

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра будівництва та професійної освіти

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

на тему: **«Аналіз корозійної стійкості арматури ЗБК з
використанням фізико – математичної моделі»**

КРМ.192 БЦмд_21 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти
за освітньо-професійною програмою
«Технології будівельних конструкцій,
виробів і матеріалів» спеціальності 192
«Будівництво та цивільна інженерія»
ступеня вищої освіти магістр групи
192БЦмд_21
Христенка Юрія Володимировича
Керівник: Бондар Л.В.

Полтава 2025 року

Вступ

Сьогодні залізобетонні конструкції залишаються одним із ключових матеріалів сучасного будівництва. Поєднання бетону та арматури забезпечує їхню високу міцність і надійність. Проте з часом у таких конструкціях розпочинаються процеси корозії арматури, що негативно позначається на їхній довговічності та здатності витримувати навантаження. Обсяги споруд, які експлуатуються в умовах агресивного середовища, постійно зростають. У перших залізобетонних будівлях значні запаси міцності довгий час приховували проблему корозії, однак удосконалення методів розрахунку, економія цементу, зменшення перерізів та використання конструкцій у виробничих приміщеннях із агресивними факторами призвели до збільшення випадків пошкодження арматури.

Щороку спостерігається тенденція до посилення впливу агресивних середовищ на залізобетонні споруди. Це пояснюється інтенсифікацією виробництва, зниженням міцності конструкцій під дією хімічно активних речовин та прямим застосуванням матеріалів із низькою корозійною стійкістю. У таких умовах виникає потреба визначати ступінь ураження арматури та оцінювати можливість подальшої експлуатації конструкцій із необхідним рівнем надійності.

Сучасні уявлення про довговічність залізобетону пов'язують із втратою бетоном захисних властивостей та кінетикою корозійних процесів. Практика показує, що врахування часу розвитку корозії арматури дозволяє відтермінувати момент втрати працездатності конструкцій. Бетон, маючи неоднорідну структуру, виступає провідником другого роду, тому корозію арматури можна розглядати як електрохімічний процес, аналогічний корозії металів у електролітах. Водночас бетон має специфічні особливості: його неоднорідна будова та різноманітність впливів середовища створюють електрохімічну гетерогенність поверхні арматури, що ускладнює перебіг корозійних процесів.

1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Сучасні дослідження свідчать, що проблема корозії арматури в бетоні досі недостатньо вивчена, головним чином через складність процесу, який формується під дією багатьох чинників одночасно. Основна увага приділяється моменту, коли бетон втрачає свої захисні властивості. Оскільки нормативні документи не передбачали експлуатацію конструкцій із пошкодженою арматурою, роль захисного шару бетону у розвитку корозійних процесів тривалий час залишалася поза увагою, хоча саме проникність бетону значною мірою визначає інтенсивність руйнування арматури.

Відсутність чіткої моделі розвитку корозії арматури в бетоні змусила дослідників застосовувати показники, характерні для металевих конструкцій, наприклад вагові чи середньоглибинні характеристики корозії, які не відображають реальної втрати експлуатаційних властивостей залізобетону. Механізм корозії часто описують як поверхневе руйнування арматури, проте він не враховує формування стану її поверхні, що визначає подальшу поведінку та поступове руйнування конструкції.

Аналіз існуючих математичних моделей корозії металів показує два основні підходи. Перший – врахування чисельних зовнішніх факторів і визначення їхнього впливу на процес руйнування. Другий – побудова функціональних або диференціальних рівнянь, які намагаються максимально точно відтворити кінетику корозійних пошкоджень. Однак такі моделі мають суттєві недоліки: вони або передбачають граничну глибину корозії, або показують нескінченну швидкість на початку процесу, або ж необмежене зростання пошкоджень, що не відповідає реальній картині протягом тривалого часу.

Взаємодія арматури з агресивним середовищем є багатогранною і залежить від різних фізико-хімічних процесів, що ускладнює пряме

застосування моделей, розроблених для металевих конструкцій. Крім того, небезпека корозії різниться залежно від типу сталі. тонка арматура з високоміцного дроту більш вразлива, ніж стрижень зі звичайної сталі, оскільки при однаковій глибині пошкоджень відносна втрата площі перерізу є більшою. Попередньо напружені конструкції також мають підвищений ризик корозійного руйнування.

На сьогодні практично відсутні методи, що дозволяють кількісно оцінити процеси корозії в конструкціях, які вже експлуатуються в агресивних умовах. Водночас інформація про залишковий ресурс роботи залізобетонних споруд є критично важливою для прийняття рішень щодо забезпечення їхньої надійності та продовження терміну служби, особливо у випадках реконструкції та повторного використання будівель.

Аналізуючи моделі корозії арматури в бетоні можна бачити, що їх розробники, спираючись на результати спеціальних експериментів, які не вдалися до складу фізико-хімічних процесів взаємодії металу з середовищем, йшли шляхом створення часткових моделей, які мають обмежене використання в практиці.

Загальним недоліком таких моделей корозії арматури є те, що стан поверхні арматури не пов'язується з гетерогенністю будови бетонного покриття, яке більшою мірою може служити однозначною характеристикою стану сталі в бетоні.

Експлуатаційні якості конструкцій з плином часу, як правило, погіршуються. Працездатний час-ресурс конструкції визначається умовами експлуатації і режимом навантаження. З плином часу в конкретній конструкції накопичуються пошкодження, і вона може вийти з ладу з різних причин - по витривалості, розвитку залишкових деформацій і прогинів, корозії арматури, бетону і т.д. Виходячи з реальних умов роботи конструкції під навантаженнями і її поведінки в експлуатації, важливу роль набуває розрахунки будівельних конструкцій на стадії експлуатації. Такі розрахунки повинні контролювати не

тільки експлуатаційний стан, але і описувати деструктивні процеси, які приводять до відмови конструкції.

На сучасному етапі розвитку важкого залізобетону граничний стан при розрахунку залізобетонних конструкцій приймається з урахуванням товни карбонізації захисного шару бетону або порушення пасивності арматури [1], які далеко не вичерпують ресурс роботи конструкцій.

Недослідженим є питання про допустимий ступінь корозії арматури, безпечної для експлуатації конструкцій. Великий досвід експлуатації конструкцій з пошкодженою арматурою показує, що врахування механізму розвитку та корозії може збільшити довговічність конструкцій. Правда, це більшою мірою відноситься до конструкцій з напруженою арматурою.

Основним напрямком в області вивчення корозії залізобетонних конструкцій є

В.С. Артамонов розглянув основні факти, що визначають стійкість залізобетонних конструкцій і їх корозія, особливо, вплив арматурної сталі, виду цементу і добавок до нього, ширини розкриття тріщин та ін.

Експериментальні дослідження по корозії залізобетонних конструкцій [2], гідротехнічних споруд проведені В.В. Кінлом.

Впливу повітряно-вологого середовища піддається більшість залізобетонних конструкцій. Для конструкцій, що стикаються з повітрям, карбонізація є найбільш загальним процесом, який веде до втрати бетоном захисних властивостей по відношенню до арматури. Корозійні втрати сталі в бетоні, який не володіє пасивними діями досягають 100г/м² на рік.

Процес карбонізації полягає в тому, що вуглекислий газ повітря, проникаючи в бетон, розчиняється в паровій рідині і реагує з гідратом окису кальцію $Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$, утворюючи слаборозчинний карбонат кальцію. Процес продовжується до повної витрати $Ca(OH)_2$. Фронт карбонізації поступово переміщується в глибину бетону [4],

Як показують дослідження, глибина карбонізації може бути розрахована по формулі:

$$x = \sqrt{\frac{4 \cdot D \cdot t}{\pi}} \cdot \sqrt{\frac{C_{CO_2}}{C_{Ca(OH)_2}}}$$

де t – час; D' - ефективний коефіцієнт дифузії вуглекислого газу в карбонізованому шарі бетону; C_0 - концентрація CO_2 в атмосфері; m_0 – кількість CO_2 , що поглинається одиницею об'єму бетону при певній карбонізації.

Максимальна швидкість проникнення вуглекислого газу (об'ємний склад в повітрі 0,04-0,4%) досягається при вологості повітря 50-70%.

Вивченням питань карбонізації бетону займались С.Н. Алексєєв, Н.К. Розенталя. По даним Н.К. Розенталя карбонізація призводить до зниження pH до 9. Втрата металу в карбонізованому бетоні в атмосфері всього 90% за

рік – 36 г/м^2 , а глибина ураження досягає 0,07 мм. По розрахункам Н.К. Розенталя і Л.А. Вандаловської глибина карбонізації бетону збільшується зі збільшенням водоцементного відношення. Крім того на глибину карбонізації впливає витрата цементу. Глибина карбонізації обернено пропорційна витраті цементу. Уповільнює карбонізацію пластифікуючі добавки в бетон. Абсолютно сухий, чи навпаки водонасичений бетон не карбонізується [5],

Для залізобетонних конструкцій промислових будівель та споруд, що експлуатуються в агресивному середовищі, характерним є протікання корозійних процесів, обумовлених проникненням агресивного середовища в глибину бетону. Дослідження багатьох вітчизняних спеціалістів показують, що найбільш агресивним по відношенню до залізобетонних конструкцій є хлориди. Вони викликають корозію арматури в бетоні, прискорюють карбонізацію бетону, злищують поверхневий окисний шар сталі, і можуть бути причиною виразкової корозії.

Ф.М. Івановим було встановлено, що дифузійна проникність бетонів для хлоридів зростає зі збільшенням водоцементного відношення, наскрізної пористості цементного каменя. Дослідженнями Т.Ю. Якуба показана лінійна залежність коефіцієнта дифузії цементного каменя бетону від його щільності. Отримані значення ефективних коефіцієнтів дифузії бетонів різних складів.

Присутня в бетоні волога створює умови для переходу добре розчинних хлористих солей. Накопичення хлористих солей роблять бетон більш гігроскопічним, що впливає на вологонасиченість матеріалу [6].

Спеціалістами досліджено вплив щільності бетону, ширини розкриття тріщин в захисному шарі і концентрації хлоридів середовища на кінетику корозії сталевих арматур. Установлено, що на швидкість накопичення хлоридів біля арматури основний вплив має щільність бетону.

Спеціалістами ФМІ АН України вивчено корозійне розтріскування високоміцної арматури в лужному середовищі, що містить хлориди.

Було встановлено високу депасивуючу здатність хлор-іонів. Доведено, що наявність хлор-іонів стимулює як зародження, так і розвиток тріщин, що визначають низьку корозійно-механічну міцність попередньо напруженої арматури в бетоні при наявності в ньому хлоридів. При великому вмісті хлоридів навіть збільшення щільності бетону не вирішує проблеми. Вплив на проникнення хлоридів має також товщина захисного шару бетону. Відповідно з даними, які вищезазначені, шкідливий вплив хлоридів на арматуру виявляється при перевищенні концентрації хлор-іонів $0,038 \text{ г-іон/л (0,2\% CaCl}_2)$. При вмісті хлоридів 0,2% ймовірність пошкодження арматури в бетоні сягає 100%. Критичний рівень вмісту хлоридів за вітчизняними і зарубіжними джерелами 0,2-0,5% від маси цементу [7].

Велику кількість робіт присвячених питанням корозійного стану арматури в залізобетонних конструкціях видано за кордоном. Особливо, розглянуті питання руйнування залізобетонних конструкцій мостів. В США, наприклад, експлуатується близько 80 тис. мостів з залізобетонним настилом. Повідомляється, що в наслідок корозії арматури термін служби їх знижений в 10 разів. Основна причина – корозія під впливом хлоридів, вологи, пилу.

Крім хлоридів особливою активністю по відношенню до залізобетонних конструкцій відрізняються кислоти, кислі гази. Їх дія принципово така ж як Cl^- . При корозії бетону під впливом кислот в порівняльно тонкому шарі

відбувається нейтралізація порової рідини і хімічне переродження цементного каменю. При цьому аніони кислот дифундують до арматури, викликаючи депасивацію її поверхні навіть при $pH = 12$ і більше.

Любарською Г.Л. було встановлено, що визначальним фактором швидкості корозії в цих умовах стає швидкість дифузії іонів через шар бетону. В монографії С.Н. Алексеева виявлені особливості корозійної впливу кислих газів на залізобетонні конструкції, приведена кінетика нейтралізації бетону, на основі якої розрахований час захисної дії бетону [8].

Викликають корозію арматури тріщини в бетоні. Якщо тріщина досягла арматури, то повітря і волога можуть досягнути поверхні метала арматури і порушити її пасивність. небезпека появи корозії на арматурі стає більшою із збільшенням розкриття ширини тріщини.

