

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

## Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

на

тему: **«Вивчення особливостей корозії арматури у  
важких бетонах на золошлаках»**

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  
Василенко Віктор Михайлович

Керівник: Попович Н.М.

Полтава 2024 року

## ВСТУП

Значний вплив на корозійну стійкість арматури залізобетонних конструкцій мають різні добавки, що використовуються при виготовленні бетону.

Кремнеземні, вапняні та інші добавки, які використовуються в технологічному процесі виготовлення бетону, головним чином з економічних або технічних, а також екологічних міркувань впливають на порову структуру бетону, а, відповідно, і на захисну якість його по відношенню до арматури.

Одним із представників таких добавок є золо-шлаки. Додавання золо-шлаків, як і деяких інших домішок, суттєво впливає на проникність цементного каменю, чим краще забезпечується захист від агресивного середовища.

Якщо золо-шлак використовується замість дрібного заповнювача, то у зразках спостерігається зменшення загальної пористості. Це означає, що в суміші утворюється більш щільна структура.

Надання стійкості бетону до зовнішньої агресивної дії є складною технічною проблемою. Основний пріоритет на сучасному етапі надається методам первинного захисту арматури – підвищення захисних властивостей бетону для арматури.

Тому дипломна робота на тему: «Дослідження корозійної стійкості сталеві арматури у важких бетонах на золошлаках котлів з циркуляційним наплярним шаром» є актуальною.

## РОБІДІЛ 1

### ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

#### 1.1 Стан науки про корозію арматури в бетоні

Своїми дослідженнями В.П. Шевяков заповнює відсутні відомості, зв'язані з практичною оцінкою корозійної небезпеки рідких, твердих і газоподібних середовищ, що діють в будівлях хімічної промисловості. Вимоги до конструктивних рішень будівель і споруд, технологічні процеси в яких характеризуються агресивними виділеннями, викладені в ряді літературних джерел.

Вивченням довговічності бетонних і залізобетонних конструкцій транспортних споруд займався Ф.М. Іванов, А.А. Старосельский, Б.П. Шестоперов, Л. А. Вандаловська досліджувала процеси корозії залізобетонних конструкцій прядильних цехів віскозного виробництва. Вивченням умов протікання корозійних процесів на поверхні арматури в бетоні займалися В.І. Бабушкін, М.П. Мокрицька, О.П. Мчедлов - Петросян .

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

Експериментальні дослідження по корозії залізобетонних конструкцій гідротехнічних, споруд проведено В.В. Кіндом.

Експериментальні дослідження питань довговічності будівель і споруд чорної металургії займалися І.Н. Заславский, В.Я. Флакс, В.М. Чернявський. Питання корозії арматури залізобетонних конструкцій досить детально розглянуті в роботах П.К. Розенталя.

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  $100 \text{ г/м}^2$  на рік.

Процес карбонізації полягає в тому, що вуглекислий газ повітря, проникаючи в бетон, розчиняється в поровій 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.

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

$$x = \sqrt{\frac{2D'tC_0}{m_0}},$$

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 повній карбонізації.

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

Зв'язання питань карбонізації бетону займають Є.Н. Алексеев,

Н.К. Розенталь. По даним і Н.К. Розенталя карбонізація призводить до зниження  $pH$  до 9.

Втрата металу в карбонізованому бетоні в атмосфері вологістю 90% за рік - 56 г/м<sup>2</sup>, а глибина ураження досягає 0,07 мм. По розрахункам Н.К. Розенталя і Л.А. Вахрайовської глибина карбонізації бетону збільшується зі збільшенням водопемного відношення. Крім того, на глибину карбонізації впливає втрата цементу. Глибина карбонізації обернено пропорційна витраті цементу. Умовильно карбонізацію пластифікуючі добавки з бетон. Абсолютно сухий, чи навпаки, водонасичений бетон не карбонізується.

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,

знищують поверхневий захисний шар сталі, і можуть бути причиною виразкової корозії.

Ф.М. Івановим було встановлено, що дифузійна проникність бетонів для хлоридів зростає зі збільшенням водцементного 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 переносу добре розчинних хлористих солей. Накопичення хлористих солей роблять бетон більш гігроскопічним, що впливає на вологосисиченість матеріалу.

Спеціалістами науково-дослідних інститутів досліджено вплив щільності бетону, ширини розкриття тріщин в нахисному шарі і концентрації хлорвмісного середовища на кінетику корозії сталевих арматур. Встановлено, що на швидкість накопичення хлоридів біля арматури основний вплив має щільність бетону.

Спеціалістами 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 змісті 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 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 [21] 0,2-0,5% від маси цементу.

Велика кількість робіт присвячена питанням корозійного стану арматури в залізобетонних конструкціях виданих 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 порівняльній тонкому шарі відбувається нейтралізація порової рідини і хімічне переродження цементного каменю. При цьому аніони кислот дифундирують до арматури, викликаючи депасивацію її поверхні навіть при  $pH = 12$  і більше. Дані [3] свідчать, що концентрація іонів кислот поблизу арматури може бути досить значною.

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

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.

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

Рис. 1.1 Проникливість тріщин в бетоні

1 – для водяного пару; 2 – для вуглекислого газу

Значний вплив на корозійний стан арматури в бетоні має волога. Взаємодія захисного шару бетону з вологою 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 в зону зниженого парціального тиску і перенесення повітря вологою при певній температурі. Переміщення повітряного пару здійснюється більш інтенсивніше, при збільшенні температурного перепаду і вологи теплого повітря.

Вологий стан бетону є вирішальним чинником, що впливає на швидкість корозії арматури в залізобетонній конструкції [25]. Бетон може мати різну пористість і вологість, від чого залежать такі його властивості, як питомий опір (рис.1.2.), дифузійна проникність, та ін. Обмін середовища на поверхні арматури обмежений. Він може здійснитись, 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 в позицією звичайної електрохімічної теорії корозії металів в електролітах [27]. При відносній вологості повітря вище 80% корозія арматури в бетоні обмежена швидкістю потрапляння кисню до поверхні арматури.

Рис. 1.2. Електроопір бетону в залежності від вологості повітря

1 – питомий опір; 2 – рівноважна вологість бетону.

Найбільш повільною стадією, головним є дифузія кисню.

Значні втрати металу на арматурі залізобетонних конструкцій може визвати електрокорозія. Л.А. Старосельським вивчені особливості електрокорозійних процесів на арматурі в різних умовах експлуатації залізобетонних конструкцій. Аналіз умов експлуатації електрифікованого транспорту дозволив провести експертну оцінку корозійних факторів, їх ранжування.

Велика робота по вивченні електрокорозії залізобетону проведена Т.І. Кравченко. Відомо, що високоміцна термічно зміцнена арматура схильна до специфічного виду корозійних руйнувань - розтріскування. Вивчення питань опору корозійному розтріскуванню термічно зміцнених арматурних сталей займалися І.І. Алексєєв, П.И. Соколовский, Г.М. Красовська, П.Д.Одеський та ін. Критерієм небезпечності корозії, викликаної блукаючими струмами є наявність анодних і катодних зон на арматурі.

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

## 1.2 Характеристика бетону як середовища для арматури

**Умови газивності сталі в бетоні.** Для пояснення притаманною щільним цементним бетонів здатності довгостроково захищати сталю арматуру від корозії недостатньо уявлення про те, що порівняно тонкий захисний шар бетону ізолює сталь від впливів зовнішнього середовища. Далі буде показано, наскільки ця ізоляція відносна - адже бетон проникний для різних речовин, у тому числі для води і кисню, присутність яких в атмосфері зазвичай достатньо для розвитку корозії сталі.

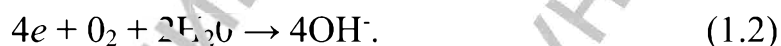
Відомо [23], що в переважній більшості випадків корозія металів - процес електрохімічний і для його здійснення необхідні такі умови:

- 1) наявності на поверхні металу різниці потенціалів, тобто її електрохімічна неоднорідність;
- 2) наявності плівки електроліту для електролітичної зв'язку між ділянками поверхні металу з різними потенціалами;

3) активний стан сталі на анодних ділянках поверхні, де відбувається розчинення металу по реакції



доступ деполяризатора, зокрема кисню, до катодних ділянок поверхні для асиміляції надлишкових електронів:



Схематично процес електрохімічної корозії сталі показаний на рис.1.3

Рис.1.3 Схеми процесу електрохімічної корозії

а) повітря; б) глибина електроліту; в) сталь

За класифікацією Н. Д. Темашова [24], електрохімічна неоднорідність поверхні обумовлена: неоднорідністю металевої фази (різна ступінь неоднорідності поверхні, захисних плівок, деформацій і напружень), рідкої фази (різна концентрація іонів металу, нейтральних солей, іонів водню, кисню та інших окиснювачів) і фізичних умов (різниця температури, інтенсивності променевої енергії зовнішнього електричного поля). Оскільки структура сталі і умови контакту її поверхні з бетоном неоднорідні, то очевидно, що для арматури в бетоні перша умова завжди виконується. Бетон є капілярнопористим тілом з активною і гідрофільною внутрішньою поверхнею, тому можна вважати, що друга і четверта умови протікання корозійного процесу в бетоні також мають місце. Дійсно бетон завжди містить, крім хімічно зв'язаної, в процесі гідратації цементу фізично зв'язану, тобто капілярну і осмотичну воду. Кількість фізично зв'язаної води в бетоні, яка, на відміну від хімічно зв'язаної, може служити електролітом,

залежить як від структури бетону, так і від температури і вологості середовища і умов взаємодії її з конструкцією.

Ступінь вологості бетону при тривалому зануренні у воду близька до повного насичення. При капілярному підсосі вона пухка і неоднакова по густоті елемента. Ще нижче вологість бетону в повітряно-вологодому середовищі. При 100% відносній вологості повітря вміст води у бетоні максимальний і падає з її зменшенням.

Для сталі в бетоні, так само як і для відкритого металу [19], існує деяка критична вологість повітря, нижче якої плівки вологи не можуть забезпечити переміщення іонів між анодними й катодними ділянками її поверхні. Критична відносна вологість повітря знаходиться в межах 50 - 60% [17], якщо бетон не містить гігроскопічних речовин (наприклад, добавок хлористих солей), які змінюють це значення. Таким чином, у бетоні майже завжди присутня волога, яка може сприяти розвитку корозії сталі.

Всі відомі і можливі випадки, коли корозія арматури в бетоні розвивається, пов'язані з тим, що не виконується 3-тя умова, тобто з тієї чи іншої причини її поверхня залишається активною, або не повністю пасивується при виготовленні конструкції, або втрачає пасивність у процесі експлуатації. Н. Д. Томашов [25] визначає пасивність як стан підвищеної корозійної стійкості металу або сплаву (в умовах, коли термодинамічно іони є цілком реакційно здатними), викликане гальмуванням анодного процесу.

