – Л.: Химия, 1988 – 360 с.
43. Балабан-Ирменин Ю.В. Защита от внутренней коррозии трубопроводов водяных тепловых сетей. 2-е издание. Переработанное, дополненное /
44. Кеше Г. Коррозия металлов. Физико-химические принципы и актуальные проблемы, пер. с немецкого / Г. Кеше – М.: Металлургия. 1984. – 400 с.
45. Романов В.В. Методы исследования коррозии металлов / В.В. Романов – М.: Металлургия, 1965, 280с.
46. Антропов Л.И. Теоретическая электрохимия /Л.И. Антропов – М.: Высш. шк., 1984. – 519 с.
47. Багоцкий В. С. Основы электрохимии / Багоцкий В. С. – М., 1988. – 400 с.
48. Папазов Б. II Биотехнол.-хим / Б. Папазов, Д. Павлов, В. Тасева; — 1989. — 1, № 6— 7.—С. 53-64.
49. Воробьева Г.Я. Коррозионная стойкость материалов в агрессивных средах химических производств. Изд. 2-е пер. и доп. М., «Химия», 1975. – 816 с.
50. Шабалин А.Ф. Развитие научных основ оборотного водоснабжения промышленных предприятий. / А.Ф. Шабалин Инф. Вып. Главпромстройпроекта Госстроя СССР по обмену опытом в троит. Проект. Серия 2, № 41, 1967

51. Плюмер Л. Химия обработки воды в оборотных циклах / Л. Плюмер «Черные металлы», 1967. – № 13.
52. Ю.В. Балабан-Ирменин, В.М. Липовских, А.М. Рубашов – М.: Издательство «Новости теплоснабжения», 2008. – 288 с.
53. Архипов О. Г. Оцінка деградації сталей обладнання нафтопереробних і хімічних виробництв / О. Г. Архипов, О. В. Зінченко, Д. О. Ковальов [та ін.] // Металеві конструкції. – 2009. – № 2, том 15.– С. 115–122.
54. Монахов А.Н. Опыт применения датчиков коррозии в системах коррозионного мониторинга / А.Н. Монахов, А.Н. Кузнецов, М.А. Монахова // Коррозия – 2016. – № 2 (41). – С. 46-49.
55. Учанин В.Н. II Матеріали IV Міжнар. конф.-вист. «Проблеми корозії і протикорозійного захисту матеріалів», 9—11 червня / В.Н. Учанин, Г.Н. Макаров , 1998. — Львів, 1998.—С. 512—514.
57. Corrosion monitoring II Anti-Corros. Meth. and Mater. —1995. — 42, N 4. — P.32.
56. Illsson T., Eley G., Mok W.Y. et al. II Werkst. und Korr. — 1992. — 43, N 6. — S. 321—328.
57. R. P. Russell, E. L. Chappell, A. White Effect of Velocity on Corrosion of Steel under Water¹, Ind. Eng. Chem., 1927, 19 (1), pp 65–68
58. H. R. Copson Effects of Velocity on Corrosion by Water, Ind. Eng. Chem., 1952, 44 (8), pp 1745–1752.
59. Eliassen, R., Pereda, C., Romeo, A., & Skrinde, R. (1956). Effects of pH and Velocity on Corrosion of Steel Water Pipes, Journal (American Water Works Association), 48(8), 1005-1018.
60. Legal A., Zevnik C. II Electrotechn.Vesta. — 1991. — 38, N 1. — P. 28—32.
61. 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.