Ненапружені конструкції і деякі попередньо напружені залізобетонні конструкції споруд і будівель працюють з розкритими тріщинами. На рис. 1.1. із [12] зображений графік, що ілюструє проникність для пару і вуглекислого газу бетонних зразків з різноманітною глибиною тріщини. Місцева активація поверхні арматури в зоні перетину її з тріщиною може викликати локальну корозію сталі.

Значний вплив на корозійний стан арматури в бетоні є волога. Взаємодія захисного шару бетону з водою в більшості залежить від пористості бетону. Крапельно - рідинна волога може проникати в конструкції різними шляхами: від атмосферних опадів, технологічних проливів, ґрунтових вод та ін. Конденсаційне зволоження відбувається при переміщенні водяного пару із зони високого тиску до зони зниженого парціального тиску і перенасичення повітря вологою при падінні температури [9]. Переміщення повітряного пару здійснюється більш інтенсивніше, при збільшенні температурного перепаду і вологі теплого повітря [12].

Вологий стан бетону є вирішальним чинником, що впливає на швидкість корозії арматури в залізобетонній конструкції [13].

Бетон може мати різну пористість і вологість, від чого залежать такі його властивості, як питомий опір (рис.12), дифузійна проникність, та ін. Обмін середовища на поверхні арматури обмежений. Він може здійснитися, в основному, лише за рахунок дифузії рідин і газів в капілярах і порах бетону.

Вологий бетон є провідником 2-го роду, тому процес корозії арматури в ньому можна розглядати з позицією звичайної електрохімічної теорії корозії металів в електролітах [11]. При відносній вологості повітря вище 80% корозія арматури в бетоні обмежена, швидкістю потраплення кисню до поверхні арматури.

Найбільш повільною стадією, при цьому є дифузія кисню. Значні втрати металу на арматурі залізобетонних конструкцій може знизити електрокорозія.

А.А. Старосельским вивчені особливості електрокорозійних процесів на арматурі в різних умовах експлуатації залізобетонних конструкцій. Аналіз умов експлуатації електрифікованого транспорту дозволив провести експертну оцінку корозійних факторів, їх аранжування.

Велика робота по вивченні електрокорозії залізобетону проведена Т.Г. Кравченко [10].

Відомо, що високоміцна стержнева термічно зміцнена арматура схильна

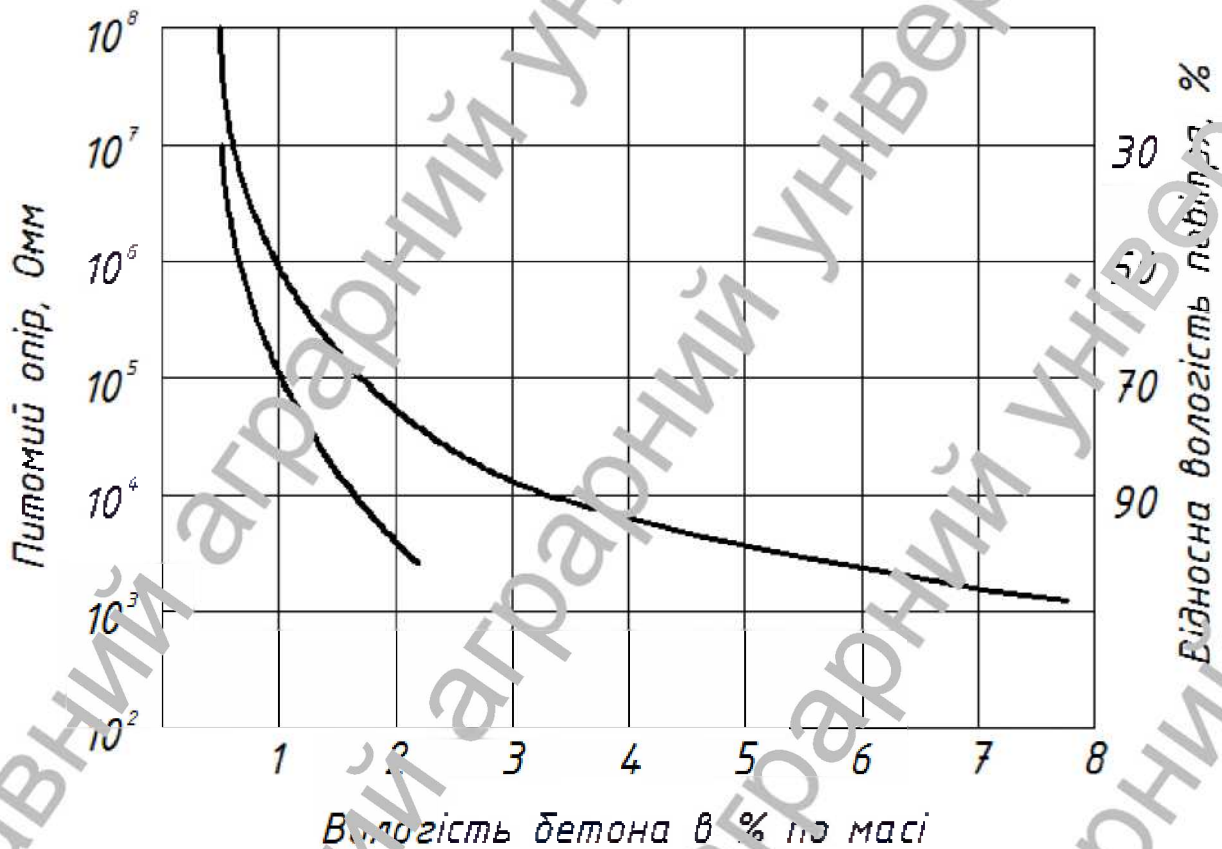


Рис. 1.2. Електроопір бетону в залежності від вологості повітря
1 - питомий опір; 2- рівноважна вологість бетону.

до специфічного виду корозійних руйнувань – розтріскування. Вивчення питань опору корозійному розтріскуванню термічно зміцнених арматурних сталей велиались Красовська, П. Д. Одеський та ін. Критерієм небезпечності корозії викликаной блукаючими струмами є наявність анодних і катодних зон на арматурі.

Заздалегідь незалежні з точки зору електрокорозії є залізобетонні конструкції споруд і будівель, де застосовується постійний струм.

1.2 Основні відомості про електрохімічну корозію

Арматурі, котра знаходиться в бетоні, характерний електрохімічний механізм корозії [14]. Електрохімічна корозія металів являє собою мимовільне руйнування металу, внаслідок електрохімічної взаємодії його з навколишнім провідним середовищем, при якому іонізація атомів металів і відновлення окиснюючого компонента корозійного середовища протікає в одному акті і їхні швидкості залежать від величини електричного потенціалу металу.

Термодинамічна нестійкість металу в даних корозійних умовах є першопричиною електрохімічної корозії. Під час зачурення металу в електроліт в результаті взаємодії між ними виникає різниця потенціалів, що зв'язана з виникненням подвійного електричного шару, тобто несиметричного розташування заряджених частинок на межі поділу фаз.

Стрибок потенціалу між двома фазами не може бути вимірний, але можливо виміряти е.р.с. елемента, складеного із дослідного електроду (металу в електроліті) і електроду, потенціал якого умовно прийнятий за нуль (стандартного водневого електроду). Цю е.р.с. називають потенціалом електроду [15].

Якщо при взаємодії металу з електролітом фазову межу перетинають тільки іони металу, то протікають два процеси: перехід цих іонів із металу в електроліт з появою гідратованих іонів (окислювальний або анодний процес) і розряд цих іонів із електроліту з виділенням їх на металі у вигляді нейтральних атомів (відновлювальний або катодний процес). Швидкість анодного і катодного процесів виражається через складові струму: $i_{\bar{I}}, \bar{I}$

Коли потенціал в подвійному електричному шарі досягає значення, при якому енергетичний рівень іонів в металі і електроліті (всьому розчині) стає однаковим, встановлюється динамічна рівновага з різними швидкостями анодного і катодного процесів. Струм, зумовлений протікаючим обміном іонів між металом і розчином, називають струмом обміну: $I_c = \bar{I} = i_{\bar{I}}$

Коли в процесі обміну беруть участь тільки іони даного металу, тобто коли метал знаходиться в рівновазі з власними іонами, встановлюється зворотній рівноважний електродний потенціал металу. В цьому випадку втрати маси металу не виникає.

Коли в процесі обміну, що визначає потенціал металу в електроліті, беруть участь не тільки іони даного металу, але й інші іони і атоми (причому, анодний процес здійснюється іонами металу, а катодний – іншими іонами), то встановлюється незворотній електродний потенціал металу. Встановлюється він дослідним шляхом.

Стійке в часі значення незворотного електродного потенціалу називають стаціонарним потенціалом металу. При такому процесі обміну відбувається уже втрата маси металу за рахунок електрохімічного розчинення (корозії) металу. При цьому швидкості анодних і катодних процесів сильно впливають на величину стаціонарних електродних потенціалів і швидкість електрохімічної корозії металів [16].

Для електрохімічного розчинення металу необхідна присутність в електроліті окислювача – деполіризатора, зворотній окиснювально – відновлювальний потенціал, який в даних умовах позитивніше зворотного потенціалу металу. Для встановлення меж термодинамічної можливості протікання електрохімічної корозії можна скористатись діаграмою стану системи « $Fe - H_2O$ », розробленою Пурбе, яка являла собою залежності зворотних електродних потенціалів від pH розчину для відповідних рівноважних реакцій.

В більшості практичних випадків протікання електрохімічної корозії зазвичай характеризується локалізацією анодного і катодного процесів на різних ділянках кородуючої поверхні металу, що призводить до нерівномірного або місцевого характеру корозійного руйнування. Ці ділянки з'являються в залежності від їх розмірів коротко замкнутими мікро- чи макрогоальванічними елементами.

Таким чином, електрохімічна корозія металів являється результатом роботи великого числа корозійних гальванічних елементів на корозійній поверхні металу. Поверхня корозійного металу являє собою багатоелектродний гальванічний елемент. В першому приближенні цю поверхню можна розглядати як двоелектродну систему, що складається із ділянок двох видів – анодних і катодних [17].

Причини появи електрохімічної гетерогенності можуть бути найрізноманітнішими: неоднорідність металевої фази (макро і мікровключення, неоднорідність захисних плівок на поверхні, неоднорідність внутрішніх напруг та ін.), неоднорідність рідкої фази, (різниця в pH , різниця концентрацій деполаризаторів та ін.), неоднорідність фізичних умов (різниця температур, накладення зовнішнього електричного поля та ін.).

На анодних ділянках виникають гідратовані іони металу і некомпенсовані електрони, на катодних ділянках йде асиміляція електронів, якими – небудь іонами або молекулами розчину (деполаризатора) схильними до відновлювання на катодах. Найчастіше катодні реакції проходять з кисневою або водневою деполаризацією.

У випадку незворотних потенціалів йде зменшення маси за рахунок його електрохімічного розчинення. Швидкість втрати маси характеризується силою корозійного струму, яка визначається за формулою: $i = U/R$,

де U е.р.с. корозійного процесу; $U = E_k - E_a$; R – сумарний опір анода, катода і зовнішнього ланцюга.

Однак, заміри показують, що сила течерую чого струму зиявляється менше значення, розрахованого за законом Ома. Зміна струму викликана зміною потенціалів аноду і катода. Потенціал аноду при проходженні через нього струму стає позитивнішим, а потенціал катода – негативнішим. Ця зміна потенціалів, а отже, і їх різниця, що призводить до зменшення сили струму, називається поляризацією.

$$I = \frac{U}{R + P_a + P_k}$$

де $U = E_o^k - E_o^a$; P_a, P_k – поляризаційні опори в ланцюгах аноду і катоду;
 R – омичний опір в ланцюзі корозійного елементу.

Причини анодної поляризації:

1. Сповільнення анодної реакції корозії металу, яка називається перенапруженням іонізації металу. Залежність перенапруги іонізації від анодної щільності струму може бути лінійною (при $i < 10^{-4}$ А/м²) і представлена логарифмічним рівнянням ($i > 10^{-2}$ А/м²).

2. Сповільнення дифузії іонів металу від поверхні в об'єм речовини призводить до концентраційної поляризації анода.

3. Сповільнення анодної реакції іонізації при виникненні анодної щільності.

Процеси, що зменшують анодну поляризацію, називаються деполяризаційними процесами, а речовини, що їх здійснюють, – анодними деполяризаторами (наприклад, Cl^- , SO_4^{2-} та ін.).

Причини катодної поляризації:

1. Сповільнення катодної деполяризаційної реакції, називають перенапруженням реакції катодної деполяризації.