Настання пасивності звичай характеризується різким облагородженням електродного потенціалу металу. Так, залізо, має в активному стані потенціал від -0,4 до -0,6, в стані пасивності може отримати потенціал до +1 в.

Виникнення стану пасивності сталі пов'язують з утворенням на її поверхні щільної нерозчинної плівки продуктів корозії. За Н. Д. Томашовим [26], така плівка з'являється в результаті прямого анодного процесу, тобто безпосередньо на реагуючій поверхні. Продукти корозії, що утворюються в розчині при вторинних процесах не пасивують сталі.

Але за різними даними, критичне значення рН, нижче якого сталь не пасивується, знаходиться в межах 11,5-11,8. Значний запас гідрату окису кальцію

в бетоні на портландцементі у вигляді кристалів  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , у складі гідросилікатів і гідроалюмінатів, з яких він виділяється в процесі гідролізу, а також у вигляді дегідратованих зерен (клінкерно-цементного фонду) забезпечує тимчасове збереження високої лужності порової рідини і відповідно пасивний стан арматури.

Як показують дослідження, стан поверхні сталі в бетоні можна приблизно визначити за значенням стаціонарного потенціалу, а більш точно за характером анодної поляризаційної кривої.

Потенціал анодного процесу на поверхні заліза  $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2e^-$  залежить від величини рН, температури середовища та активності іонів заліза в розчині [22]:

$$E_a = -0,44 + 0,0295 \lg \text{Fe}^{2+}, \quad (1.3)$$

а також від присутності сторонніх іонів.

Діапазон значень рівноважного потенціалу дуже широкий, про що свідчать наведені нижче дані для сталі.

У корозійних процесах велику роль відіграє кисень. Вважається, що він, з одного боку, сприяє пасивації, а з іншого - будучи катодним деполіаризатором, інтенсифікує корозійний процес. Дослідження Я. М. Колотаркіна, В. М. Княжевой, В. В. Герасимова, Р. Х. Бурштейна, в. І. Лукьянчука показали, що кисень суттєво не змінює кінетику анодних процесів. Однак при збільшенні його концентрації потенціал металу змінюється в позитивну сторону. Тому, якщо метал перебуває в активному стані, зміщення потенціалу супроводжується сповільненням корозії, на пасивний метал така зміна не впливає.

Аналіз численних даних про значеннях потенціалів сталі в бетоні показує, що хоча в загальному пасивний стан характеризується більш позитивним потенціалом, ніж активний, одного лише цього недостатньо для судження про стан сталі. Згідно експериментів [1], потенціал сталі зменшується до -0,6, -0,8 у щільному цементному камені при насиченні його прісною водою, хоча пасивність при цьому не порушується. Така зміна потенціалу може пояснити, використовувачи формули Р. В. Акімова, для загального потенціалу системи:

$$E_{\text{заг}} = E_{\text{к}}^{\text{к}} - P_{\text{к}} \frac{E_{\text{к}}^0 - E_{\text{а}}^0}{P} = E_{\text{а}}^0 + P_{\text{а}} \frac{E_{\text{к}}^0 - E_{\text{а}}^0}{P} \quad (1.4)$$

де  $E_k^\circ$  і  $E_a^\circ$  - потенціали відповідно катодного і анодного процесу;  $P_k$  і  $P_a$  - поляризованість катода і анода;  $P$  - поляризованість системи

Потенціал анодної реакції визначається за рівнянням (1.3) і порівняно мало змінюється.

Потенціал катодної реакції визначається по рівнянню (1.5):

$$E_k^\circ = 1,228 - 0,0591 \text{ pH} - 0,147 \lg P_{O_2} \quad (1.5)$$

Розрахунок показує, що при зміні парціального тиску кисню від нормального  $2,1 \cdot 10^{-1}$  до  $2,1 \cdot 10^{-4}$  ат  $E_k^\circ$  зміщується від  $+0,5898$  до  $-0,0512$  ст. У насиченому водою бетоні дифузія кисню до катодних ділячок поверхні сталі дуже сильно обмежена, в результаті чого їх потенціал, а і загальний потенціал арматури зменшується. Отже, не можна судити про електрохімічний стан сталі в бетоні тільки за величиною її потенціалу. Необхідно враховувати умови вимірювання.

Вивчення кінетики пасивації поверхні сталі в бетоні виконується потенціометричним методом. Потенціали вимірювалися за допомогою мідно-сульфатного електрода порівняння з наступним перерахунком на шкалу насиченого каломельного електрода. В якості зразків були використані призми розміром  $50 \times 50 \times 100$  мм з центральним встановленим сталевим електродом з холоднотянутого дроту сталі марки Ст.3 діаметром 4 мм. Поляризаційні криві знімалися гальваностатичним методом, тривалість стабілізації при певній щільності струму становила 3 хв. для анодних кривих і 30 хв. для катодних.

В результаті досліджень було встановлено, що електрохімічний стан поверхні арматури в нормальному щільному бетоні на норландцементі в повітряно-володим стані характеризується потенціалом мінус 50-100 мВ, а також значною анодною поляризацією. Пасивація арматури зазвичай закінчується через 10-12 год після занурення її в бетонну суміш, причому пасивується не тільки чиста поверхня, але і яка має великий корозійний наліт.

Хід кривих у перші 4-6 год можна пояснити розчиненням оксидів і продуктів корозії, після чого відбувається утворення нових адсорбційно-хімічних шарів.

Типові анодна і катодна поляризаційні криві показано на рис.1.2. та рис. 1.3. Крива катодної поляризації сталі має кілька ділянок.

Рис. 1.2. Вплив ста лу поверхні на швидкість пасивації сталі

Рис. 1.3. Поляризація сталі в бетоні на мортландцементі

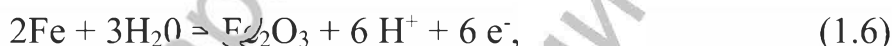
АК – катодна; ОА – анодна

Крива катодної поляризації має декілька проміжків. Перший з них АВ пов'язаний з наявністю на поверхні пасивуючих плівок; на другій ділянці ВС поляризація посилюється з огляду дифузійного обмеження транспорту кисню через шар бетону; на ділянці CD поляризація припиняється, так як при цьому потенціалі починається відновлення водню.

Однак у звичайних умовах процес корозії арматури в бетоні протікає з кисневою деполіаризацією при потенціалі мінус 300-500 мВ. При пасивації заліза і сталі в бетоні на поверхні металу утворюються щільні

захисні плівки типу поверхневих сполук, товщина яких відповідає одному або кількох шарів кисню і гідроксиду. Такі плівки з гарною електронною, але поганою іонною провідністю відрізнено гальмують процес анодного розчинення металу, не перешкоджаючи помітно анодному процесу виділення кисню [7].

Анодна поляризаційна крива сталі в портландцементному бетоні на ділянці АЕ йде майже вертикально. Із збільшенням анодного потенціалу швидкість переходу іонів металу крізь захисну плівку або аніонів  $\text{OH}^-$  у зворотному напрямку збільшується, йде процес зростання захисної плівки:



який супроводжується підкисленням електроліту біля поверхні сталі іонами  $\text{H}^+$ . Їх нейтралізація в бетоні сильно ускладнена внаслідок дифузійного обмеження доставки іонів  $\text{OH}^-$  з глибини бетону. Тому із-за неоднорідності умов дифузії можливе значне місцеве зниження рН, викликає розчинення сполучаючого шару, а потім і заліза. У цих місцях припиняється утворення іонів  $\text{H}^+$  і починається підвищення рН порової рідини за рахунок перенесення іонів  $\text{OH}^-$  з глибинних шарів бетону. Відновлення знову призводить до пасивації поверхні сталі. Отже, ділянка крутого ходу анодної поляризаційної кривої (від вихідного потенціалу до +0,6 в) відповідає одночасному розчиненню і пасивації заліза, в переважачим останнього. Відстань цієї ділянки кривої від осі ординат і нахил кривої характеризують здатність бетону захищати арматуру.

В цілому анодна поляризація знижує лужність води на поверхні сталі в бетоні. При потенціалі вище плюс 0,6-0,8В крива йде майже горизонтально EF коли струм різко зростає внаслідок виділення кисню:



Проте в бетоні швидкість цієї реакції обмежена дифузиею іонів  $\text{OH}^-$  і характеризується щільністю струму 1-2 ма/см<sup>2</sup>. Значно більші щільності струму на зазначеній ділянці кривої обумовлені інтенсивним розчиненням заліза в результаті руйнування плівки із-за різкого зниження рН при витрачання іонів  $\text{OH}^-$ .

Отже, нормальним станом сталі в лужному середовищі бетону є пасивність. Однак у певних умовах пасивний стан поверхні арматури в бетоні порушується, і стає можливою її корозія. Цьому сприяють наступні обставини:

- введення в бетон корозійноактивних добавок (головним чином, хлоридів) або їх дифузія із зовнішнього середовища;
- зменшення лужності вологи в бетоні нижче критичної шляхом вилуговування або нейтралізації кислотними газами  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ;
- механічне або корозійне руйнування захисного шару бетону; - утворення тріщин в бетоні.

### 1.3 Вплив добавок на структуру і проникність бетону

Розгляд факторів, що визначають електрохімічний і корозійний стан арматури в бетоні, показав, що в щільному цементному камені арматура пасивна. Стан пасивності гарантує збереження арматури в різних умовах експлуатації конструкцій.

Якщо виключити можливе порушення пасивності, пов'язане з введенням в бетонну суміші хлоридів, то завжди залишається вплив зовнішнього середовища, що призводить до того як результату внаслідок або зниження лужності бетону, або проникнення в нього хлорид-іонів. Швидкість цих процесів визначається при інших рівних умовах проникністю бетону, а термін досягнення ними поверхні арматури - також товщиною захисного шару. Від проникності залежить, в більшості випадків, інтенсивність взаємодії бетону з середовищем.

Проникність бетону визначається характером його пористості, однак не однозначно. Наприклад, водонепроникність змінюється в процесі фільтрації, а газопроникність значною мірою залежить від вологості бетону. Для процесів дифузійної проникності внаслідок градієнтів концентрації іонів або парціального тиску газів важлива, хімічна взаємодія середовища зі складовими цементного каменю. На проникність впливають також процеси перенесення речовини в пористому тілі бетону під впливом потенціалів капілярної і термоелектропровідності. Для встановлення кількісних закономірностей стійкості залізобетонних конструкцій найбільш важливим є зв'язок характеристик структури бетону з його проникністю. Питомою поверхнею частинок цементного

каменю оцінюється різними дослідниками [28, 29] величиною в  $700 \text{ м}^2/\text{см}^3$ . При такій дисперсності частинок переважна кількість пор має розмір близько декількох десятків ангстрем, що перешкоджає інтенсивному обміну.