2. Сповільнення дифузії деполяризатора із електроліту до катодної поверхні або продуктів катодної деполяризаційної реакції в зворотному напрямку, яка призводить до концентраційної поляризації катоду.

Кінетику процесів електрохімічної корозії металів прийнято зображати у виді поляризаційних анодних і катодних кривих, які показують залежність потенціалів електродів від щільності анодного або катодного струму. Ступінь нахилу кривих характеризує більшу, або меншу важкість протікання електродного процесу [19].

В залежності від того, яка із величин (R, P_a, P_k) має вирішальний вплив на швидкість процесу корозії, розрізняють корозію з омичним контролем $R \gg$

$P_a + P_k$, анодним $P_a \gg R + P_k$, катодним, $P_k \gg R + P_a$. Місцевий і змішаний контроль, коли R, P_a, P_k близькі за значеннями, наприклад, анодно-катодний, катодно-омічний, анодно-омічний. Для зниження швидкості корозії необхідно впливати на найбільш повільно протікаючий процес, так як саме він обмежує діяльність гальванічного елемента в цілому.

При роботі мікрогальванічних пар значення струму в основному визначається опором поляризації P_a і P_k , так як омічний опір дуже малий через незначну відстань між електродом. При роботі макрогальванічних пар омічний опір в порівнянні з поляризаційним зростає.

Схематичний графік залежності потенціала електрода від щільності струму зображено на рис. 1.3. На ділянці AC йде розчинення металу, далі йде утворення пасивної плівки, що призводить до збільшення поляризації. В точці C спостерігається максимальна швидкість анодного процесу i_a (гранична щільність струму). Значення щільності струму і потенціалу в точці C характеризує здатність металу до створення захисної плівки на його поверхні (пасивації). Чим ближче зсув значення потенціалу в негативний бік і чим менша щільність струму при цьому, тим легше настає пасивація.

В точці D закінчується утворення захисної плівки і швидкість корозії різко зменшується. Потенціал в точці D називають потенціалом повної пасивації або потенціалом активації металу (початок втрати пасивації). Потенціал в точці E називають потенціалом депасивації. Метал аноду переходить в активний стан.

Електродні процеси на металі в інтервалі потенціалів від $E_{м.обр.}$ до $E_{д.обр.}$ протікають одночасно і реєструються тільки сумарною швидкістю $i_n = i_a + i_k$, яка на рисунку зображена відрізком $bc = bd - ab$, так як $bd = i_a$, а $ab = -i_k$.

При великому зсуві потенціалів відносно потенціалу корозії E_C загальна поляризаційна діаграма збігається з частковою.

Кінетику рівноважного обміну виражає довжина відрізків MO і ON .

Схематичне зображення корозійного гільманічного елемента, що виникає на сталевій арматурі у

гідроксиду
переміщуються від катодної ділянки до анодної і вступають в реакцію з іонами заліза Fe^{2+} , утворюючи гідроксид заліза $Fe(OH)_2$, який в свою чергу, вступає в реакцію з киснем, легко утворюючи оксиди Fe_2O_3 або Fe_3O_4 . Ці сполуки являються так званою іржою, яка порушує зчеплення арматури з бетоном.

Якщо в даному місці поверхні кородуючого металу анодні і катодні щільності струму стали, має місце однорідний (гомогенний) змішаний електрод, для якого характерна рівномірна втрата речовини з поверхні. Локальні аноди при цьому розподіляються по всій поверхні металу.

Однак, ці умови можуть зберігатись лише на малих поверхнях.

Структурна неоднорідність металу арматури, наявність деформованих ділянок, жорсткостей та ін. обумовлюють неоднорідність. Бетони також характеризуються гетерогенністю будови і властивостей як в мікро-, так і в макромасштабах. Змінюється структура, вологість, концентрація агресивного середовища, повітря-водоникність, електропровідність, температура та ін. Будь-яка така неоднорідність викликає утворення корозійного елементу, тобто маються ділянки переважно анодних і катодних реакцій. Таким чином, різні ділянки мають різні криві «струм – потенціал». Такі електроди називають змішаними. Вони кородують локально з різними швидкостями.

На рис. 1.5 показана умовна поляризаційна діаграма змішаного гетерогенного електроду для корозії, що супроводжується відновленням розчиненого в електроліті кисню і іонізацією металу. Локальні густини струмів процесу іонізації металу i_{MI} і i_{MII} на ділянках S_I і S_{II} , а також i_{KI} –

рідні аноду, а з меншим – катоду.

1.3 Вплив структурних характеристик бетону на корозійний стан арматури

Бетон являє собою складне конгломератне тіло (рис.1.6). Порову структуру бетону формується від моменту затворення водою до затвердіння бетонної суміші. Продукти гідратації не заповнюють повністю обсяг, на характеризуються пористістю близько 23 %, утвореною між окремими колоїдними частинками матеріалу. Ця система частинок називається цементним гелем, а простір між ними - гелевими порами. Гелеві пори мають малі розміри (приблизно 1,5 нм).

При гідратації цементу утворюється і інші категорії пор. Проміжки, утворені між більш-менш гідратованими і не гідратованими частинками цементу утворюють так звані капілярні пори. Середній розмір капілярних пор складає 1,3 мкм. Капілярні пори мають істотний вплив на проникність цементного каменю.

Подальші категорії пор представлені порами седиментації, які утворюються внаслідок поверхневого або внутрішнього вивільнення. Седиментаційні пори можуть бути розміром від 50 до 100 мкм. Якщо вони утворюються під зернами заповнювача, то вони можуть мати ще більші розміри.

Седиментаційні пори є головними транспортними шляхами проникнення води в бетон, тому що в порах, з розмірами більше 50 мкм, вода знаходиться в вільному стані.

Повітряні пори мають зазвичай сферичну форму і утворюються при попаданні повітря в бетонну суміш. Розміри повітряних пор можуть коливатись від 25 до 500 і більше мкм. Їх обсяг рідко перевищує 5% в об'ємі бетону.

Далі можна ділити пори на мікропори з радіусом менше 10 мкм і макропори з більшим радіусом.

Категоріями пор, котрі представляють дефекти структури бетону, є пори (перолечі), утворюються внаслідок недостатнього перемішування та

ущільнення суміші між зернами крупного заповнювача. Розмір таких порожнеч доходить до $30 \cdot 10^6$ нм.

Наступним дефектом структури бетону є пори (пустоти) під нижньою поверхнею крупних, плоских і довгастих зерен каменю, які утворюються в результаті внутрішнього водовідведення в бетонній суміші.

Істотний негативний вплив, на довговічність залізобетону надають усадкові, температурні та інші тріщини.

Вплив різних факторів на парову структуру представлено на рис.1.7.

Вид цементу має вплив на парову структуру. Найнижчу пористість має високоміцний портландцемент. Тонкість помелу цементу також відбивається на структурі цементного каменю. Підвищення тонкості помелу цементу знижує загальну пористість, зменшує відносний обсяг макропор і знижує відносний обсяг мікропор.

На пористу структуру цементного каменю, розчину і бетону найбільший вплив робить водоцементне відношення ($V / Ц$). Зміна пористості цементного каменя при різних $V / Ц$ показано на мал. 1.8

Аналіз результатів дослідження [9] показує, що коефіцієнт дифузії цементного каменю зростає пропорційно збільшенню $V / Ц$ за лінійним законом.

Отримані значення коефіцієнтів дифузії свідчать про залежність дифузійної проникності цементного каменя від його пористості. Установлено, що найбільша кількість великих пор спостерігається при високому $V / Ц$ і найменше - при: низькому $V / Ц$.

Крива диференціальної пористості підтверджують вплив $V / Ц$ на структуру цементного каменю і співвідношення об'ємів пор різного розміру.

Температура середовища і вологість, при яких твердне цементний розчин, також впливає на парову структуру. Підвищення температури твердіння призводить до збільшення великих пор. Кількість води в просторі, в якому

твердне цементний розчин, має істотний вплив на загальний об'єм пор, а також на розділення пор по розмірам [14].

У процесі гідратації цементу загальна пористість і об'єм капілярів знижується [10].

Структура бетону визначає характер процесу переносу в неї. В бетоні конвекції практично немає. Перенесення речовини в паровому просторі, заповненому рухомою фазою, здійснюється дифузійно-міграційно і фільтраційно. У фільтраційному перенесенні проявляється реакція бетону на гідродинамічний вплив.

Структура бетону визначає його основні особливості: розвинена внутрішня поверхня, проникність потоку речовини, прояв капілярних ефектів, запобігання відриву змішування рухливих фаз.

Специфічні особливості бетону, у зв'язку з появою капілярних сил в порах. Особливе значення капілярні властивості набувають при корозійних процесах в умовах довільної орієнтації залізобетонних конструкцій, коли пелл повітря з бетону захисного шару і агресивної рідини забезпечується не силами тяжіння, а капілярними ефектами.

У бетоні залізобетонних конструкцій здійснюються процеси переносу агресивних середовищ, а в окремих умовах і хімічних реакцій з його складовими. Тверда фаза бетону не електропровідна. Перенос струму здійснюється електролітом, який заповнює простір.

Внаслідок цілої низки причин, як навмисно, так і ненавмисно, бетону може бути додана структура, яка займає будь-яке проміжне значення між крайніми: щільної і великопористої. Природно, що чим більше часу перебуває арматура в бетоні, тим більше неоднорідні умови на її поверхні як внаслідок нерівномірного покриття арматури цементним каменем і плівками лужної води, так і різним ступенем аерації окремих мікро- і макро-ділянок її поверхні.

Як відомо, в бетоні щільної структури на портландцементі сталь знаходиться в пасивному стані завдяки насиченню гідратом кальцію порової води цементного каменю, значення рН якої 12 і більше. Однак, умови можливої зміни рН порової рідини у всьому об'ємі неоднакова. Великі пори більш чутливі до цих змін, ніж дрібні пори, капілярний міжпоровий простір. На

межах ділянок поверхні арматури, що контактують з порами і міжпоровим простором, мають всі необхідні умови для проходження локальних електрохімічних реакції, в результаті чого виникають вогнища корозії, у розвитку яких, очевидно не останню роль відіграють макрогальванічні пари.

С.Н. Алексеевим виявлено виникнення локальних вогнищ корозії на арматурі за рахунок роботи гальванічних пар диференціальної лужності та аерації в зонах неіфразного контакту на кордоні пор бетону. Правда в пористому шлакопемзобетоні локальні осередки виникали в результаті того, що частина поверхні арматури не мала щільного контакту з цементним каменем. Найбільш швидко зниження рН в місцях нещільного прилягання бетону до арматури, а також у великих порах на межі арматура - бетон виявлено при вивченні де пасивації арматури залізобетону зовнішнім анодним струмом [18]. Аналогічні явища були виявлені також на арматурі під тріщинами в бетоні [13].

Присутність в поровій рідині бетону аніонів активаторів (Cl^- , SO_4^{2-} і ін.) нерідко призводить до порушення пасивного стану на окремих відносно невеликих ділянках поверхні арматури. Таке порушення має місце тільки при потенціалах, що лежать вище деякого критичного значення. Його величина залежить як від природи металу, так і від природи і концентрації активуючого іона в поровій рідині.

Роль аніонів депасиватора зводиться до того, що вони витісняють з частково заміщають на поверхні металу пасивуючий кисень з утворенням поверхневого комплексу, здатного навіть переходити в розчин.

Локальний характер активації пасивної поверхневої плівки є наслідком мало враховуваних до останнього часу особливостей корозії пасивного металу в бетоні.

По - перше, результати порівняло недавніх дослідів показують [12], що традиційне уявлення про пасивний шар як гомогенне утворення невірне. У металі технічної чистоти такий шар є гетерогенним в тому числі, що на різних ділянках поверхні він має різну захисну ефективність.

Причина, гетерогенності полягає в чутливості складу, структури, а отже, захисної ефективності плівки до складу та структури металу, особливо його поверхневого шару.

По - друге, гетерогенна будова, що покриває арматуру бетону, призводить до нерівномірного розподілу анодного процесу (окислення металу) по пасивній поверхні. На одних ділянках (у гирлі великої пори) останній може протікати зі швидкостями, значно переважаючими середню, на інших (між щами порами) значно меншими.

Для корозійної поведінки пасивного металу істотно, що анодній гетерогенності не обов'язково слідує така ж сама катодна гетерогенність (такий як характер розподілення катодного процесу на поверхні) [12].

Ізоднаковий характер розподілу анодного і катодного процесів на пасивній корозійного металу неминує призводити до виникнення в системі бетон-арматура локальних струмів; такі струми забезпечують переважну міграцію аніонів до ділянок з підвищеною анодною активністю (в гирлі пори), збільшуючи тим самим вірогідність їх депасивації. Істотно, при цьому, що саме активуючи аніони завдяки їх здатності до взаємодії з металом будуть переважно акумулюватися у найбільш анодно-активних ділянках.

При постійній сумарній швидкості деполаризації катодної реакції більша швидка і глибока. Депасивація цих ділянок неминує веде до прогресуючого перерозподілу міграційних потоків аніонів, тобто до все більшої інтенсифікації тих потоків, які спрямовані на найбільш анодно-активні і депасивуючі ділянки, і до ослаблення всіх інших. Результатом виявляється швидка і глибока депасивація одних ділянок та репасивація інших, а отже, і різко диференційоване поверхневе розподілення анодного процесу. Виникаючі виразки стають стійкими центрами анодної активності, вносячи основний внесок в швидкість розчинення металу. Корозія із рівномірної перетворюється в гостролокалізуючу.

Безумовно, можливість стійкої депасивної тої чи іншої ділянки пасивної поверхні, майже однозначно визначається співвідношенням в прилеглому до нього шарі природою рідких, концентрації активатора і концентрації пасиватора.

На підставі викладеного можна наступним чином представити розвиток процесів корозії арматури в анодних зонах залізобетонних елементів. На ділянках арматури, поблизу яких рН рідкої фази бетону значно знижується, внаслідок дії активаторів корозії (Cl, SO₄ та ін.) пасивуючі шари руйнується і відбувається інтенсивна корозія. Найбільш швидко концентрація гідроокислювальних іонів зменшується в крупних порах на кордоні арматура-бетон, в місцях нещільного прилягання арматури до бетону.

Інтенсивність розчинення арматури підвищується за рахунок роботи гальванічних пар з різною величиною рН поблизу електродів. Активні ділянки арматури, стають анодами по відношенню до ділянок, близько яких зберігається висока рН і де активатори корозії не можуть порушити пасивний стан.

На рис. 1.9 схематично, представлений фрагмент залізобетонного елемента, який ілюструє механізм утворення корозійних макропар в порі.

Експер. розподілу ділянок арматури по степені доступу до них кисню повітря показана на рис. 1.9 (б). У відношенні з основними законами електромеханічної корозії металів ділянки арматурного стержня, до яких надходить менше кисню, ніж до сусідніх, набувають більш негативний потенціал, в разі сприятливих умов для діяльності гальванічних пар являються анодними. Ділянки ж з відносно великим доступом кисню служать катодами.

Причиною утворення другої елементарної макропари є різниця значення рН електроліту в міжпоровому просторі і в порі.

Плівка парової рідини в бетоні являє собою насичений вологою розчин Са(ОН)₂; величина рН його довгий час зберігається на рівні 12,4 - 12,6. Однак характер диференціальної пористості бетону призводить до карбонізації

гідрату, оксиду кальцію в більших порях бетону і лужності порової рідини. На рис. 1.9 (в) схематично зображена епіюра рН електроліту на поверхні арматури. Потенціал сталі, задушеної в електроліт, як відомо, залежить від рН розчину; в місцях зниженої лужності потенціал приймає більш негативне значення. Таким чином в гирлі пори утворюються умови, для утворення анода елементарної макропары диференціальної лужності. Епіюра потенціалів зображена на рис. 1.9 (д).

Розмір анодної ділянки і величина його потенціалу залежать від багатьох, причин: перерізу і довжини пори, степені водонасичення бетону, концентрації у воді активізуючі іонів (Cl, SO_4) та ін.

У щільному бетоні із аналізу схем рис.1.9 випливає, що макропара диференціальної аерації (рис. 1.9 (г)) внаслідок високої лужності середовища та пасивності сталі під захисним шаром утворитися не може. Можливе утворення елементарної макропары диференціальної лужності (рис.1.9 (д)) з утворенням анода в гирлі пори і катода в міжпоровом просторі, але вільний доступ кисню сприяє зміщенню потенціалу анода діючої макропары в позитивну сторону і, отже, зменшенню різниці потенціалів (рис.1.9 (е)).

У випадку низької лужності бетону внаслідок минулої глибокої карбонізації або інших причин макропары диференціальної лужності в гирлі пори слабо виражена; можливе виникнення безлічі звичайних корозійних макропар.

Механізм корозії може змінюватися з часом. Безпосередньо після порушення пасивності сталі в зоні пори переважаюче значення набуває макропара, де анодом є метал в зоні пори а катодом-метал поза нею. Через певний час у результаті роботи даної макропары, а також корозійних мікропары утворення яких, як відомо пов'язано з неоднорідністю самої поверхні металу, в зоні пори відбувається ураження арматури у вигляді окремих виявів, заповнених продуктами корозії.

Надходження кисню до поверхні металу безпосередньо у виразках утруднено в порівнянні з надходженням його до решіткової поверхні сталі в його пори. Це може викликати утворення макропар диференціальному аерації – анодами у виразках і катодами на решітці поверхні сталі під порою.

Отже, обидві макропари беруть участь в процесі розчинення металу, але в залежності від зовнішніх умов на різних етапах розвитку процесу величина корозійних втрат, викликаних дією кожної із зазначених макропар, буде різною.

Загалом необхідно визнати, що уявлення про деталі механізму корозії арматури в виразці пор носять поки ще чисто, якісний характер.

Фиг. 1.9 Схема до

1.4 Етапи математичної моделі та види математичних моделей

Будь-яка подія залежить від багатьох діючих на неї факторів. Кожне

спостереження або замір може зафіксувати тільки деякі фактори.

Для повного уявлення що подію необхідно мати велику кількість спостережень чи замірів, тому щоб отримати широкую інформацію про подію дослідження ведуть на моделі.

Під моделлю розуміють штучну систему, яка відображає властивості події чи предмету, що вивчається (оригінала).

Моделі бувають фізичні, математичні, натурні.

Фізична модель дозволяє наглядно показати в натурі протікаючі події.

Математична – дозволяє кількісно дослідити явище чи подію.

Натурна – дозволяє найбільш повно дослідити явище чи подію.

Вивчення явищ за допомогою моделей називається моделюванням.

Найчастіше використовують фізичне і математичне моделювання.

При фізичному моделюванні фізика явища, об'єкта (оригінала) і моделі може бути різною, а математичні залежності однакові.

Математичний метод моделювання заключається у: а) розробці математичної моделі; б) виборі її рішення; в) аналізу отриманого результату.

Математичне формування задачі зазвичай представляється у вигляді чисел, функцій, систем рівнянь і т.д.

Опис об'єктами явища може бути в: а) неперервній формі; б) дискретній формі; в) детермінованій; г) стохастичній формі.

Математична модель – це система математичних відношень.

I-й етап математичного моделювання:

- постановка задачі;
- визначення об'єкта і мети досліджень;
- завдання критеріїв вивчення об'єкта.

Тут також установлюються межі області впливу об'єкту, що вивчається. Вони установлюються в залежності від значимості взаємодії із зовнішнім середовищем чи об'єктом. Встановлення меж дозволяє розглядати систему, що моделюється, як замкнуту, а це спрощує математичне моделювання.

II-й етап – вибір типу математичної моделі.

Для вивчення типу математичної моделі зводять пошуковий експеримент, який дозволяє встановлювати:

- лінійність чи не лінійність;
- стаціонарність чи не стаціонарність;
- ступінь дитермінованості досліджуваного об'єкта чи явища.

Лінійність чи не лінійність може бути встановлена по статистичних характеристиках.

Під статистичною характеристикою розуміють зв'язок між величиною зовнішньої дії на об'єкт (величина вхідного сигналу) і величиною його реакції на зовнішню дію.

Використання лінійної математичної моделі значно спрощує її аналіз. Наприклад, лінійна модель дозволяє використати принцип суперпозиції.

Принцип суперпозиції стверджує, що коли на лінійну систему діє декілька сигналів, то загальний вихідний сигнал утворюється в результаті складання її реакції на кожний вхідний сигнал.

Установлення динамічності чи статистичності проводиться по зміні досліджуваних показників за часом.

При виборі типу моделі ймовірнісного об'єкту важливо встановлення його стаціонарності. Зазвичай про судять по зміні з часом параметрів законів розподілу випадкових величин.

Найчастіше для цього використовують τ_i і середнє квадратичне відхилення випадкової величини σ_i від середньоквадратичного або середньоквадратичного відхилення за часом. Установлення загальних характеристик об'єкту дозволяє вибрати математичний апарат, на базі якого базується математичне моделювання. Вибір математичного апарату для побудови математичної моделі зображено на рис 1.8

Рис 1.8 Вибір

моделі

На вибір моделі може вплинути інформація інших авторів, вибрана гіпотеза.

III-й етап – вибір типу математичної моделі в даному класі. Особливе місце на даному етапі займає опис перетворення вхідних сигналів у вихідні характеристики об'єкту.

Результати наукового експерименту і аналіз інформаційного масиву дозволяє установити схему взаємодії об'єкта із зовнішнім середовищем по співвідношенню вхідних і вихідних величин.

В принципі можливо установити 4-ри схеми взаємодії.

1) одновірно-одновірно

На об'єкт діє один фактор і його поведінка оцінюється за одним показником.

На об'єкт діє один фактор, а його поведінка оцінюється за декількома показниками.

На об'єкт діє один фактор і його поведінка оцінюється декількома показниками.

При схемі 1 – одновимірне – одновимірне:

- стаціонарний детермінований об'єкт: вхідна дія із вихідним сигналом пов'язується через постійний коефіцієнт – $y=k*x$;
- не стаціонарний детермінований об'єкт: зв'язок описується різними функціями – $y=f(x)$, або поліномом:

При схемі 2 – однорідно – багатовимірне:

- для стаціонарного і нестаціонарного детермінованого об'єкту зв'язок вхідного сигналу з вихідним аналогічний схемі 1, але математичного моделювання будуть такими: вхідна дія буде пов'язана із кожним вихідним сигналом.

Вихідні сигнали вважаються незалежними.

При схемі 3 – багатовимірне – однорідне:

- стаціонарний дискретний об'єкт:

$$y = \sum_{i=1}^m x_i$$

$$y = \sum_{i=1}^m a_i x_i$$

m – число зовнішніх дій

- нестаціонарний дискретний об'єкт: математичного моделювання у

$$\text{вигляді повного полінолу} - y = a_0 + \sum_{i=1}^m a_i x_i + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m a_{ij} x_i x_j + \dots,$$

де m – число парних сполучень факторів ($m_1=C_m^2$) або модель у вигляді диференційного рівняння

2) При схемі 4 - багатовимірне-багатовимірне:

- модель базується аналогічно схемі 3

При відсутності обґрунтованої інформації про зв'язок вхідних сигналів об'єкта динаміка об'єкта описується диференціальним рівнянням на основі деяких припущень або знань про властивості об'єкта.

Деякі загальні підходи до складання таких рівнянь.

Геометричні і фізичні задачі як правило приводять до одного із слідуючих 3-х видів рівнянь:

- диференційні рівняння в диференціалах;
- диференційні рівняння в похідних;
- інтегральні рівняння з наступним перетворенням їх в диференційні рівняння.

Із умови задачі складаються приблизні співвідношення між диференціалами. Для цього малі спрощення величини замінюють їх диференціалами.

Нерівно протікаючі процеси за малий проміжок часу dt розглядаються як рівномірні. Так як відношення диференціалів функції і аргументу є границею відношень їх прирощень, то по мірі того, як спрощення наближається до 0, прийняте припущення виконується з великою точністю.

Отримані при цьому диференційні рівняння є точними, якщо вони однорідні і лінійні відносно диференціалів. Суть методу похідних заключається в тім, що із умови задачі складаються наближені співвідношення між швидкостями зміни функції і аргументу. Відсутність нескінченно малих в методі похідних умов, так як швидкості зміни досліджуваної величини сама з'являлась при розгляді нескінченно малих елементів. При розгляді роботи сил, об'єктів тіл, площ криволінійних поверхонь їх можливо описати за допомогою визначення інтегралів. У випадку при такому опису невідома функція попаде під знак інтегралу, то отримаємо формальний запис, який називається інтегральним рівнянням.

Після диференціювання інтегрального рівняння воно перетворюється в диференціальне.

При одномірно – одномірна схемі якщо дія на об'єкті постійна в часі, що в якості моделі статистичного ймовірнісного об'єкту може виступати деякий закон розподілу вхідної величини.

Якщо вхідна дія може приймати різні значення і кожному значенню відповідає ряд значень вихідної величини об'єкту, то в якості моделі ймовірнісного об'єкту приймається набір законів розподілу вихідної величини для всіх значень вхідної дії.

При моделюванні ймовірнісних об'єктів крім законів розподілу вхідних і вихідних величин суттєвий зв'язок між ними. Тому до складу моделі включають коефіцієнти взаємодії кореляції і функції.