Сучасна класифікація пор бетону за розмірами на основі аналізу форми зв'язку води запропонована А. В. Ликовим, який ділить пори на:

– ультрамікропори з радіусом менше  $50 \text{ \AA}$ ;

– мікропори « $\gg$ » від  $50$  до  $1000 \text{ \AA}$ ;

– макропори « $\gg$ »  $1000 \text{ \AA}$ .

У реальних бетонах з дрібним та крупним заповнювачем додаються пори заповнювача і дефекти макроструктури а також нещільності, серед яких Н. А. Мощанський розрізняє:

- нещільності ( $0,01-0,1 \text{ мм}$ ), що утворюються під зернами заповнювача і арматурою внаслідок розділення;

- повітряні пори, що виникли в результаті природного повітрявмішування ( $0,1-5 \text{ мм}$ ), а також газоутворення ( $5-25 \text{ мк}$ );

- великі відомі каверни і порожнини, що утворюються при недостатньому ущільненні).

Незважаючи на велику кількість робіт, присвячених вивченню кількісних характеристик пористості бетону, зокрема розподілу пор за розмірами, їх результати дозволяють поки що лише якісно пояснити безпосередньо пов'язані з пористістю показники проникності бетонів.

Для переважної більшості несучих та огорожуючих залізобетонних конструкцій істотно важлива наявність постійно і тимчасово «закритих», заповнених водою капілярів.

При сорбційному зволоження та розподібною вологою повітря може відбуватися капілярна конденсація як це впливає з формули Томсона (Кельвіна)[4] з капілярах з радіусом менше  $10^{-5} \text{ см}$ . В результаті такі пори практично не беруть участь в перенесенні газу при малих тисках, що типово для конструкції в повітряному середовищі.

За даними Ю. А. Саввіна [21], газопроникність висушеного до постійної ваги бетону в середньому в 30 разів вище, ніж бетону, що зберігається у воді, і в 16 разів вище, ніж у бетону нормального твердіння.

Кремнеземисті та вапняні добавки, що використовуються в технологічному процесі виготовлення бетону, головним чином з економічних або технічних, а також екологічних міркувань впливають на порову структуру бетону. Головним представником цієї групи являються доменні шлаки і золи.

Добавка доменних шлаків так само, як деякі інші домішки, істотно впливає на транспортні властивості (проникність) цементного каменю, чим більше додається шлаку тим менша проникність спостерігається. Цементний камінь з додаванням 70% шлаку показує в порівнянні з цементним каменем, в якому містилося 30% шлаку, значно вищу пористість. Однак більш низька проникність цементного каменю спостерігається саме на цементі з 70% шлаку, ймовірно, це є наслідком присутності відносно більшої кількості тонких пор розміром 4,5 до 15 нм, які менш проникні [16].

При введенні до складу бетону активних мінеральних добавок процес корозії затримується. В останній час у зв'язку з розширенням праці по використанню цементних сумішей в США, Японії та інших державах досліджено вплив на реакцію луг - кремнезем золи – унос.

Так додавання золи – унос (до 30% маси цементу) в бетонні зразки на цементі з високим вмістом луѓу, які занурювались в 1N розчин NaCl, розширення зразків не корелювало з концентрацією іонів OH<sup>-</sup> в поровому електроліті, але було пов'язане із ступенем зниження кількості Ca(OH)<sub>2</sub>, викликаним присутністю золи.

При заміні 20% цементу золою бетон не розширявся на сировинювачах з 5 і 10 % потенціально – реакційною здатністю піщаника.

Позитивно впливає на стійкість бетону введення в цемент шлаків при їхньому вмісті більше 65% розширення зменшилось в 15-20 разів.

Грищин не виявлено при заміні 50% цементу доменним шлаком при співвідношенні цементу і піску 1 : 2,75 і В/Ц = 0,41, а також при заміні 40% цементу співвідношенні цементу і піску 1: 3,5 і В/Ц = 0,53. Шлакопортландцемент

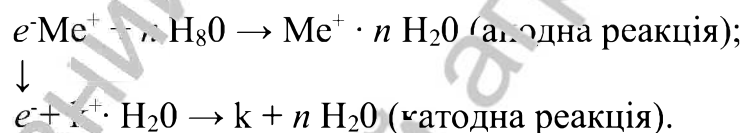
із вмістом шлаку 50% і більше дозволяє використовувати потенціально – реакційну здатність заповнювачі.

При цьому не виявлено впливу мінералогічного складу клінкера, але виявлено, що тонкість помелу шлакопортландцементу підвищує їх механічні властивості, в той час коли для портландцементу така залежність зворотна.

На відміну від злепашки домішка доменного шлаку до 40% знижує загальний об'єм пор і підвищує кількість пор з розміром < 5 нм [1,3]. При підвищенні кількості шлаку до 70% загальна пористість збільшується разом з об'ємом пор менше 5 нм.

#### 1.4 Стадії корозійного процесу арматур

Електрохімічне розчинення металів в процесі корозії зазвичай представляють у вигляді двох спряжених реакцій: анодної, що полягає в переході іон-атомів металу з кристалічної решітки в розчин і супроводжується звільненням електронів, і катодного, що полягає в асиміляції цих електронів:



Причинами обмеження швидкості тієї чи іншої реакції служать поляризаційні явища, які супроводжуються зміщенням потенціалу електрода в бік зменшення різниці потенціалів пари. Поляризація може бути викликана повільнішим перебігом електродних реакцій (електрохімічна поляризація) або відводу продуктів реакції від електрода (концентраційна поляризація) [18].

Зазвичай частками, що асимілюють електрони (тобто деполіаризаторами), є молекули кисню й іони водню, що знаходяться у воді. Деполіаризаторами можуть служити також сірчистий газ, атомарний хлор, будь-які металеві катіони, існуючі в кількох ступенях окиснення (іони заліза, хрому), а також кисневмісні неорганічні аніони ( $\text{Cr}_2\text{O}_7$ ,  $\text{MnO}_4$ ).

Як зазначалося вище, вологий бетон, що має гетерогенну капілярнопористу структуру, є провідником 2-го роду, тому процес корозії арматури в ньому можна розглядати з позиції звичайної електрохімічної теорії корозії металів в електролітах. Однак бетон як корозійна середовище має низку особливостей, не характерних для електролітів.

Неоднорідність будови бетону в мікро - і макромасштабах обумовлює електрохімічну гетерогенність на поверхні арматури. Бетон може мати різну щільність і вологість, від чого залежать такі його властивості, як омичний опір, дифузійна проникність і т. д. Обмін середовища у щільній арматурі обмежений. Він може здійснюватися, в основному, лише за рахунок дифузії рідини і газів в капілярах і порах бетону. Склад електроліту в пористому тілі бетону залежить від виду і хімічного складу вихідних компонентів і може змінюватися з плином часу під впливом навколишнього середовища.

Особливості бетону як корозійного середовища зумовлюють появу інших закономірностей при протіканні процесів корозії сталі в бетоні, ніж в електролітах.

**Особливості катодного процесу.** У нейтральних і лужних електролітах катодний процес звичайно протікає з кисневою деполаризацією і в процесі переміщення кисню до катода і іонізацію кисню на поверхні сталі:



Кисень до катодної поверхні надходить проходячи через поверхню розподілу повітря-електроліт (розчинення), а також дифундує через основну товщу рідини і тонкий шар електроліту, прилеглий до катода. У зв'язку з тим, що розчинність кисню в електролітах дуже мала ( $2,5 - 10^{-4}$  моль/л), більшість корозійних процесів протікає зі значною концентраційною поляризацією. У спокійних нейтральних електролітах тому найбільш повільною стадією процесу є зазвичай дифузія кисню до катода і вплив рН невеликий. Однак, починаючи з рН = 11, виявляється гальмування катодного процесу за рахунок збільшення рН середовища [20].

Залежність потенціалу електродів  $E$  від часу при поляризації постійною щільністю струму виражається формулою (1.9).

$$-E = 2,3 \frac{2kT}{nF} \lg(\tau_k - \tau) - A \quad (1.9)$$

$\tau$  - тривалість поляризації катода;  $\tau_k$  - тривалість поляризації катода до повного витривання кисню в осередку;  $A$  - константа, в яку входить окислювальний

еквівалент заліза;  $R$  - газова постійна;  $T$  - абсолютна температура;  $F$  - константа Фарадея;  $n$  - кількість електронів, використаних однією молекулою кисню.

З рівняння випливає, що відношення  $-E$  до  $\lg(\tau_k - \tau)$  являє собою

$$\operatorname{tg} \alpha = 2,3 \frac{2RT}{nF}.$$

Теоретична величина  $\operatorname{tg} \alpha = 0,12$ , за отриманими даними  $\operatorname{tg} \alpha = 0,25$ . Деяка розбіжність теоретичної та дослідної величини  $\operatorname{tg} \alpha$  можна пояснити значною величиною рН, а також труднощами підведення кисню з об'єму цементно-піщаного розчину до катода. Тому можна зважати, що в цьому випадку механізм іонізації кисню не відрізняється від механізму відновлення кисню в звичайних електролітах і ґрунті, підкоряючись відомому співвідношенню (1.10).

$$i = k[C_1]e^{\frac{-nFE}{2RT}}, \quad (1.10)$$

де  $i$  - щільність катодного струму;  $C_1$  - концентрація кисню на поверхні катода.

Однак катодний процес кисневої деполаризації сталі в бетоні протікає з додатковим гальмуванням дифузії кисню в захисному шарі бетону.

В залежності від його щільності і вологості перенесення кисню може здійснюватися переважно у газовій фазі (у відносно сухому матеріалі) або в рідкій фазі (в щільному водонасиченому). Оскільки коефіцієнт дифузії кисню в газах на кілька порядків вище, ніж у рідчині, густина дифузійного струму буде падати зі збільшенням вологості бетону. Величину граничного дифузійного струму  $I$  можна виразити через коефіцієнт дифузії  $D$  кисню формулою (1.11).

$$I = nFSC_0 \frac{D}{l} \quad (1.11)$$

де  $S$  - площа поверхні сталі в см<sup>2</sup>;  $C_0$  - концентрація кисню в повітрі (г • моль/см<sup>3</sup>);  $l$  - довжина шляху дифузії.

При дифузійному механізмі в стаціонарному потязі переміщення кисню відбувається досить повільно. При нестационарних режимах (періодичному зволоженні бетону, його нагріванні і охолодженні), фільтрації повітря, зміні барометричного тиску і т. д. надходження кисню може бути посилено.

**Особливості анодного процесу.** Про механізм анодного розчинення металів немає ще єдиної думки. Дослідження багатьох авторів [26] дають підставу вважати, що в процесі анодного розчинення заліза найбільш повільною є іонізація металу:



Відповідно до іншої теорії, поляризація повільнішою процесу утворення гідратованих іонів, що виникають при анодному розчиненні металів. Н. А. Ізгаришев і деякі інші дослідники вважають лімітуючим процесом розряд іонів. У деяких випадках найбільш повільною стадією анодного процесу може бути дифузія іонів, що викликає концентраційну поляризацію.

Порівнюючи рівняння концентраційної поляризації анода і катода:

$$\Delta \varphi_a = \frac{RT}{nF} \ln \frac{i_r + i}{i_D}; \text{ при } i_D = i, \varphi_a = \frac{RT}{nF} \ln 2, \quad (1.13)$$

$$\Delta \varphi_k = \frac{RT}{nF} \ln \frac{i_D + i}{i_D}; \text{ при } i \rightarrow i_{D_{\varphi_k}} \rightarrow \infty.$$

(де  $i$  - щільність струму;  $i_D$  - густина дифузійного струму), можна бачити, що одна і та ж щільність струму викликає набагато більшу концентраційну поляризацію катода, ніж анода. Однак при значному зростанні концентрації іонів заліза в приелектродному шарі може відбуватися випадання солей з розчину і екранування ними певної поверхні анода. При цьому щільність струму на активній поверхні збільшуватиметься, що веде до значного зсуву потенціалу електрода в позитивну сторону. Різка уповільнення швидкості іонізації металу може відбутися також в результаті явищ пасивності.

У бетоні умови протікання анодних процесів значно відрізняються від умов їх протікання в електроліті. Електрохімічне стан поверхні сталі не залежить від складу бетону і його структури (не враховуючи можливі змін у часі), тому електродні потенціали та анодні поляризаційні криві однакові для цементно-піщаних розчинів різного складу (1:1; 1:2; 1:4; 1:6; 1:8).

Якщо пасивний стан поверхні сталі з якихось причин порушується, то її поляризованість зменшується в залежності від загальної площі поверхні, що

знаходиться в активному стані, вологості бетону і концентрації іонів - стимуляторів корозії.

Оскільки електрохімічна корозія є результатом одночасного протікання кількох елементарних процесів, то протікання одного з них більш ускладнений у порівнянні з іншими. Так як ці процеси є супутніми, тобто взаємозалежними, то встановлюється загальна, однакова для всіх швидкість течії, визначається найбільш повільно протікаючою. Цей процес називають обмежувальним або контролюючим [12].

В залежності від того, яка стадія є найбільш повільною, можна розрізнити електрохімічну або дифузійну кінетику електродного процесу. З'ясування цього сприяє аналіз поляризаційних кривих, за якими можна судити про швидкість реакції при будь-якому потенціалі, а також по контролюючому фактору корозії.

Підводячи підсумки даного розділу можна зробити висновки:

- корозія арматури в бетоні – процес електрохімічний;
- процес корозії відбувається за умов:
  - а) наявність на поверхні металу різниці потенціалів;
  - б) наявність електроліту (порозна рідина в бетоні)
  - в) доступ деполяризатора до поверхні арматури через бетон (кисню).
- нормальним станом арматури під бетоном є пасивність;
- головною причиною корозії арматури в залізобетонних конструкціях є проникність бетону;
- одним з регуляторів пористості бетону є введення різних мінеральних домішок серед яких зола-пепел.

## РОБІТІ 2

### МЕТА РОБОТИ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

**Мета роботи:** Вивчення особливості корозії арматури у важких бетонах на воло шлаках.

Об'єкт дослідження - виявлення впливу складу важкого бетону на знош шлаках котлів з циркуляційним киплячим шаром на корозійну стійкість сталеві арматури.

**Предмет досліджень** – корозійна стійкість сталеві арматури у важких бетонах.

**Задачі дослідження:**

- Провести огляд літературних джерел за темою роботи;
- Провести корозійні випробування арматури під бетонним покриттям різного складу;
- Виконати аналіз отриманих результатів та сформулювати висновки.

## РОЗДІЛ 3

## МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

**3.1 Посилання до обґрунтування корозійної стійкості арматури по механізму руйнування бетону**

Немає достатньої кількості про механізм руйнування бетону в процесі корозії арматури і параметрів матеріалу, його визначальних.

Є кілька гіпотез, але жодна з них не пояснює всієї сукупності спостережень. Відсутність тріщин не дозволяє прогнозувати питання довговічності залізобетонних конструкцій.

Більшість дослідників вважають причиною руйнування бетону при корозії арматури розвивається тиск іржі, що накопичується між поверхнею арматури і оточуючим бетоном, але при цьому не враховується пориста структура бетону. Досі не знайдено кількісної залежності між параметрами пористої структури і порушенням зчеплення арматури з бетоном.

Якщо тріщини в бетоні вдалося розділити на "небезпечні" і "безпечні", то структурні ознаки бетону не класифікують за цією ознакою. Стосовно бетону стало загальноприйнятим поділ пор тільки "за походженням" (капілярні, конденсатні і гелеві).

Загальну систему метал-арматура-бетон в процесі корозії арматури можна представити у вигляді набору таких елементів: елементи сформованої структури бетону ( $V_1$ ); елементи порожнин (пори) ( $V_2$ ); елемент металевої арматури ( $V_3$ ); елемент, що представляє собою продукти корозії металевої арматури ( $V_4$ ).

При допущенні, що  $V_1$  і  $V_2$  - const, внутрішні напруги, які можуть викликати розриви сформовані в структурі бетону будуть пов'язані з співвідношеннями  $V_2$  і  $V_4$ . При  $V_2 > V_4$  продукти корозії можуть розміщуватися в порах матеріалу, не викликаючи напруг. При  $V_2 = V_4$  також можна фіксувати безпечний рівень пошкодження. І тільки при  $V_4 > V_2$  створюються умови для зростання тиску на контакт арматура-бетон.

У зв'язку з цим у процесі роботи корозійних активно-пасивних гальванопар вирішальну роль відіграють умови накопичення продуктів розчинення металу з

часом: насиченість їх рідкою фазою, розмір і перерізу пор і характер пористості, величина рН порової рідини, тобто параметри, відповідальні за дифузію іонів заліза або їх комплексів в глиб пори.

Досліди показують, що коли в залізобетоні створюються умови для безперешкодного відведення продуктів розчинення металу від поверхні електрода, корозія може протікати до повного розриву арматурного стержня без розвитку тріщин у бетоні. І, навпаки, утруднення відводу продуктів корозії, які займають об'єм в 2-5 рази більше [27] металу, що прокородував, приводить до швидкого розвитку тріщин.

Вивчення руйнування залізобетону під впливом електричного струму підтверджує необхідність врахування порової структури бетону. Якщо прийняти теорію механічних напружень в чистому вигляді, то кількість електрики, що протікає через зразок має бути завжди постійним при однаковій міцності бетону на розтяг так як кількість утворених продуктів корозії пропорційно кількості електрики.

При одних експериментах крива "щільність струму - кількість електрики до розтріскування зразка" знижується, в інших - ця ж крива підвищується. Відсутність кореляції експериментальних даних можна пояснити впливом структурних характеристик бетону.

Аналіз явищ, пов'язаних з протіканням струму через залізобетон, дозволяє виділити два основних руйнівних чинники: розчинення заліза арматури та руйнування бетонного покриття. У зв'язку з цим розвиток корозійних процесів можна уявити собі наступним чином.

Спочатку накопичується достатня кількість продуктів корозії на анодних ділянках. Подальше накопичення продуктів корозії приводить до механічних напружень в ділянках, викликаючи в більш ослаблених місцях пор додаткові мікротріщини, що призводить до нерозподілу струмів в активно-пасивних гальванопар. Внаслідок такого перерозподілу струму йде до подальше руйнування бетону, відрив його від арматури вже в міжпоровому просторі і збільшення механічних напружень в бетоні.

### 3.2 Розробка моделі внутрішнього тиску в бетоні в процесі корозії арматури

У запропонованій моделі внутрішній тиск в бетоні виникає внаслідок тиску новоутворень (іржі) і гідравлічного тиску рідкої фази в порах, щілинах, капілярах, які супроводжуються фільтраційними процесами.

Відомі й інші причини гідравлічного тиску в структурі бетону, однак специфічні випадки (заморожування води в порах, хімічні реакції і т.д.) нами не розглядаються.

Для того, щоб гідравлічний тиск виник і тривало діяв в бетоні, швидкість приросту обсягу іржі повинна бути вище швидкості спаду порової рідини при її фільтрації з цього простору \*

Експериментальні дані [5] свідчать про те, що звичайний щільний бетон у водонасиченому стані практично непроникний для води (а також інших рідин) при тисках порядку декількох атмосфер; коефіцієнт фільтрації такого бетону становить менш ніж  $k_f = 10^{-9}$  см/сек.

І без спеціальних розрахунків ясно, що гідростатичний тиск в його структурі буде швидко зростати в умовах накопичення іржі.

Оскільки розміри пор в бетоні малі, то проникність щільного бетону буде характеризуватися, як правило пуазейловским (в'язкісних) потоком. Згідно А. Дарсі швидкість фільтрації визначається за наступною залежністю:

$$v = \frac{r^2(P_1 - P_2)}{l \cdot 8\mu} \quad (3.1)$$

де  $\mu$  - коефіцієнт динамічної в'язкості;  $P_1$  і  $P_2$  - тиску на кінцях каналу;  $l$  - довжина каналу;  $r$  - радіус каналу

$$\frac{(P_1 - P_2)}{l \cdot 8\mu} = \gamma_{\phi} \quad (3.2)$$

За умови вільного стікання фільтранту з поверхні зразка  $P_2=0$  (3.1) може бути представлена у вигляді:

$$v = \frac{r^2 \cdot P_1}{l \cdot 8\mu} \quad (3.3)$$

Слід зазначити, що для бетону з сполученими порами і капілярами змінного перерізу проникність визначається найменшим діаметром каналів. Зазвичай у бетоні максимум пористості приходить на один розмір пор, тому цілком обґрунтованим видається введення в модель протічних каналів приблизно одного

діаметра. Збільшення тиску при зменшенні об'єму пори в результаті заповнення її продуктами корозії може бути визначено за формулою:

$$\Delta P = \frac{\Delta W}{\beta \cdot W} \quad (3.4)$$

де  $\Delta W$  - зменшення об'єму пори;  $W$  – об'єм пори;  $\beta = 0,0000475 \text{ см}^2/\text{кгс}$  - коефіцієнт об'ємної стисливості води в капілярі.

Величина тиску буде залежати від швидкості утворення продуктів корозії в порі та швидкості фільтрації рідини витісняється з пори. При слабкій фільтраційних процесах (щільні бетони) швидкість збільшення тиску на стінки пори зростає і, навпаки, при досить високій фільтраційній можливості бетону швидкість збільшення тиску на стінки пори сповільнюється.