При 3-й схемі взаємодії (багатомірно - одномірне) статистичного ймовірнісного об'єкту із зовнішнім середовищем задача математичного моделювання зводиться до схеми 1 – однорідне – однорідна для кожного сполучення постійних вхідних дій.

Якщо нестационарний випадок, то він буде відрізнятися тим, що кожна вхідна дія може приймати декілька значень. При цьому для кожного конкретного сполучення складається набір законів розподілу.

Оцінка ступеня зв'язку вхідних величин із вихідною величиною проводиться шляхом співвідношення статистичних параметрів і розрахунку коефіцієнтів кореляції.

Моделювання динамічних режимів ймовірнісних об'єктів ґрунтується на математичних моделях, які визначають функціональні зв'язки і закони розподілу випадкових величин.

Процес вибору математичних моделей об'єкта закінчується їх контролем. Відомі наступні види контролю: розмірностей, порядків, характеру залежностей, екстремальних ситуацій, граничних умов, математичної замкнутості, фізичного розуміння, стійкості моделі.

Контроль розмірності зводиться до перевірки правила, що прирівнюються і складаються величини однакової розмірності.

Контроль *порядків* направленні на спрощення моделі. Малозначим доданки відкидаються.

Контроль *характеру залежностей* зводиться до перевірки напрямку і швидкості зміни одних величин при зміні інших. Напрямок і швидкість повинні відповідати фізичному розумінні задачі.

Контроль *експериментальних ситуацій* зводиться до перевірки наочного розуміння рішень при наближенні параметрів моделі до нуля або нескінченності.

Контроль *граничних умов* залучається в тому, що перевіряється відповідність математичної моделі граничним умовам, що витікають із змісту задачі.

Контроль *математичної замкнутості* зводиться до перевірки того, що математична модель дає однозначне рішення.

Контроль *фізичного розуміння* зводиться до перевірки фізичного змісту проміжних співвідношень, що використовувались при побудові моделі.

Контроль *стійкості моделі* залучається в перевірці того, що варіювання вхідних даних не призводить до суттєвої зміни рішень.

1.5 Методи математичного моделювання корозії арматури в бетоні

Розрізняють загальну корозію поверхні арматури, яка охоплює всю поверхню і може бути рівномірною і нерівномірною по глибині вражень. Буває місцева корозія, яка призводить до утворення окремих заглиблень локалізованих на обмежених площах. Це, так звана, пітингова корозія поверхні металу, коли діаметр враженої ділячки значно менше глибини вражень.

Розрізняють також міжкристалічну корозію, при якій руйнування йде на межі кристалу металу. Корозійні враження оцінюються різними показниками, які можуть бути використані для оцінки корозійного стану поверхні арматури.

Для оцінки корозійної стійкості арматури в бетоні часто використовують показник, який ґрунтується на витраті маси металу при корозії:

де: m_0 – маса зразка до розм'якшення його корозійне середовище;
 m – маса зразка після утримання його в корозійному середовищі і видалення іржі;
 S – поверхня металу, який кородує;
 t – час утримання зразка в корозійному середовищі.

При електрохімічній корозії мається зв'язок між швидкістю витрати металу і показником щільності струму.

$$(1.2)$$

де: n – валентність іону металу; A – атомна маса металу; $26,8$ – постійна Фарадея, А·год.

Глибинний показник корозії K_f являє собою глибину корозійного руйнування в одиницю часу (наприклад, мм/рік):

$$(1.3)$$

де: ρ_m – глибина корозії;

При оцінці нерівномірної, пітингової корозії вагові показники не можуть бути використані так як на поверхні арматури врахування зміни її геометричного перерізу має першочергове значення.

Уліг Г. [26] для характеристики пітингової корозії пропонує використовувати пітинг-фактор, який вимірюється відношенням самого глибокого пітингу до середньої швидкості корозії визначеній по витраті маси.

Пропонується також оцінювати корозійний стан по щільності розташування пітингів і їх глибині.

В [17] пропонується оцінювати кінетику корозії арматури слідуючою функціональною залежністю:

$$(1.4)$$

де: h_k – глибина корозії; K - емпіричний коефіцієнт; t - строк служби споруди, роки.

Значення « K » прийнято рівним, для неагресивних середовищ – 0,075; для слабо агресивних – 0,15 -0,3; для середньо-агресивних - 0,5.

В роботі [19] пропонується слідуюча залежність для корозії арматури залізобетонних конструкцій:

$$\Phi = \Phi_0(1 - 0,25^k), \quad (1.5)$$

де: Φ_0 - початкова площа перерізу арматури;

k - коефіцієнт агресивності середовища;

В роботі [13] приведена залежність, яка дозволяє визначити глибину корозії арматури при втраті захисних якостей бетоном:

$$\delta = \Delta \left[(\tau - \tau_{ab}) + (\tau_{ab} - \tau_0) \cdot e^{-(\tau - \tau_0) / (\tau_{ab} - \tau_0)} \right], \quad (1.6)$$

де: Δ - швидкість корозії арматури для слабо-, середньо- і сильно агресивних середовищ, відповідно 0,17; 0,25; 0,34 мм/рік;

τ_{ab} – час повного руйнування захисного шару бетону;

τ_0 – час карбонізації захисного шару бетону; τ - час експлуатації.

Складність розрахунків по формулі (1.6) заключається в необхідності визначення великої кількості параметрів.

Установлена залежність ступеню корозії арматури від ширини розкриття тріщини [16], яка оцінюється регресивною кривою:

$$\Delta d = 1,22 + 0,099a_m + 0.027a_m^2. \eta_f = 0,96 \quad (1.7)$$

Рівняння регресії сформовано методом найменших квадратів по результатах натурних обстежень плит покриття. Величина теоретичного кореляційного відношення дозволила зробити висновок про тісний зв'язок між досліджуваними параметрами.

В роботі [7] пропонується оцінювати корозійний стан по міцністих, структурних, хімічних характеристиках, що ускладнює використання цього методу.

Китайськими ученими [25] зроблена спроба розраховувати довговічність залізобетонної конструкції з урахуванням корозійних процесів на арматурі. Модель враховує час депасивації і корозії арматури, а також порушення зв'язів між бетоном і арматурою.

Математична модель корозії в бетоні, яка описана в [8] виведена на основі диференціальних рівнянь із балансу маси, балансу електричного заряду, енергетичного балансу, з врахуванням нерівності ентропії.

В роботі [24] прийнято зменшення площі поперечного перерізу арматури від корозії визначити слідуючим відношенням:

$$D = \frac{A_{s0} - A_{sg}\lambda(t)}{A_{s0} - A_{sg}}, \quad (1.8)$$

де: A_{sg} - площа поперечного перерізу до початку корозії;

A_{s0} - площа поперечного перерізу арматури, яка необхідна для сприйняття навантажень в період експлуатації конструкції;

$\lambda(t)$ - ступінь руйнування корозією площі поперечного перерізу арматури в різний момент часу t :

$$\lambda(t) = \frac{A_{s0} - A_s(t)}{A_{s0}}, \quad (1.9)$$

де: $A_s(t)$ - площа перерізу арматури враженої корозією в різний момент

часу.

Ступінь враженої арматури корозією будується на експериментальних дослідженнях, що затрудняє використання цієї залежності.

В [23] запропоновано метод визначення швидкості корозії арматури залізобетонних конструкцій, який ґрунтується на використанні потенціодинамічних поляризаційних характеристик і узагальненого закону Фарадея:

$$K = \frac{M \cdot \nu \cdot i}{z \cdot \rho \cdot F}, \quad (1.10)$$

де: K - характеристика лінійної швидкості корозії металу

перпендикулярно до його поверхні; M – молекулярна вага металу;

z, ν – число молекул, речовини і електронів в стахіометричному

рівнянні реакції корозії; F – постійна Фарадея; i – щільність струму;

ρ – щільність металу;

Із побудованих анодних поляризаційних кривих знаходять значення щільності струму i при потенціалі $E = -240$ (при цьому потенціалі сталь в бетоні знаходиться в пасивному стані).

Враховуючи те, що атмосферна корозія металу в нейтральних і лужних середовищах протікає з місцевою деполаризацією, в роботі проведено теоретичний аналіз стану арматури залізобетонного елемента в цих умовах. Як базова прийнята модель корозії арматурного стрижня на кінці просторі заповненому бетоном при дифузному контролі процесу і односторонньому фронті падання деполаризатора (кисню) до поверхні арматури через бетон.

(1.11)

$$\text{де: } a = (h + \sqrt{h^2 + z}) / z;$$

i – щільність корозійного струму;

θ - полярна координата;

h – відстань від поверхні бетонного елемента до центра перерізу арматурного стержня;

r – радіус арматурного стержня;

D – коефіцієнт дифузії кисню;

F – число Фарадея.

РОЗДІЛ 2**МЕТА РОБОТИ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ****Мета роботи:**

корозійну стійкість арматури в залізобетонних конструкціях

Об'єкт дослідження: Арматура залізобетонних конструкцій.

Предмет дослідження: Корозія арматури з врахуванням гетерогенної структури бетонного покриття.

Задачі

- вивчити вплив параметрів бетону на корозію арматури в бетоні;
 - Вивчити загальні відомості про електрохімічну корозію;
 - Вивчити вплив структури бетону на корозійний стан бетону;
- Дослідити
- Провести експериментальні дослідження за математичною моделлю.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Електрохімічна неоднорідність металу в гирлі пори і в міжпоровому просторі залізобетонного елементу обумовлює утворення корозійного елементу, тобто виникають області переважно анодних і переважно катодних реакцій. Якщо такі області розглядати як гетерогенні, то електрод складається з різних ділянок з різними кривими сумарний струм - потенціал. Такі електроди називають гетерогенними зміщаними електродами, вони кородують локально з різними швидкостями. Окремі області є електродами коротко замкненого елементу. У загальному випадку площі анодних і катодних ділянок у кородуючого металі нерівні і по цьому щільність струму на анодних і катодних ділянках не рівна. Проте сила корозійного струму для анодного і катодного процесів загальна.

В результаті такої локалізації анодних і катодних процесів уся поверхня арматури представляється як сукупність майданчиків (анодів і катодів коротко замкнених гальванічних елементів), струм яких, віднесений до одиниці площі анодів характеризуватиме швидкість корозії.

Наприклад, на рис. 3.1 показано утворення локального елементу при корозії, що супроводжується відновленням розчиненого в електроліті кисню із врахуванням двох нерівно допустимих ділянок поверхні металу.

Тут S_1 і S_2 представляють собою частину поверхні, i_{M1} і i_{M2} - локальна щільність струму процесу $M \rightarrow M^{Z+} + Ze$, помножені на S_1 і S_2 , а i_{O21} і i_{O22} - локальні щільність струму відновлення кисню, помножені відповідно на S_1 і S_2 . $U_{p.M}$ і U_{O2} - рівноважні потенціали металу і кисневого електроду. При накладенні i_{M1} і i_{O21} отримуємо $i_1(U)$, а при складанні i_{M2} і i_{O22} відповідно $i_2(U)$.

Рис.3.1

, ц.с. мають більш негативний змішаний потенціал, стають при цьому анодами, а і.ц.п. – катодами.

Таким чином, питання про напрям локального струму складним чином залежить від взаємодії всіх чотирьох щільностей струму i_{M1} , i_{M2} , i_{O21} , i_{O22} .

Розчинення металу $i_{\text{кЛ}}$, $i_{\text{кП}}$ розділяється на усій поверхні інакше, ніж відновлення кисню, хоча їх сума за відсутності зовнішнього струму повинна бути рівна нулю.

Для арматури під бетоном в загальному випадку площі анодних і катодних ділянок не рівні, а умова зв'язаності набуває вигляду;

$$(3.1)$$

Для опису процесу корозії по гетерогенному механізму може бути використаний закон електродинаміки:

$$(3.2)$$

Повний струм гальванопари:

$$(3.3)$$

де

R – опір зовнішнього ланцюга;

φ_0^a, φ_0^k - зворотні потенціали анода і катода;

$\eta(i_a); \eta(i_c)$ - зміщення потенціалів від зворотних.

Якщо анодні і катодні ділянки були б ізольовані один від одного ($I_a=0$),

то

$$(3.4)$$

Різниця потенціалів $\varphi_0^k - \varphi_0^a$ - це е.р.с гальмічного елемента, $V_k - V_a$ – діюча напруга на зати́кання, коли в ланцюзі тече струм.

Для коротко замкнутих елементів $R \approx 0; V_k - V_a \approx 0; I_a = I_{\text{max}}$.

Як видно із розглянутих вище закономірностей корозійні втрати на металі в більшості будуть залежить від відношення площі катодної і анодної ділянки, опору зовнішнього ланцюга гальванопари.