Нехай об'єм прокородованого металу в одиницю часу під порою  $W_1$ , обсяг новоутворень за цей же час  $W_2$  і обсяг фільтрації рідини за цей же час під тиском продуктів корозії через цю пору  $W_3$ .

В цих умовах зменшення об'єму пори буде представляти різницю між обсягом утворених продуктів корозії і об'ємом фільтрації порівної рідини під тиском продуктів корозії в одиницю часу, тобто.

$$(W_2 - W_1) - W_3(\Delta P) \quad (3.5)$$

Тоді збільшення тиску в порі на одиницю часу становить

$$\Delta P = \frac{(W_2 - W_1) - W_3(\Delta P)}{\beta \cdot W_4} \quad (3.6)$$

де  $W_4$  - об'єм пори.

Проілюструємо розрахунок приросту тиску в капілярі в процесі роботи одиничної активно-пасивної гальванопари при наступних умовах: радіус пори в бетоні (середній) на межі її примикання до арматури  $r=0,012 \text{ см}$ ; площа її перерізу  $S=0,012^2 \cdot \pi = 0,00045 \text{ см}^2$ ; товщина бетону захисного шару  $\delta=2 \text{ см}$ ; довжина досліджуваної пори з урахуванням коефіцієнта зчуженості [4]

$l = 2 \cdot \delta = 4 \text{ см}$ ; об'єм пори  $W_4 = S \cdot l = 0,00045 \cdot 4 = 0,0018 \text{ см}^3$ ;  $\beta=0,0000475 \text{ см}^2/\text{кгс}$ ;  $\mu=0,00114 \text{ Па}$ ; обсяг прокородованого під порою металу в

годину  $W_1 = 0,017 \cdot 10^{-7} \text{ см}^3$ ; обсяг новоутворень (іржі) в годину:  $W_2 = 0,034 \cdot 10^{-7} \text{ см}^3$

Об'єм рідини профільтрованої через пору може бути визначений за формулою:

$$W_3 = \pi r^2 \cdot v \cdot n \cdot t \text{ см}^3/\text{год} \quad (3.7)$$

Для простоти розрахунку радіус пори у формулі (3.7) приймається рівним обраному радіусу пори на кривій її примикання до арматури. Після підстановки в (3.7) значення швидкості фільтрації з (3.1), отримуємо:

$$W_3 = \pi r^2 \cdot \frac{r^2 \cdot \Delta P}{l \cdot 8 \mu} \cdot t, \text{ см}^3/\text{год} \quad (3.8)$$

Тоді об'єм профільтрованої рідини складе:

$$W_3 = 3,14^2 \cdot 0,012^2 \cdot \frac{0,012^2 \cdot \Delta P}{30 \cdot 8 \cdot 0,0014} \cdot 3600 = 8,63 \cdot 10^{-4} \cdot \Delta P \text{ см}^3/\text{год}.$$

Збільшення тиску в капілярі за годину може бути визначено за (3.6):

$$\Delta P = \frac{(0,034 \cdot 10^{-7} - 0,017 \cdot 10^{-7}) - 8,63 \cdot 10^{-4}}{0,475 \cdot 10^{-4} \cdot 0,0136}$$

Відки:

$$\Delta P = 0,00000196 \text{ г/см}^2 \text{ або } 0,196 \text{ Па}$$

На рис. 3.1 побудовані графіки за цими розрахунковими даними.

Як видно з графіків рис.3.1 тиск у порі зростає із зменшення її перерізу.

Різка зміна тиску спостерігається в часах малих діаметрів (0,1 і менше мм).

Повільніше зростає тиск у порі при більшій товщині бетону захисного шару при одному і тому ж перерізі пори.

Рис. 3.1 Зростання порового тиску в бетоні в процесі корозії арматури

$W$  – об'єм металу, що кородує під впливом в одиниці часу,

$r$  – радіус пори,  $l$  – довжина пори.

У разі можливих значних перепадів температур необхідно враховувати також температурні впливи на розподіл порової рідини.

В цих умовах зменшення об'єму пори під тиском продуктів корозії буде представляти собою різницю між об'ємом утворених продуктів корозії із об'ємом фільтрації порової рідини з урахуванням зміни її об'єму при підвищенні температури, тобто:

$$(W_2 - W_1) - W_3(\Delta P) + W_5,$$

де  $W_5$  - зміна об'єму при підвищенні температури в одиницю часу.  
Тоді збільшення тиску в капілярі в одиницю часу складе:

$$\Delta P = \frac{(W_2 - W_1) - W_3(\Delta P) + W_5}{\beta \cdot W_4} \quad (3.9)$$

Проілюструємо розрахунок приросту тиску в капілярі в процесі роботи типової активно-пасивної гальванопари при умовах попереднього прикладу з урахуванням температурного розподілу порової рідини.

Згідно з [3] при зміні температури в межах  $10^\circ - 25^\circ \text{C}$ , коефіцієнт температурного розподілу прийнятий  $\beta = 0,00015$  1/град., тоді наприклад, при годинній зміні температури на  $1^\circ \text{C}$  в позитивну сторону

$$W_5 = \beta_T \cdot W = 0,00015 \cdot 0,00136 = 0,0000002 = 0,002 \cdot 10^{-4} \text{ см}^3$$

Збільшення тиску в капілярі за годину може бути визначено за (3.9):

$$\Delta P = \frac{(0,034 \cdot 10^{-7} - 0,017 \cdot 10^{-7}) - 8,63 \cdot 10^{-4} + 0,002 \cdot 10^{-4}}{0,475 \cdot 10^{-4} \cdot 0,0136}$$

$$\text{Звідки: } \Delta P = 0,00023 \text{ кгс/см}^3 \text{ або } 23 \text{ Па}$$

Порівнюючи зростання порового тиску в процесі корозії арматури без урахування і з урахуванням можливого температурного зростання порової рідини можна заключити, що температурні зміни вносять певні корективи в динаміку зростання тиску в капілярі. Особливо чутливі до температури дрібні пори (до 0,1 мм) у другому випадку спостерігаються стани, коли при різних геометричних

параметрах пори і різних швидкостях корозії металу під впливом температурного розширення досягається однаковий тиск в капілярах.

### 3.3 Механізм руйнування бетону під тиском продуктів корозії

Основною причиною руйнування бетону при корозії арматури є напруження, що виникають в матеріалі в зв'язку з збільшенням об'єму продуктів корозії приблизно в 2,5 рази [5] по відношенню до металу, що кородує.

В результаті тиску, що виникає в порах бетону при роботі активно-пасивних гальванопар на арматурі в скелеті металу з'являється складний напружений стан.

При розрахунку напружень, що виникають в процесі чаюпичення в порі продуктів корозії, необхідно враховувати не тільки тиск в середині цих пор, але і тиск в оточуючих порах.

Для оцінки напруженого стану бетону розглянемо модель пористого пружного матеріалу з циліндричними порами, розташованими паралельно один одному.

Щоб розрахувати напруження в скелеті бетону, потрібно було б прийняти модель, показану на рис.3.2. Але так як важко розрахувати напруги для цієї моделі із-за складної конфігурації порової мережі та невідомих сил  $X$ , то для оцінки напружень прийнемо модель у формі циліндричної пори (рис 3.3), в якій тиск оточуючих пор замінюємо тиском, рівномірно розподіленим по зовнішньому периметру пори.

Напруження в стінках циліндричної пори розраховуємо по відомим залежностям з теорії пружності.

$$\sigma_r = \frac{P_b a^2 - P_H b^2}{b^2 - a^2} + \frac{(P_b - P_H) a^2 b^2}{(b^2 - a^2) r^2}; \quad (3.10)$$

$$\sigma_t = \frac{P_b a^2 - P_H b^2}{b^2 - a^2} + \frac{(P_b - P_H) a^2 b^2}{(b^2 - a^2) r^2};$$

Розглянемо два випадку напруженого стану прийнятої моделі пори. У першому випадку (без врахування тиску в оточуючих порах) внутрішній тиск

$P_b = P$ , а зовнішній тиск  $P_n = 0$ . Опустивши математичні вирази, отримуємо наступні значення напруг:

$$\begin{aligned}\sigma_r^a &= -P \\ \sigma_r^b &= 0\end{aligned}\quad (3.11)$$

Рис. 3.2 Модель для розрахунку напружень в пористому матеріалі при заповненні пор продуктами корозії апаратури.

Рис 3.3 Прийнята розрахункова модель пори.

$a$  – радіус пори;  $b$  – радіус зовнішньої стінки пори

$$\sigma_r^a = \frac{5}{3}P$$

$$\sigma_r^b = \frac{2}{3}P$$

де  $\sigma_r^a$  - радіальні напруження на внутрішній поверхні пори;

$\sigma_r^b$  - радіальні напруження на зовнішній поверхні пори;

$\sigma_\tau^a$  - тангенціальні напруження на внутрішній поверхні пори;

$\sigma_\tau^b$  - тангенціальні напруження на зовнішній поверхні пори.

Як видно з наведених значень (напруження розтягування - позитивні, напруження стиснення - негативні), в даному випадку стінки пори по всій товщині знаходяться під дією розтягуючих тангенціальних напружень і в разі, якщо  $\sigma_\tau^b$  більше межі міцності матеріалу на розтяг, повинні бути повністю зруйновані.

У другому випадку (з врахуванням тиску в оточуючих порах) легко переконалися, що коли внутрішній та зовнішній тиск рівні між собою ( $P_b = P_n = P$ ), то стінки пори будуть перебувати під дією рівномірного двовісного стиску.

$$\sigma_r^a = \sigma_r^b = -P, \quad \sigma_\tau^a = \sigma_\tau^b = -P. \quad (3.12)$$

Очевидно, що рівність  $P_b = P_n$  можливе тільки тоді, коли перетин оточуючих пор і даної пори однакові, а також міжпоровий простір однаковий, умови роботи активно-пасивних гальванопар однакові, що не відповідає дійсній будові бетонного покриття.

Тому при обліку тиску в оточуючих порах зовнішній тиск має бути прийнято менше внутрішнього тиску:

$$P_b > P_n > 0.$$

Зовнішній тиск на стінки пори обчислюємо, припускаючи, що відношення  $P_n/P_b$  дорівнює відношенню внутрішнього периметра розглянутої пори до зовнішнього її периметра. В даному випадку це співвідношення дорівнює:

$$\frac{P_n}{P_b} = \frac{2\pi a}{2\pi b} = \frac{a}{b} \quad (3.13)$$

Где, наприклад, при заданому відношенні  $a/b = 1/2$

$$r_H = P_b \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{2} P$$

Тоді напруження в стінках пор (кгс/см<sup>2</sup>)

$$\sigma_r^b = -P \quad \sigma_r^a = -\frac{1}{2} P \quad (3.14)$$

$$\sigma_r^a = \frac{1}{3} P \quad \sigma_r^b = -\frac{1}{6} P$$

Тобто при врахуванні зовнішнього тиску на стінки розрахункової пори величина тангенціальних розтягуючих напружень на її внутрішній поверхні значно менше тиску, що виникає в порах матеріалу без урахування тиску в оточуючих порах ( $\sigma_r^a = \frac{1}{3} P$  і  $\sigma_r^b = \frac{5}{3} P$ ).