3.1.2 Дослідження моделі корозії арматури під бетонним покриттям

В основу запропонованої моделі покладена гіпотеза про те, що швидкість корозії арматури в бетоні пропорційна активній частині поверхні під порою [3]:

$$(3.5)$$

де K_0 – початкова швидкість корозії, г/м²год;

S^I, S^{II} – частини міжпорового простору бетону, контактуючого з поверхнею арматури і частина поверхні арматури зайнята продуктами корозії;

K' – сталіснарне значення швидкості корозії арматури, г/м²год;

Припускаємо, що при стаціонарному процесі швидкості руйнування продуктів корозії рівна K' , а також, що швидкість руйнування адгезійних зв'язків міжпорового простору, контактуючого з поверхнею арматури пропорційна S^I , тобто

$$(3.6)$$

де a, β – коефіцієнти.

Прийmemo наступні граничні умови:

$$S^I_{t=0} = S^I_0; \quad (3.7)$$

Рішення диференційного рівняння (3.6) має вигляд:

$$S^I = C \cdot e^{-at}. \quad (3.8)$$

Нехай $C=C(t)$. Подставимо знайдене рішення в (3.6):

або

Звідки

$$(3.9)$$

Підставляючи (3.9) в (3.9) с.

Значення

$$\lim_{t \rightarrow 0} \dots$$

$$= \dots$$

суде інтегритичні залежності зміни адгезії

$$dS''$$

(3.11)

(3.12)

(3.13)

$$\frac{dS^{II}}{dt} = -\beta S^{II}, \quad S^{II} = C \cdot e^{-\beta t}. \quad (3.14)$$

Підставимо (3.14) в (3.13):

$$\begin{aligned} dC/dt \cdot e^{\beta t} - \beta C e^{-\beta t} &= -\beta C e^{-\beta t} + \gamma S^I - \beta S^I, \\ dC/dt &= \beta \gamma e^{\beta t} - \beta S^I e^{\beta t}. \end{aligned}$$

Або з урахуванням (3.10):

$$C = \gamma e^{\beta t} - \frac{\beta}{\beta - \alpha} (S_0^I - S_\infty^I) \cdot (\beta - \alpha)^t - S_0^I e^{\beta t} + C_0. \quad (3.15)$$

Підставляючи (3.15) і (3.14) отримаємо:

$$(3.16)$$

Знайдемо значення γ і C_0 за умовою (3.12):

$$S^I|_{t=0} = \gamma - S_0^I - \frac{\beta}{\beta - \alpha} (S_0^I - S_\infty^I) + C_0 = 0,$$

$$\gamma = 1, \quad C_0 = S_0^I - 1 + \frac{\beta}{\beta - \alpha} (S_0^I - S_\infty^I)$$

Підставим значення γ і C_0 в (3.12):

Остаточне

$$(3.17)$$

Підставляючи отримані значення S^I, S^{II} в рівняння (3.5) і інтегрування по t дозволяє знайти залежність втрати маси в часі:

$$\Delta m = \int \{k_0 [1 - (S^I + S^{II})] + k^I S^{II}\} dt, \quad (3.18)$$

де

$$S^I = (S_0^I - S_\infty^I) e^{-\alpha t}, \quad (3.19)$$

$$(3.20)$$

Перетворимо (3.20) для зручності до вигляду:

$$\Delta m = \int k_0 (1 - S^I) dt - \int (k_0 - k) S^{II} dt. \quad (3.21)$$

Обчислюємо перший інтеграл в (3.21), підставляючи значення S^I з (3.19)

$$\int (1 - S^I) dt = \int [1 - (S_0^I - S_\infty^I) e^{-\alpha t} - S_\infty^I] dt = (1 - S_\infty^I) t + \frac{S_0^I - S_\infty^I}{\alpha} e^{-\alpha t} + C, \quad (3.22)$$

де C – постійна інтегрування.

Обчислюємо другий інтеграл в (3.21), підставляючи значення S^{II} з (3.20):

$$= (1 - S_\infty^I) t + \frac{1 - S_\infty^I}{\beta} e^{-\beta t} - \frac{\beta}{\beta - \alpha} (S_0^I - S_\infty^I) \int (e^{-\alpha t} - e^{-\beta t}) dt = (1 - S_\infty^I) t + \quad (3.23)$$

$$+ \frac{1 - S_\infty^I}{\beta} e^{-\beta t} - \frac{\beta}{\beta - \alpha} (S_0^I - S_\infty^I) \left(-\frac{1}{\alpha} e^{-\alpha t} + \frac{1}{\beta} e^{-\beta t} \right) + D,$$

де D – постійна інтегрування.

Підставимо (3.22) і (3.23) в (3.21):

$$= K_0 (1 - S_\infty^I) t + K_0 \frac{S_0^I - S_\infty^I}{\alpha} e^{-\alpha t} - K_0 (1 - S_\infty^I) t + K^I (1 - S_\infty^I) t - (K_0 - K^I) \frac{1 - S_\infty^I}{\beta} *$$

$$* e^{-\beta t} + \frac{K_0 - K^I}{\beta - \alpha} \beta (S_0^I - S_\infty^I) \left(-\frac{1}{\alpha} e^{-\alpha t} + \frac{1}{\beta} e^{-\beta t} \right) + K_0 C - (K_0 - K^I) D.$$

Так як C і D довільні сталі, то позначимо дві останні складові C .

Після скорочення і зміни сталих отримаємо:

$$\begin{aligned} \Delta m = & K^I (1 - S_\infty^I) t + K_0 \frac{S_0^I - S_\infty^I}{\alpha} e^{-\alpha t} + K_0 C - (K_0 - K^I) \frac{1 - S_\infty^I}{\beta} e^{-\beta t} + \\ & + (K_0 - K^I) \frac{\beta}{\beta - \alpha} (S_0^I - S_\infty^I) \left(-\frac{1}{\alpha} e^{-\alpha t} + \frac{1}{\beta} e^{-\beta t} \right) + C. \end{aligned} \quad (3.24)$$

Так як $K < K_0$ і $e^{-\beta t} \rightarrow 0$ при $t \rightarrow \infty$ до нескінченності, виборене $K^I e^{-\beta t}$ і $K^I e^{-\alpha t}$ можна ігнорувати.

Тоді (3.24) матиме вигляд:

$$\begin{aligned} \Delta m = & K^I (1 - S_\infty^I) t - K_0 \frac{1 - S_\infty^I}{\beta} e^{-\beta t} + K_0 \frac{S_0^I - S_\infty^I}{\alpha} e^{-\alpha t} + \\ & + K_0 \frac{\beta}{\beta - \alpha} (S_0^I - S_\infty^I) \left(-\frac{1}{\alpha} e^{-\alpha t} + \frac{1}{\beta} e^{-\beta t} \right) + C. \end{aligned} \quad (3.25)$$

Перетворимо останні дві складові в (3.25):

$$K_0 (S_0^I - S_\infty^I) \left\{ \frac{1}{\alpha} e^{-\alpha t} - \frac{\beta}{\beta - \alpha} \cdot \frac{1}{\alpha} e^{-\beta t} + \frac{\beta}{\beta - \alpha} \cdot \frac{1}{\beta} e^{-\beta t} \right\} =$$

$$K_0 (S_0^I - S_\infty^I) - \frac{1}{\beta - \alpha} e^{-\alpha t} \{ -1 + e^{-(\beta - \alpha)t} \} \quad (3.26)$$

Підставимо (3.26) в (3.25):

$$\Delta m = K^I (1 - S_\infty^I) t - K_0 \frac{1 - S_\infty^I}{\beta} e^{-\beta t} + K_0 (S_0^I - S_\infty^I) \cdot \frac{1}{\beta - \alpha} e^{-\alpha t} \{ -1 + e^{-(\beta - \alpha)t} \},$$

або

$$\Delta m = K^I (1 - S_\infty^I) t - K_0 \frac{1 - S_\infty^I}{\beta} e^{-\beta t} - K_0 \frac{S_0^I - S_\infty^I}{\beta - \alpha} e^{-\beta t} (1 - e^{-(\beta - \alpha)t}) + C. \quad (3.27)$$

Для визначення даної умови в (3.27) отримаємо:

$$C = K_0 \frac{1 - S_0^I}{\beta}.$$

Остаточно

$$\Delta m = K^I (1 - S_\infty^I) t - K_0 \frac{1 - S_\infty^I}{\beta} e^{-\beta t} - K_0 \frac{S_0^I - S_\infty^I}{\beta - \alpha} e^{-\beta t} (1 - e^{-(\beta - \alpha)t}) + K_0 \frac{1 - S_\infty^I}{\beta} \quad (3.27)$$

При довгій експозиції (t прямує до нескінченності) корозійний процес стабілізується у рівняння (3.27) спрощується:

$$\Delta m = K_0 \frac{1 - S_\infty^I}{\beta} + (1 - S_0^I) K^I t. \quad (3.29)$$

Залежність (3.29) може бути виражена в струмових показниках:

Відомо, що корозійна щільність струму зв'язана з ваговим показником слідуєючої залежності:

$$i = \Delta m \frac{n}{A} \cdot 2,68 \cdot 10^{-3}, \quad (3.30)$$

де i – струменевий показник корозії, в А/см²;

Δm – від'ємний ваговий показник корозії, в г·м год;

$n=2$ – валентність іона металу, який переходить в розчин;

$F=2,68$ – постійна Фарадея, в А – год·н;

$A=55,85$ – атомна вага металу.

Тоді

$$K_0 = i_0 \frac{A \cdot 10^3}{n \cdot F} = i_0 \frac{55,85 \cdot 10^3}{2 \cdot 2,68} = 10419,77 i_0 \quad (3.31)$$

Аналогічно

$$K^I = i^I \frac{z \cdot \rho^3}{n \cdot F} = 10419,77i^I \quad (3.32)$$

де i_0 і i^I – початковий і стаціонарний струменевий показник в А/см²

Підставляючи в (3.29) значення K_0 і K^I по (3.31,3.32) отримаємо:

$$\Delta m = (1 - S'_{00}) \cdot 10419,77 \left(\frac{1}{\beta} i_0 + i^I t \right) \quad (3.33)$$

Оскільки у втраті маси металу за умови наявності ділянок, що не мають щільного контакту з металом арматури (пора) і ділянок, що контактують з арматурою (міжпоровий простір), не останню роль грають макрогальванічні пари. Тому фізична модель для досліджень була прийнята макрогальванічна пара, яка утворюється з двох сталевих полірованих пластин, що мають електронний зв'язок через ізольований провідник.

Корозійні випробування проводилися зі сталі С31, так як вона найпоширеніша у виробництві монтажної і конструктивної арматури. Загальна кількість сталевих пластин для дослідження брали де з'ять для анода і катода, що дозволяє виконувати статистичну обробку результатів.

Анодом пари були зразки розмірами 1x1 см. (рис. 3.1), а катодом - пластина зі сталі покрита мікроемаллю, розміри катодних пластин були такими:

3
поверхнею арматури, а пластина - катод - сумарну площу міжпорового простору в контактній зоні з поверхнею арматури.

Перед випробуванням анодні та катодні пластини чистили від слідів іржі, занурюючи їх в спеціальний розчин (10 %-вий розчин соляної кислоти з

додаванням 1 % уротропіну), після чого промивали сталеві пластини у воді, і висушували, в сушильній шафі.

Катодні сталеві пластини покривали краскою – нітроемаллю, за допомогою розпилення, так як вона швидко висихає. Зразки анодних пластин, зважували на аналітичних вагах, з точністю $\pm 0,1$ г. В анодних та катодних зразках робили отвори, для їх з'єднання.

В якості корозійного середовища використовували 3% розчин $NaCl$. Зразки в агресивний розчин солі, занурювались попарно анод і катод. Як тільки сталеві пластини були занурені в 3% розчин солі, вимірювався початковий електричний струм кожного зразка, а потім вимірювався один раз на добу до тих пір поки електродний струм не став постійним. Після чого кожна пластинка анода і катода замикались провідником для утворення макрогоальванічної пари. В якості провідника вступав ізольований мідний дріт, який попередньо очищався в місцях з'єднання сталевих пластин, для утворення електронного

Після витримки зразків в $NaCl$ через конкретний період часу (32, 44, 116 та 126 днів) видаляли іржу, застосовуючи той самий 10 % в'язкий розчин соляної кислоти з додаванням 1 % уротропіну, який і перед початком експерименту, він розчиняє продукти корозії. Після видалення іржі зразки промивали у воді, і висушували в сушильній шафі. Після чого повторно зважували на аналітичних вагах, для визначення втрати маси.