Підставляючи (3.13) у (3.10) були отримані наступні розрахункові формули радіальних і тангенціальних напружень у стінках пори.

$$\sigma_r = P \left( \frac{a^2 r^2 - a b r^2 - a^2 b^2 + a^3 b}{r^2 b^2 - a^2 r^2} \right) \quad (3.15)$$

$$\sigma_t = P \left( \frac{a^2 r^2 - a b r^2 - a^2 b^2 + a^3 b}{r^2 b^2 - a^2 r^2} \right)$$

Розподіл радіальних і тангенціальних напружень у стінках пори при  $a = 0,2$  і  $b = 0,5$  см показано на рис.3.4.

Вплив геометрії порового простору (діаметра пор, міжпорових відстаней) на напружений стан бетону показано на рис.3.5. Як видно з цих рисунків матеріал в даному випадку знаходиться в складному напруженому стані. Основна маса його сприймає дію стискаючих радіальних і тангенціальних напружень. Лише деяка внутрішня зона стінок пори піддана дії розтягуючих тангенціальних напружень. Крім того із зменшенням  $a/b$  розтягуючі тангенціальні напруження різко зростають

на внутрішній стінці пори і падають стискаючі тангенціальні напруження на зовнішній стінці пори.

Радіальні напруження на внутрішній стінці постійні, а на зовнішній стінці пори зростають зі збільшенням відношення  $a/b$ .

Іншими словами, при збільшенні відстані між фільтруючими порами розтягуючі напруження на внутрішніх стінках пор швидко зростають і, навпаки, падають із зменшенням цих відстаней. Збільшення відстані між фільтруючими порами призводить до падіння стискаючих радіальних напружень на зовнішній стінці пори. На внутрішній стінці пори радіальні стискаючі напруження постійні.

Якщо в зоні дії розтягуючих тангенціальних напружень при величині  $\sigma^a$  більше межі міцності бетону на розтяг  $\sigma_p$ , то будуть виникати мікротріщини.

Утворення мікротріщин в бетоні являє собою першу стадію руйнування матеріалу. Друга стадія руйнування матеріалу характеризується деструктивними процесами, викликаними накопиченням продуктів корозії в утворених мікротріщинах і появою порушень адгезивних зв'язків з арматурою в результаті цього в міжпоровому просторі. Вже при невеликих тисках на кінцях таких мікротріщин відбувається концентрація напружень (для ідеально пружного матеріалу напруження в кінці тріщини різне нескінченності).

Рис 3.4 Розподілення (а) радіальних і (б) тангенціальних напружень у стінках циліндричної пори

Рис. 3.5 Розподілення тангенціальних (а) і радіальних (б) напружень у стінках циліндричної пори: а) при  $r = a$ ; б) при  $r = b$

Концентрація розтягуючих напружень в глухому куті тріщини (рис 3.6) при подальших корозійних процесах на арматурі викличе швидке зростання тріщин і прискорене руйнування.

На підставі спільного рішення, запропонованого Н.І.Мусхелішвілі, і висновку у роботі[5] напруження в гирлі мікротріщини визначається за формулою:

$$\sigma_p = P \left( 2 \frac{a}{b} + 1 \right), \quad (3.16)$$

де  $P$  - тиск в мікротріщині;  $a$ ,  $b$  - відповідно довжина і товщина мікротріщини.

З (3.16) ясно, що при  $b \rightarrow 0$  напруга в гирлі мікротріщини надзвичайно зростає.

На рис. 3.7 наведено графік розтягуючих напружень  $\sigma_p = f\left(\frac{a}{b}; P\right)$ , підрахованих за формулою (3.16).

На підставі викладеного можна пояснити отримані нами експериментальні дані на арматурних зразках під бетонним покриттям.

Мікротріщини, що утворилися (рис.3.6), сполучаючись з порами, самі стають джерелами подальших руйнувань, причому розвиток мікротріщин може викликатися в цьому випадку невеликим тиском.

Корозія арматури, що почалась під бетонним покриттям, спочатку не дає про себе знати протягом певного часу, а з деякого моменту з'являється катастрофічне порушення цілісності бетонного покриття у вигляді поздовжніх макротріщин.

Перший так званий підготовчий період пов'язаний з накопиченням в порах продуктів корозії і утворенням мікротріщин в матеріалі. Як випливає з формули (3.13, 3.14) тривалість процесу цього періоду залежить від структурних характеристик бетонного покриття.

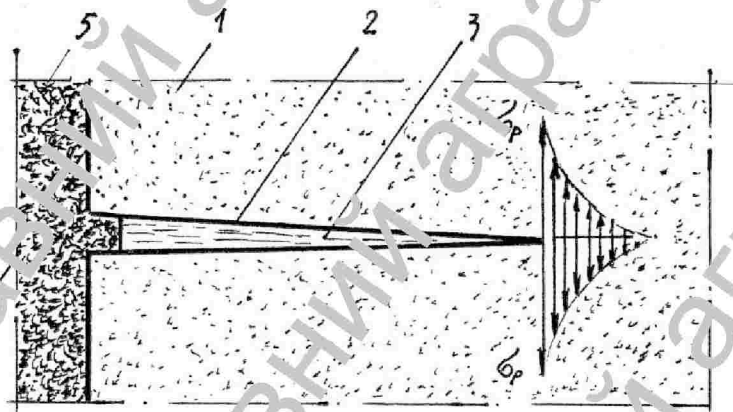


Рис. 3.6. Схема руйнування матеріалу від тиску продуктів корозії в тріщині.

1 - бетон; 2 - тріщина; 3 - рідина пори; 4 - продукти корозії; 5 - пори

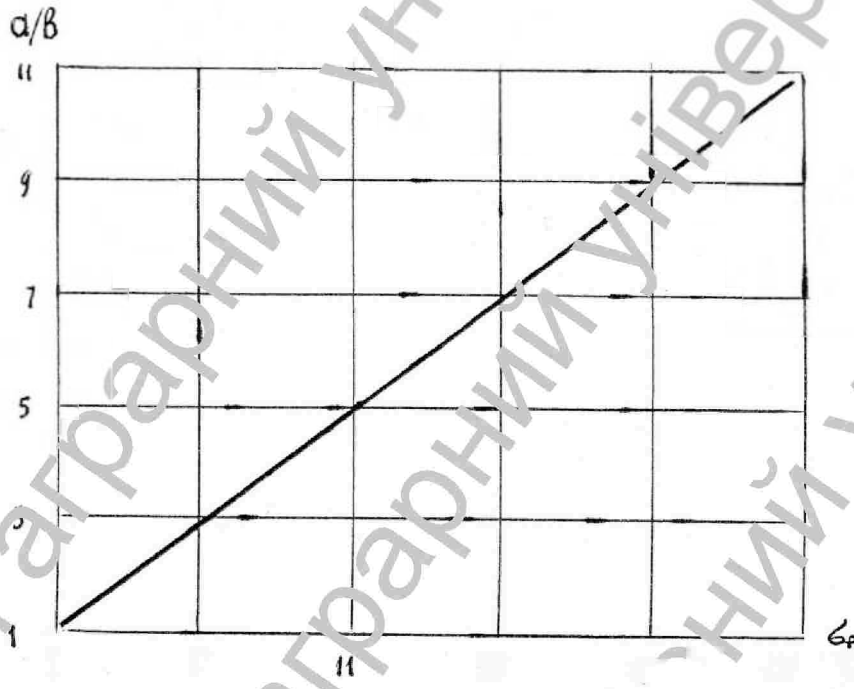


Рис.

### 3.4 Методика досліджень корозійної стійкості арматури за механізмом руйнування бетону

Для вивчення напружено-деформованого стану бетону, що оточує одиничний кородуючий арматурний стержень, були проведені спеціальні експериментальні дослідження. Для цього були виготовлені зразки, що представляють собою балочки довжиною 15 см і перерізом 4x4 см. Експериментально на відстані 7 мм від однієї з граней призми були укладені арматурні стержні періодичного профілю класу  $d = 16$ . Перед закладанням у форму арматурні стержні були очищені від іржі. Зразки були виготовлені з додаванням золашлаку замість дрібного заповнювача. В якості контрольних зразків виготовлені балочки без додавання зола-шлаку. Більше ніж 28 діб зразки витримувались в звичайних умовах. Після цього зразки (по три кожного виду бетону) були випробувані в умові корозійного впливу на арматуру 3% розчину  $\text{NaCl}$ . Пластична ванна (рис. 3.8), заповнювалась частково 3% розчином  $\text{NaCl}$ . На ізоляторах рядами виставлялись зразки. Для виключення витискання продуктів корозії арматури в місцях виходу арматурних стержнів введення агресивного середовища відбувалось через гідрофільні полоси в центральній частині зразків, а самі зразки не торкались рідини в ванні.

Так як корозія арматури викликається дією макросталеваничних пар, то буде виправдані для пришвидшення випробування використання постійного струму, що пропускається через зразки від зовнішнього джерела.

Негативний полюс джерела був приєднаний до розподільчої шпички, котра закривалась у розчин  $\text{NaCl}$ , а позитивний полюс був підключений до арматурних стержнів. Підключення споживача струму паралельне.

В процесі випробування вимірювався струм, що проходить через кожен зразок і час його проходження.

Випробування кожного зразка припинялись після утворення тріщин на поверхні зразка над арматурою.

Руйнуючий тиск у порі був визначений за формулою (3.16)

$$\sigma_p = 0,457P \quad (3.7)$$

За формулою (3.18) розраховано приріст тиску ( $\Delta P$ ) за одиницю часу, виходячи з геометрії сітної пористості зразків, що випробовувались, а також електрохімічних характеристик арматури.

Рис. 3.8 Схема установки для корозійних випробувань бетонних зразків.

- 1 – бетонні зразки
- 2 – пластмасова ємність
- 3 – шина введення негативного заряду
- 4 – дріт позитивного заряду
- 5 – ізолятор
- 6 – розчин 3% NaCl
- 7 – гідрофільні смужки

Теоретичний час появи тріщин визначався за формулою:

$$T_1 = P : \Delta P \quad (3.18)$$

Відомо що швидкість корозії металу пропорційна кількості струму, пропущеному через зразок, тому для обчислення маси металу, що була втрачена арматурою під час дослідів використовувалася формула Фарадея:

$$m = kIt \quad (3.19)$$

$m$  – втрачена маса металу, в г;

$k$  – коефіцієнт рівний  $1,042 \cdot 10^{-4}$ , г / А·год;

$I$  – сила струму, А;

$t$  – час, до появи першої тріщини, год.

Порівнюючи струм, що проходить через кожен зразок до появи тріщини, до розрахункових за формулою (розділ 3), знайдено співвідношення.

Це дозволило привести час руйнування зразка під дією струму від зовнішнього джерела до часу його руйнування внаслідок дії корозійних макрогальванічних пар локальних корозійних елементів за формулою:

$$T_2 = t \cdot \frac{i_1}{i_2} \quad (3.20)$$

де  $t$  – час до утворення першої тріщини при експериментальних випробуваннях

$i_1$  – щільність корозійного струму під час випробування

$i_2$  – щільність корозійного струму теоретична.

### 3.5 Підбір складу бетону

Склад для зразків підбирається на основі [20] і приведений нижче.

Оскільки теоретично дуже важко підібрати склад для бетону з певним значенням стійкості до замочування і висушування, то для встановлення оптимального складу в даній роботі було використано рекомендації тематичної літератури. Враховуючи дані, що наведені у попередньому розділі на проектний клас майбутнього бетону було обрано В25. Розрахунок складу бетону проводили згідно [29]. Згідно (3.21) проводимо підбір складу бетону:

Визначають водоцементне відношення, яке забезпечує отримання бетону заданої міцності при використанні цементу певної активності. В/Ц розраховують за наступними емпіричними формулами:

$$f_{cm} \leq 1,2R_{ц}, \quad \frac{В}{Ц} = \frac{AR_{ц}}{f_{cm} + 0,5AR_{ц}}, \quad f_{cm} > 1,2R_{ц}, \quad \frac{В}{Ц} = \frac{AR_{ц}}{f_{cm} - 0,5AR_{ц}}, \quad (3.21)$$

де  $f_{cm}$  - проектна середня міцність бетону;

$R_{ц}$  - активність цементу, яка визначається згідно з ДСТУ Б В.9 7-187;

$A$  і  $A1$  - коефіцієнти, що залежать від якості заповнювача

Для визначення необхідного вмісту щебеню у складі бетонної суміші було використано формулу (3.22):

$$G_{щ} = \frac{1000}{\frac{1}{\rho_{i,г}^{щ}} + \alpha \frac{1}{\rho_{н,г}^{щ}} \times V_{пуст.}}, \quad (3.22)$$

де  $\rho_{i,г}^{щ}$  - істинна густина зерен щебеню, г/см<sup>3</sup>;

$\rho_{н,г}^{щ}$  - насипна густина щебеню, г/см<sup>3</sup>;

$V_{пуст.}$  - пористість щебеню, частки силици;

$\alpha$  - коефіцієнт розсування зерен

$V_{пуст}$  - вміст пор, котрий визначався на основі даних розділу 4 цієї роботи по формулі (3.23):

$$V_{пуст} = 1 - \frac{\rho_c^{щ}}{\rho_i^{щ}} = 0,486. \quad (3.23)$$

Дрібний заповнювач підбирався згідно вимог [20].

$$П = \left[ 1000 - \left( \frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{Щ}{\rho_{щ}} + В \right) \right] \rho_{п} \quad (3.24)$$

де Ц, Щ, В - витрата цементу, щебеню (гравію) та води, кг;

$\rho_{ц}$ ,  $\rho_{щ}$ ,  $\rho_{п}$  - істинна густина цементу, щебеню та піску, г/см<sup>3</sup>.

В результаті обчислень було отримано склади бетонів на 1 м<sup>3</sup>, з яких потім отримувалися робочі склади для експерименту.

Еталонний склад на 1 м <sup>3</sup>		
Цемент	кг	350
Вода	л	185
Пісок	кг	700
Щебінь	кг	1166

## РОЗДІЛ 4

## ХАРАКТЕРИСТИКА ВИХІДНИХ МАТЕРІАЛІВ

## 4.1 Цемент

Для проведення експерименту використовували цемент ПЦ І-500-Н.

Згідно даних виробника даний цемент відзначається високою ранньою міцністю, а високий вміст у клінкері  $C_3S$  і низький вміст  $C_3A$  свідчить про можливість отримання на основі такого цементу бетонів високої стійкості.

## 4.1.1 Тонкість помелу

Тонкість помелу цементу визначалася згідно вимог нормативних документів ДСТУ EN 196-6:2007 (EN 196-6:1989, IDT), використовувався метод визначення вищевказаної характеристики за залишком на ситі. Нижче приведені результати, у таблиці 4.1

Таблиця 4.1 Результати визначення тонкості помелу цементу

№ дослідів	Маса наважки, г	Залишок на ситі, г	Тонкість помелу, %

## 4.1.2 Нормальна густота

Нормальна густота визначається згідно з ДСТУ Б В.2.7-185:2009[12].

Результати наведені у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 Результати визначення нормальної густоти цементного тіста

№ дослідів	Кількість води замішування, мл	Показання приладу Віка, мм	Нормальна густота, %

### 4.1.3 Марка за міцністю на стиск

Марка за міцністю на стиск визначалася на зразках-балочках розмірами 40x40x160 мм згідно з вимогами [28]. Результати наведені у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 Результати визначення марки цементу за міцністю на стиск

№	Вік зразка, днів	Руйнуюче зусилля, кН	Границя міцності, МПа	Марка
1	28			
2	28			
3	28			
4	28			
5	28			
6	28	12658	51.6	500

### 4.2 Щебінь

Для випробувань використовували щебінь, який перед початком випробувань він був просіяний через сита для відбору фракції 5-10. Це пов'язано із особливістю конструкції бетонозмичувача, котра не дозволяє змішувати суміші, що містять у своєму складі зерна залознювача розмірами понад 10 мм.

Окрім того щебінь для випробування був промитий та висушений, для того, щоб такі параметри як запиленість та вологість не впливали на результати дослідів.

#### 4.2.1 Насипна густина

Насипна густина визначалася згідно вимог [28]. Результати наведені у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 Результати визначення насипної густини лабораторного щебеню фракції 5-10

Фракція	Об'єм проби, см <sup>3</sup>	Маса проби, г	$\rho_m$ , (г/см <sup>3</sup> )

### 4.3 Золешлак

Для дослідів використовувався золешлак ТЕМ.

### 4.3.1 Істина густина

Істина густина визначалася прискореним методом, згідно з вимогами [11].

Результати випробувань наведені у таблиці 4.6

Таблиця 4.6 Результати визначення істинної густини зоолошлаку

Маса об'єктоміра з водою, г	Маса об'єктоміра з зоолошлаком, г	Маса наважки зоолошлаку, г	Об'єм, см <sup>3</sup>	Істинна густина, г/см <sup>3</sup>

### 4.3.2 Насипна густина

Насипна густина визначалася згідно з вимогами, котрі określени у [11].

Результати випробування наведені у таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 Результати визначення насипної густини зоолошлаку

№ досліджу	Об'єм циліндра, см <sup>3</sup>	Вага циліндра, г	Вага циліндра з зоолошлаком, г	Вага зоолошлаку, г	Густина, г/см <sup>3</sup>

У подальшому, за насипну густину зоолошлаку приймалося середнє значення, котре становить 0,526 г/см<sup>3</sup>.

### 4.3.4 Водопотреба

Водопотреба визначалася згідно з вимог [10].

## 4.4 Пісок

Пісок був використаний у якості дрібного заповнювача. Це – звичайний річковий пісок, характеристики якого наведені нижче.

### 4.4.1 Насипна густина

Насипна густина визначалася згідно з [8]. Результати випробувань наведені у таблиці 4.10.

Таблиця 4.10 Результати визначення насипної густини піску

№ досліджу	Об'єм циліндра, см <sup>3</sup>	Вага циліндра, г	Вага циліндр з піском, г	Вага піску, г	Густина, г/см <sup>3</sup>

За значення насипної густини піску приймалося середнє значення котре становить 1,4 г/см<sup>3</sup>.

#### 4.4.2 Істина густина

Істина густина визначалася згідно з [8]. Результати випробувань наведені у таблиці 4.11.

Маса об'єміра з водою, г	Маса об'єміра з золошлаком, г	Маса наважки золошлаку, г	Об'єм, см <sup>3</sup>	Істина густина, г/см <sup>3</sup>

#### 4.4.3 Модуль крупності

Модуль крупності визначався згідно вимог [8]. Результати його визначення наведені у таблиці 4.11.

Таблиця 4.11 Результати визначення модуля крупності піску

№ сит	Пісок		
	г	a <sub>i</sub> , %	A <sub>i</sub> , %
Мкр	1		

Окремо слід відзначити, що при підборі складу бетону з використанням піску у якості заповнювача було прийняте значення істинної густини рівне 2,64 г/см<sup>3</sup>.

#### 4.5 Арматура

Арматурний стержень – а - 16 мм. ДСТУ 3769:2006 [13].

## РОБІЛ 5

### АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Корозійні випробування сталі в бетоні, методами що базуються на законах електролізу були виготовлені на армованих зразках розміром 4x4x15 см з ексцентричним армуванням одним сталевим стержнем.

Об'єм експерименту складався з 12 зразків, з них 3 (№1 - №3) було виготовлено як контрольні без додавання зола-шлаку, ще 3 (№4 - №6) було виготовлено з додаванням замість дрібного заповнювача зола-шлаку (5% від маси піску), ще 3 (№7 - №9) з вмістом зола-шлаку (10% від маси піску), інші 3 з вмістом зола-шлаку (15% від маси піску) (табл. 5.1).

Таблиця 5.1. Початкові експериментальні данні арматурних стержнів.

Назва	№ зразків	m початкова, г
Контрольні зразки	№ 1	
	№ 2	
	№ 3	
Зразки з ЗШ 5%	№ 4	
	№ 5	
	№ 6	
Зразки з ЗШ 10%	№ 7	
	№ 8	
	№ 9	
Зразки з ЗШ 15%	№ 10	
	№ 11	
	№ 12	

Сталеві стержні було виготовлено з арматури діаметром 16 мм довжиною 390 мм. Поверхню стержня очистили для видалення слідів корозії, бруду і мастила. Після цього їх зважували і вкладали у форми для бетонування.

Ущільнення бетону в формах виконували за допомогою вібрації. На рисунку 5.1 показано зразки-балочки після розпалублення.

Рис 5.1 Зразки-балочки після розпалублення.