Таблиця 4.2 Властивості міцності прокату із сталі Ст3

Таблиця 4.3 Ударна в'язкість прокату із сталі Ст3

Таблиця 4.4 Технологічні властивості сталі Ст3пс

Агресивний розчин солі використовувався для дослідження корозії арматури, в який занурювалися сталеві зразки.

Солі - це складні речовини, утворені іонами металів і кислотними залишками.

Солі - це електроліти, при дисоціації яких утворюються катіони (позитивно заряджені іони) металів і аніони, негативно заряджені іони кислотних залишків.

Електроліти - рідкі або тверді речовини, в яких присутні іони, здатні переміщатися і проводити електричний струм.

Дисоціація - повний або частковий розпад молекул розчиненої речовини на іони в результаті взаємодії з розчинником.

Катіони - позитивно заряджені іони.

Аніони - негативно заряджені іони.

В даному досліді використовувався 3% розчин NaCl, так як це стандартний електроліт для дослідження корозії металу. Приготування 3% розчин NaCl: 10г солі на 1 літр води.

Соляна кислота в даній магістерській роботі ми використовували для очищення сталених пластин від іржі.

Соляна кислота (хлористоводнева кислота) (соляна кислота) - розчин хлористого водню у воді, сильна одноосновна кислота. Безбарвна, "димить" на повітрі, сильно їдка рідина (технічна соляна кислота жовтувата із-за домішок Fe, Cl_2 та ін.).

Соляна кислота повинна відповідати вимогам ДСТУ 2904-94[5].

Максимальна концентрація при 20 ° C дорівнює 38% за масою, щільність такого розчину 1,19 г / см³. Солі соляної кислоти називаються хлоридами.

Технічна кислота має жовтуватий відтінок, викликає слідами сполук заліза, хлору та інших елементів (FeCl₃).

Соляна кислота являє собою легке з'єднання, так як при нагріванні вона випаровується. Вона є сильною кислотою і енергійно взаємодіє з більшістю металів. Однак такі метали як золото, платина, ніоб, вольфрам і свинець, соляною кислотою практично не труються. Багато недорогих металів, розчиняючись в кислоті, утворюють хлориди, наприклад цинк.

Соляну кислоту отримують розчиненням газоподібного хлороводню у воді.

В нашому досліді для очищення іржі ми використовували 10% розчин соляної кислоти, для оптимального очищення. Розбавлені розчини не виділяють газоподібного HCl і не димлять ні в сухому, ні у вологому повітрі.

Фізичні властивості соляної кислоти наведені в табл 4.4.

Величезна кількість соляної кислоти витрачається для видалення оксидів заліза, для того щоб соляна кислота реагувала тільки з оксидами, а не з металом, до неї додають особливі речовини, які називаються інгібіторами. [6*]

Інгібітор (лат *inhibere* - затримувати.) - речовини, що уповільнюють або запобігають перебіг різних хімічних реакцій: окислення, полімеризації, корозію металів та ін. [11]

Стосовно до корозії металу інгібітором називають речовину, яка адсорбуючи на поверхні металу, робить її потенціал більш позитивним, тим самим сповільнюючи процес корозії. Це речовина, яка сповільнює протікання хімічної реакції, але сама інгібітор в реакції не бере і не витрачається.

В якості інгібітору використовують – уротропін, каталін каптакс. В

швидко сохнуть. Наносять їх за допомогою розпилювача. Маркуються такі фарби НЦ і розчиняється ацетоном. Працювати з ними потрібно в респираторі.

Мідний дріт застосовувався для з'єднання сталевих пластин.

Вода використовувалася водопровідна.

4.2 Характеристика, застосування використаного обладнання

струму 100 нА - 10 А;
опору постійному струму 100 МОм - 20 МОм
Вхідна ємність 100 пФ
Живлення від мережі 220 В, 50 Гц;

Маса Р7-41 без джерела живлення 0,5 кг

Аналітичні ваги використовували для зважування сталевих пластин, для визначення втрати маси на аноді.

РОЗДІЛ 5

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Початкові дані отримачі після корозійного досліду заносимо до таблиці

5.1.

Таблиця 5.1 Характеристика випробуваних і значення β .

№ зразка	Розмір пластинки, см		Площа поверхні, см ²		Вага аноду, г		Час випробування	Щільність струму на аноді 10 ⁻⁶ А/см.	
	анод								
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									

1. Розрахуємо втрати маси на аноді зразків за формулою.

$$\Delta m_n = m_1 - m_2,$$

де m_1 – вага анода до випробування, г;

m_2 – вага анода після випробування, г.

1) Втрати маси на аноді після витримування в 3%-му NaCl через 32 дні, при гальванопарі.

- з катодом площею :

2) Втрати маси на аноді після витримання в 3%-му NaCl через 44 дні, при гальванопарі:

- з катодом площею поверхні :

з катодом площею поверхні cm^2 :

$$\Delta m_3 = 0,5619 - 0,5131 = 0,038 \text{ г};$$

3) Втрати маси на аноді після витримання в 3%-му NaCl через 85 дні, при гальванопарі:

- з катодом площею поверхні :

$$\Delta m_4 = 0,6619 - 0,5559 = 0,106 \text{ г};$$

$$\Delta m_5 = 0,8585 - 0,7205 = 0,138 \text{ г};$$

4)

днів, при гальванопарі:

- з катодом площею поверхні :

$$\Delta m_6 = 0,5898 - 0,4814 = 0,1084 \text{ г}$$

5) Втрати маси на аноді після витримування в 3%-му NaCl через 116 днів, при гальванопарі:

- з катодом площею поверхні 20 см²:

$$\Delta m_7 = 0,6619 - 0,54830 = 0,1136 \text{ г}$$

$$\Delta m_8 = 0,597 - 0,427 = 0,17 \text{ г}$$

б) Втрати маси на аноді після витримування в 3%-му NaCl через 126 днів, при гальванопарі:

2. Розрахуємо теоретичні втрати маси на аноді витриманого в 3%-му

:

$$\Delta m = \frac{\Delta m_n}{S_a}$$

де Δm_n - втрати маси на аноді в г;

S_a - площа поверхні анода.

1) Втрати маси на аноді після витримування в 3%-му NaCl через 32 дні, при гальванопарі на 1 м²:

- з катодом площею поверхні 18 см²:

$$\Delta m_n = 0,012 \text{ г};$$

$$S_a = 0,0002 \text{ м}^2.$$

2) Втрати маси на аноді після витримання в 3%-му NaCl через 44 дні, при гальванопарі на 1 м^2 :

- з катодом площею поверхні 20 см^2 .

$$\Delta m_n =$$

$$\Delta m_{\text{теор}} = \frac{0,03}{0,0002} = 150 \text{ г};$$

- з катодом площею поверхні 40 см^2 :

$$\Delta m_n =$$

$$\Delta m_{\text{теор}} = \frac{0,038}{0,0002} = 190 \text{ г};$$

3) Втрати маси на аноді після витримання в 3%-му NaCl через 85 дні, при гальванопарі на 1 м^2 :

- з катодом площею поверхні 20 см^2 :

$$\Delta m_n = 0,0106 \text{ г};$$

$$\Delta m_{\text{теор}} = \frac{0,106}{0,0002} = 530 \text{ г};$$

- з катодом площею поверхні 40 см^2 :

$$\Delta m_n =$$

$$\Delta m_{\text{теор}} = \frac{0,138}{0,0002} = 690 \text{ г};$$

4) Втрати маси на аноді після витримання в 3%-му NaCl через 106 днів, при гальванопарі на 1 м^2 :

- з катодом площею поверхні 18 см^2 :

Δm_n

$$\Delta m_{6теор} = \frac{0,1084}{0,0002} = 542г;$$

5) Втрати маси на аноді після витримування в 3%-му NaCl через 116 днів, при гальванопарі на 1м²:

- з катодом площею поверхні 20 см²:

 Δm_n

$$\Delta m_{7теор} = \frac{0,139}{0,0002} = 695г;$$

 Δm_n

$$\Delta m_{8теор} = \frac{0,17}{0,0002} = 850г;$$

6) Втрати маси на аноді після витримування в 3%-му NaCl через 126 днів, при гальванопарі 1м²:

- з катодом площею поверхні 18 см²:

 Δm_n

$$\Delta m_{9теор} = \frac{0,148}{0,0002} = 740г;$$

3. Розраховуємо експериментальні втрати маси на аноді за формулою:

$$\Delta m = (1 - S'_x) \cdot 10^{19,77} \left(\frac{1}{\beta} i_0 + i^l t \right)$$

де S'_x – частина міжпорового простору бетону, контактуючого з поверхнею арматури.

де i_0, i^l – початковий та лінійний струменевий показник корозії, в А/см²;

β – коефіцієнт

1) Втрати маси першого зразка на аноді після витримання в 3%-му NaCl через 32 дні, при гальванопарі на 1 м²:

- з катодом площею поверхні 18 см²:

$$\Delta m_1 = (1 - 0,9) \cdot 10419,77 \left(\frac{1}{100 \cdot 10^{-5}} \cdot 6 \cdot 10^{-6} + 4 \cdot 10^{-6} \cdot 32 \right) = 65,72;$$

Також розраховуємо проміжне значення через 20 днів:

$$\Delta m_1 = (1 - 0,9) \cdot 10419,77 \left(\frac{1}{100 \cdot 10^{-5}} \cdot 6 \cdot 10^{-6} + 4 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \right) = 42;$$

Будуємо графік, який зображаємо на рис. 5.1

2) Втрати маси на аноді після витримання в 3% му NaCl через 44 дні, при гальванопарі на 1 м²:

- з катодом площею поверхні 20 см²:

$$\Delta m_2 = (1 - 0,9) \cdot 10419,77 \left(\frac{1}{73 \cdot 10^{-5}} \cdot 11 \cdot 10^{-6} + 8 \cdot 10^{-6} \cdot 44 \right) = 149,25;$$

Також розраховуємо проміжне значення через 20 днів:

$$\Delta m_2 = (1 - 0,9) \cdot 10419,77 \left(\frac{1}{73 \cdot 10^{-5}} \cdot 11 \cdot 10^{-6} + 8 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \right) = 117,91;$$

- з катодом площею поверхні 40 см²:

$$\Delta m_3 = (1 - 0,9) \cdot 10419,77 \left(\frac{1}{55 \cdot 10^{-5}} \cdot 19 \cdot 10^{-6} + 16 \cdot 10^{-6} \cdot 44 \right) = 188,78;$$

Також розраховуємо проміжне значення через 20 днів:

$$\Delta m_3 = (1 - 0,9) \cdot 10419,77 \left(\frac{1}{55 \cdot 10^{-5}} \cdot 19 \cdot 10^{-6} + 16 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \right) = 33,74;$$

Будуємо графік, який зображено на рис. 5.2 (а,б)

3) Втрати маси на аноді після витримання в 3%-му NaCl через 85 дні, при гальванопарі на 1 м²:

- з катодом площею поверхні 20 см²:

$$\Delta m_4 = (1 - 0,9) \cdot 10419,77 \left(\frac{1}{17 \cdot 10^{-5}} \cdot 9,5 \cdot 10^{-6} + 8 \cdot 10^{-6} \cdot 85 \right) = 528,32;$$

Також розраховуємо проміжне значення через 44 дні:

$$\Delta m_4 = (1 - 0,91) \cdot 10419,77 \left(\frac{1}{17} \right)$$

- з катодом площі

$$\Delta m_5 = (1 - 0,95) \cdot 1041 \cdot 10^{-6}$$

Також розрах

Будуєт

ΔV

Щ

106 днів,

В,

ий а

$$\Delta m_3 = (1 - 0,95) \cdot 10419,77 \left(\frac{1}{10 \cdot 10^{-6}} \cdot 19 \cdot 10^{-6} + 17 \cdot 10^{-6} \cdot 1440 \right) = 837,48 \text{ г};$$

Будуємо графік, який зображаємо на рис. 5.4(б) і 5.5 (а)

5) Втрати маси на аноді після витримання в 3%-му NaCl через 126 днів, при гальванопарі 1м²:

- з катодом площею поверхні 18 см²:

$$\Delta m_3 = (1 - 0,9) \cdot 10419,77 \left(\frac{1}{10 \cdot 10^{-6}} \cdot 7 \cdot 10^{-6} + 5 \cdot 10^{-6} \cdot 2784 \right) = 745,14 \text{ г};$$

Також розглядуємо проміжне значення через 60 днів:

$$\Delta m_3 = (1 - 0,9) \cdot 10419,77 \left(\frac{1}{10 \cdot 10^{-6}} \cdot 7 \cdot 10^{-6} + 5 \cdot 10^{-6} \cdot 1440 \right) = 736,89 \text{ г};$$

Розрахункові дані кожної зразка заносимо до табл. 5.2

Рис. 5.1 Корозійні втрати маси експериментальних та теоретичних зразків

а)

б)

Рис. 5.2 Корозійні втрати маси

розмірами

б)

а)

Рис. 5.3 Корозійні втрати маси

1x1, катод розмірами

а)

б)

Рис. 5.4 Корозійні втрати маси експериментальних та теоретичних

в)

г)

Рис. 5.5 Корозійні втрати маси

РОЗДІЛ 6

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

конструкцій в гальванічному цеху

Цех корозійного захисту характеризується шкідливими і небезпечними виробничими факторами, що призводять до типових професійних захворювань робітників. Так як повітря яке видається місцевими насосами від гальванічної ванни, містить різні хімічні речовини, які є основними джерелами забруднення атмосфери. Таким чином, викид забруднених речовин в навколишнє середовище призводить до забруднення атмосферного повітря, яке впливає на стан здоров'я людини.

Шкідливі речовини можуть надходити в організм людини через органи дихання, шкіру. Особливо активні хімічні речовини потрапляють в організм робітника при високій температурі повітря. При вдиханні парів кислоти відзначаються ураження слизової оболонки носоглотки і гортані, що може призвести до хронічного захворювання. При виконанні ручних операцій з кислотою і лугом шкідливі речовини проникають через шкіру і можуть визвати роздратування і хімічні опіки шкірного покриву робітника [20].

Більшість обладнання в гальванічному цеху харчується струмом, тому існує небезпека ураження електричним струмом. Підвищена вологість в приміщенні, наявність агресивних середовищ, можливість одночасного дотику людини з земляними частинами і корпусів електрообладнання дозволяють класифікувати гальванічні цехи по степені небезпеки ураження електричним струмом як особливо небезпечні приміщення.

Виявлені небезпечні та шкідливі фактори необхідно нейтралізувати. Для цього потрібно розробити систему промислової та екологічної безпеки на в цеху гальванки.

Нормальні для роботи умови забезпечуються гарним освітленням, поточно втяжною вентиляцією та підтриманням нормальної температури повітря в цеху, тільки при виконанні цих умов можна зменшити зростаючі професійних захворювань у робітників.

Технічні

залізобетонних конструкцій у

гальванічному цеху

Безпека праці при нанесенні гальванічних покриттів досягається в результаті впровадження комплексу технологічних будівельно-планувальних, санітарно-технічних і медико-профілактичних заходів. Частина цих заходів однакова для будь-якого виду гальванічних покриттів, інша частина обумовлена специфікою джерела небезпеки та характером небезпечних і шкідливих виробничих факторів конкретної технологічної операції.

Орієнтовна одночипність процесів і операцій гальванічного виробництва, їх багаторазові повторюваність дозволяють впровадити комплексну механізацію та автоматизацію з програмним управлінням, це дає можливість значно знизити витрати хімікатів і одночасно оздоровити виробниче середовище. При неможливості автоматизації процесу має бути забезпечена комплексна механізація окремих операцій - підготовчих, транспортних, фінішних, зокрема, завантаження підвісок і виробів у ванни та їх вивантаження.

Застосування ручних робіт допустимо при відсутності в технологічному процесі речовин 1-го і 2-го класу небезпеки і з використанням засобів колективного та індивідуального захисту.

Велике значення для безпеки праці має дотримання вимог, що пред'являються до органів управління. При роботі на механічному обладданні вимоги безпеки передбачаються спеціальною документацією для механічних цехів. Полірувальні та шліфувальні верстати обладнуються захисними екранами та місцевими відсмоктувачами, зблокованими з механізмом пуску верстата. При застосуванні абразивного інструменту необхідно керуватися правилами і нормами безпечної роботи.

Технічні засоби і організаційні заходи із усунення дії шкідливих і небезпечних виробничих факторів при експлуатації залізобетонних конструкцій у цеху гальвано-пари

Безпека праці при нанесенні гальванічних покриттів досягається в результаті впровадження комплексу технологічних будівельно-монтажних, санітарно-технічних і медико-профілактичних заходів. Частина цих заходів однакова для будь-якого виду гальванічних покриттів, інша частина обумовлена специфікою джерела небезпеки та характером небезпечних і шкідливих виробничих факторів конкретної технологічної операції.

Орієнтовна однотипність процесів і операцій гальванічного виробництва, їх багаторазова повторюваність дозволяють впровадити комплексну механізацію та автоматизацію з програмним управлінням, що дає можливість значно знизити витрати хімікатів і одночасно оздоровити виробниче середовище. При неможливості автоматизації процесу має бути забезпечена комплексна механізація окремих операцій - підготовчих, транспортних, фінішних, зокрема, завантаження підвісок і виробів у ванни та їх вивантаження. Застосування ручних робіт допустимо при відсутності в технологічному процесі речовин 1-го і 2-го класу небезпеки і з використанням засобів колективного та індивідуального захисту.

Заходи пожежної безпеки у гальванічному цеху при експлуатації залізобетонних конструкцій

Виникнення пожеж в гальванічних цехах можливе в наступних випадках:

У шліфувально-полірувальних ділянках, де в процесі роботи в повітроводах витяжної вентиляції накопичується матерчатий пил, просочена жирсвою масою, а на шліфувальних кругах виникає велика іскріння, що може викликати загоряння пилу в повітропроводах. З метою попередження пожежі необхідно витяжні повітроводи постачати окремими вентиляторами. У кладорах хімікатів, де зберігаються спільно сильні окислювачі і леткі органічні розчинники. Для запобігання можливості пожежі органічні розчинники повинні зберігатися в окремих приміщеннях з витяжною вентиляцією. На ділянках знежирення деталей від мінеральних масел, де застосовується бензин. При протиранні деталей щітками або серветками, змоченими бензином, виникає статична електрика, що дає іскри, що може викликати пожежу при наявності в повітрі парів бензину. З метою пожежної безпеки бензомиючі шафи повинні бути забезпечені потужною витяжною вентиляцією. Не дозволяється для протирання деталей застосовувати вовняні і шовкові серветки, які при змочуванні в бензині викликають іскріння статичної електрики і займання парів бензину. При наявності в гальванічних цехах високої вологості, парів кислот і лугів відбувається прискорене старіння ізоляції електропроводів, що може викликати короткі замикання і загоряння проводів. Для запобігання пожеж необхідно проводити профілактичний ремонт електрообладнання цеху.

За вибухонебезпечної та пожежної безпеки цехи металокриттів відносяться до категорії Д, по класу приміщень по вибухонебезпечності не є вибухо- і не пожеже - небезпечними. Ділянки із застосуванням горючих матеріалів (наприклад, горючих органічних розчинників бязевих кіл без просочення вогнестійким складом) відносяться до категорії В, по класу вибухонебезпечності - П-ПА. Робітники і службовці зовні прийняті на роботу,

можуть бути допущені на роботу тільки після проходження первинного протипожежного інструктажу.

Для виконання завдань з пожежної безпеки на підприємстві створюються добровільні пожежні дружини, що займаються попередженням пожеж на своїх робочих місцях і мають на випадок пожеж бойові розрахунки, оснащені пожежною технікою. В якості засобів пожежогасіння використовується вода, хімічна піна, тверді і рідкі пожежогасячі речовини. В цехах повинні бути протипожежні постів де "знаходяться пожежний інвентар, пінні вогнегасники і ящики з сухим піском. У разі виникнення пожежі в цеху необхідно відразу повідомити майстра або старшому зміни і викликати пожежну команду, а до її прибуття організувати гасіння пожежі, використовуючи для цього вогнегасники, пісок, воду та інші засоби [15].

Інженерні рішення з охорони праці та техніки безпеки при експлуатації залізобетонних конструкцій у гальванічному цеху

Працівники гальванічних майстерень піддаються впливу вельми шкідливих і токсичних сполук. Кожен працівник гальванічної майстерні повинен отримати інструктаж і попередження про небезпеку, пов'язані з його роботою, що повинно бути зафіксовано у відповідних документах. Працівники гальванічних майстерень повинні проходити регулярний медогляд і без згоди лікаря не можуть виконувати деякі операції. Приміщення гальванічних майстерень повинні відповідати умовам, запропонованим санітарними службами. Основною умовою є активна вентиляція. Часто зустрічається справно діюча витяжна установка при повній відсутності припливної. Повітря, що надходить у приміщення через щілини у вікнах і дверях, чи не зрівноважує убутку, викликаного витяжкою, у зв'язку з чим утворюється сильне розрідження, шкідливий для людини. У гальванічному цеху неприпустимі прийом їжі і паління. Гальванічна майстерня повинна мати приміщення для переодягання, миття, прийому їжі, куріння. Під час перерв у роботі ванни слід прикривати кришками. Під час тривалих перерв, наприклад, вночі, вентиляція зазвичай

вимикається і з ванн, незважаючи на їх прикриття, виділяються шкідливі випари. Перед входом з приміщення з ваннами слід вимкнути вентиляційну установку, причому вимикач повинен бути зовні приміщення. Тільки після 15 хв вентиляції можна увійти до приміщення, зняти кришки з ванн і приступити до роботи.

РОЗДІЛ 7

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ДОСЛІДЖЕНЬ

В роботі була

поверхні під порами;
швидкість руйнування адгезійних зв'язків з арматурою міжпорового простору пропорційна його частці.

В результаті дослідження за даною методикою було експериментально доведено, що

за рахунок роботи
макрогальванічних пар.

Експериментально доведено, що небезпечні великі пори, які ініціюють появу корозійних виразок в результаті спільної роботи мікро- і макрокорозійних

Досліджувана математична модель роботи елементарної макрогальванічної пари дозволила визначити роль геометричних параметрів гетерогенності поверхні арматури, електрохімічних параметрів на процес виразкової корозії арматури.

Тому комбінування електрохімічних і гравіметричних експериментів дозволяє

виконувати довгостроковий прогноз корозійних втрат сталевї арматури під бетонним покриттям в конкретних умовах діючого агресивного середовища.

Список використаних джерел

1. Чехов, А. П., & Глущенко, В. М. (1994). Захист будівельних конструкцій від корозії. К.: Вища школа.
2. Байрачний, Б. І., Тузьський, Г. Г., Штефан, В. В., & Токарева, І. А. (2016). Технічна електрохімія. Частина V. Сучасні хімічні джерела струму, електроліз розплавів, електросинтез хімічних речовин. Харків: НТУ «ХП».
3. Плугін, А. А., Плугін, А. М., Кагановський, О. С., Градбоєв, О. В. (2013). Колоїдна хімія та фізико-хімічна механіка як основа виробництва ресурсозберігаючих мінеральних р'язких речовин та вискоефективних композиційних матеріалів на їх основі. Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту, (138), 7-18.
4. ДСТУ 2651:2005. Сталь вуглецева звичайної якості. Марки .
5. ДСТУ 2904-94. Кислота соляна синтетична технічна. Технічні умови.
6. ДСТУ 4484:2005 «Прокат сортовий і фасольний із сталі вуглецевої звичайної».
7. Бондар Л.В., Бондар В.О. Особливості корозії арматури надземних залізобетонних конструкцій виробничих будівель та споруд. Деп. 10.07.95 в ДНТБ України, №1758 Ук, 95.
8. Zyburz Adam// Opis elektrodyfuzijne procesu korozji zbrojenia w zelebecide// Arch. inz. rad. – 1989.-35, №4,-с.63-79.
9. Бондар, Л. В., Бондар, В. О., & Попович, Н. М. (2021). Використання конструктивних рішень будівель і споруд, умов експлуатацій при влаштуванні електрохімічного захисту арматури залізобетонних конструкцій Publishing House “Baltija Publishing”.
10. Стоєв П. І., Пшонченко С. В., Гірка І. О., Грицина В. Т. Хімічна корозія та захист металів : навчальний посібник : Харків, ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2019. 216 с. ISBN 978-966-285-548-7.

12. Валовой, О. І., Валовой М. О., & Сіянко, Г. І. Захист металевих будівельних конструкцій від корозії (Doctoral dissertation, Криворізький

18. Потенціал електрохімічної корозії. Схема процесу електрохімічної корозії металів. <http://www.konsam.kiev.ua/ua/publications/tr349/5780>

19. ДСТУ Б В.2.6-145:2010. Захист бетонних і залізобетонних конструкцій від корозії загальні технічні вимоги (ГОСТ 31384:2008, neq)

20. Охорона праці. Інструкція з охорони праці при експлуатації електроустановок до 1000В в установках та закладах освіти. http://otipb.ua/load/instrukcija_z_oxoroni_praci_pri_eksplicataciji_elektroustanovok_do_1000_v_v_ustanovkax_ta_zakladakh_osviti/3-1-0-1812