Після 28 - и діб твердіння в нормальних умовах зразки-балочки (по три кожного виду бетону) були випробувані в умовах корозійного впливу на арматуру 3% розчину NaCl. Пластикову ванна (рис. 5.2) заповнювалась частково 3% розчином NaCl. На ізоляторах рядами виставлялись зразки. Для виключення витискання продуктів корозії арматури в місцях виходу арматурних стержнів введення агресивного середовища відбувалось через гідрофільні полоси в центральній частині зразків, а самі зразки не торкалися рівня рідини в ванні. Плюс джерела струму був підключений паралельно до кожного зразка, а мінус до сталевого дроту (шини), що занурювалась в рідину. Для контролю сили струму що проходить через кожен з зразків у електричне коло послідовно був приєднаний мультиметр. Схема підключення зображена на рис. 5.2.

Рис. 5.2 Підключення зразків-балок до джерела живлення.

Джерело живлення давало можливість отримувати на його виході регульовану напругу від 0 до 40 V і величину струму до 4A без додаткового охолодження випрямляча. Електрична енергія з джерела живлення через систему проводів подавалась на випробувальні зразки.

Сила струму, яка подавалась на зразки, вимірювалась кожні 15 хвилин. При цьому підраховувалось кількість ампер-годин, спожитих зразком. Вологість зразків підтримувалась на однаковому рівні.

Під час роботи, коли зразки-балки були підключені до джерела живлення, спостерігались скачки показників струму. Це відбувалось через те, що у зразках з'являлись тріщини, а в свою чергу у тріщинах потрапляла волога, через це струм проводився краще. Так як струм проводився краще то опір різко змінював своє значення.

У журналі фіксувався час появи на зразках першої видимої тріщини.

На рисунку 5.3 показані зразки балки після закінчення випробування.

Рис. 5.2 Зразки-балочки після закінчення випробування.

При вилученні зразка з випробування фіксувався час і кількість спожитих ампер-годин струму, потім за формулою (3.19) визначалася величина втраченої маси сталого стержня  $m$ .

$$m_1 = 1,0424 \cdot 0,15 \cdot 9,75 = 1,52 \text{ г}$$

$$m_2 = 1,0424 \cdot 0,14 \cdot 10,7 = 1,53 \text{ г}$$

$$m_3 = 1,0424 \cdot 0,14 \cdot 10,25 = 1,50 \text{ г}$$

$$m_4 = 1,0424 \cdot 0,12 \cdot 12,5 = 1,56 \text{ г}$$

$$m_5 = 1,0424 \cdot 0,12 \cdot 12,75 = 1,59 \text{ г}$$

$$m_6 = 1,0424 \cdot 0,12 \cdot 12,5 = 1,56 \text{ г}$$

$$m_7 = 1,0424 \cdot 0,10 \cdot 15 = 1,56 \text{ г}$$

$$m_8 = 1,0424 \cdot 0,10 \cdot 14,5 = 1,51 \text{ г}$$

$$m_9 = 1,0424 \cdot 0,10 \cdot 15,25 = 1,59 \text{ г}$$

$$m_{10} = 1,0424 \cdot 0,08 \cdot 18,25 = 1,52 \text{ г}$$

$$m_{11} = 1,0424 \cdot 0,07 \cdot 19,25 = 1,40 \text{ г}$$

$$m_{12} = 1,0424 \cdot 0,08 \cdot 18,5 = 1,54 \text{ г}$$

Отримані результати записані в таблицю 5.2.

Таблиця 5.2 Результати розрахунку втрати маси аматурними стержнями

Назва	№ зрізків	U напруга, В	Сила струму I,	Втрата маси, m,	t, час, год
-------	-----------	--------------	----------------	-----------------	-------------

			A	I	
Контрольні зразки	№ 1				
	№ 2				
	№ 3				
Зразки з ЗП 5%	№ 4				
	№ 5				
	№ 6				
Зразки з ЗП 10%	№ 7				
	№ 8				
	№ 9				
Зразки з ЗП 15%	№ 10				
	№ 11				
	№ 12				

На основі результатів дослідження побудовано гістограми (рис. 5.4 та рис. 5.5) на яких видно, що сила струму на зразках з використанням золошлаків менша ніж на контрольних зразках та час до утворення першої видимої тріщини більший. Це в свою чергу свідчить про більший опір. Так як опір на зразках з використанням золи більший можна зробити висновок, що проникливість у цих зразків менша, а згідно й кращі захисні властивості.

Рис. 5.4 Сила струму, що проходила через кожний зразок.

Рис 5.5 Час до утворення першої видимої тріщини

## РОБІЛ 6

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

#### *Інструкція з охорони праці при експлуатації електроустановок до 1000 В в установах та закладах освіти. Загальні положення*

1. Персонал, що обслуговує діючі електроустановки, а також технологічні установки з наявним на них електрообладнанням (електропечі, важки гальвано-покриття, зварювальні апарати тощо), повинен знати і виконувати ПТЕЕС (Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів), затверджені наказом Міністерством палива та енергетики України від 25.07.2006 р. №258.

Особи, які обслуговують електроустановки або працюють на технологічному обладнанні, зобов'язані вивчати і виконувати зазначені правила в обсязі відповідно до посади, яку посідають, або виконуваної роботи.

Безпека обслуговування електроустановок залежить від характеру середовища, в якому перебуває певна установка.

2. Приміщення, де є електроустановки, щодо можливості ураження людей електричним струмом поділяють на три категорії:

а) приміщення з підвищеною небезпекою, що характеризуються наявністю в них однієї з таких умов, що створюють підвищену небезпеку: сирості або струмопровідних підлог (металевих, земляних, залізобетонних, цегляних тощо), високої температури, можливість одночасного доторкування людини до з'єднання з землею металоконструкцій будівлі, технологічних апаратів, механізмів, з одного боку і до металевих корпусів електрообладнання — з другого;

б) приміщення особливо небезпечні, що характеризуються наявністю однієї з умов, що створюють особливу небезпеку: великої сирості, хімічно активного середовища чи одночасною наявністю двох або більше умов підвищеної небезпеки (п. «а»),

в) приміщення без підвищеної небезпеки, в яких відсутні умови, що створюють підвищену небезпеку та особливу небезпеку.

3. Вибирають машини і апарати відповідно до Правил улаштування; електроустановок (ПУЕ).

Згідно з ПУЕ за умовами безпеки всі електроустановки поділяють на електроустановки з напругою до 1000 В та електроустановки, що мають напругу понад 1000 В.

Величина допустимої напруги залежить від призначення, пристрою, умов його експлуатації та стану навколишнього середовища.

Електроустановки з напругою до 1000 В допускається використовувати у виробничих приміщеннях за умови, що все електрообладнання має захищене виконання, яке не допускає поворкування до струмоведучих частин. Струмоведучі частини зборок щитів, установлені в приміщеннях і доступні для електротехнічного персоналу, повинні бути закриті суцільними захисними засобами.

Учням забороняється мати для експлуатації установки з напругою понад 1000 В.

#### ***Відповідальність за експлуатацію електроустановок***

4. Експлуатація електроустановок будь-якої напруги належить до робіт, що проводяться в умовах підвищеної небезпеки. Тому, як до самих установок, так і до персоналу, що експлуатує їх, ставляться спеціальні вимоги.

5. Відповідальність за виконання Правил покладється на відповідальну особу за електрогосподарство, яка повинна забезпечити:

а) утримання електроустановок у робочому стані та їх експлуатацію згідно з вимогами ПТБЕС, ПУЕ, ПБЕЕ, інструкцій та інших НПА;

б) виконання заходів з підготовки електроустановок установи до роботи в осінньо-зимовий період;

в) навчання, інструктування і періодичну перевірку знань персоналу, що обслуговує електроустановки установи, і персоналу, що працює на технологічних установках з електрообладнанням;

г) заходи з техніки безпеки (забезпечення захисними засобами, перевірку та випробування їх, належне утримання заземлення тощо).

У закладі, де в штаті не передбачено посади електрика, вища організація розв'язує питання про призначення особи, відповідальної за електрогосподарство установи або закладу, яка задовольняє вимоги Правил. Дозволяється також передача експлуатації електроустановок окремих машин за договором спеціалізованої організації, яка повинна виділити з інженерно-технічного персоналу особу, відповідальну особу за електрогосподарство певного закладу.

***Вимоги до персоналу, що обслуговує електроустановки, навчання його і перевірка знань***

6. Персонал, що обслуговує діючі електроустановки, повинен пройти медогляд і не мати захворювань і вад, що заважають виконувати операції по експлуатації електроустановок.

7. Відповідно до наказу Міністерства охорони здоров'я України від 21 травня 2007 р. № 246 означений персонал зобов'язаний пройти медичний огляд під час прийому на роботу і проходити повторні огляди не рідше як один раз на 2 роки.

8. До призначення на самостійну роботу або при переведенні на іншу роботу, пов'язану з обслуговуванням електроустановок, персонал зобов'язаний пройти виробниче навчання на робочому місці.

Для виробничого навчання відповідальний за електрогосподарство школи повинен визначити термін, достатній для того, щоб набути практичних навичок, ознайомитися з обладнанням, вивчити ці Правила і виробничі інструкції.

Навчання має здійснюватись під керівництвом досвідченого працівника, під контролем особи, відповідальної за електрогосподарство. [25]

9. Періодична перевірка знань персоналу, який обслуговує електроустановки закладу, повинна проводитися щорічно кваліфікаційною комісією у складі не менш як трьох чоловік:

а) для особи, відповідальної за електрогосподарство закладу,— у складі керівника (голови), представника енергонагляду енергосистеми і представника технічної інспекції профспілки.

б) для решти персоналу — у складі особи, відповідальної за електрогосподарство, яка пройшла перевірку в комісії (п. 4.2), і представників від адміністрації закладу та профкому.

10. Відповідальним за електрогосподарство школи з правом обслуговування установок до 1000 В може призначатись особа, якій за результатами перевірки знань присвоєна IV кваліфікаційна група допуску до експлуатації електроустановок.

11. До обслуговування електротехнічних установок і до роботи з машинами та механізмами, що мають електропривід, допускають осіб, які мають I кваліфікаційну групу допуску. Особи з I кваліфікаційною групою, хоч і не мають спеціальної електротехнічної підготовки, повинні мати елементарне уявлення про безпеку електричного струму, про заходи безпеки під час роботи на обслуговуваній ділянці, а також бути практично ознайомлені з правилами надання першої допомоги потерпілим від дії електричного струму.

12. До неелектротехнічного персоналу, якому достатньо присвоєння I кваліфікаційної групи допуску, належать:

а) персонал, що обслуговує електроустановки, стенди для перевірки електромонтажних робіт тощо, якщо, за покладеними на нього функціями йому не потрібне присвоєння вищої кваліфікаційної групи;

б) персонал, що обслуговує пересувні машини і механізми з електроприводом;

в) персонал, що працює з електроінструментом;

г) персонал, що працює в приміщеннях і поза ними, де в разі виникнення несприятливих умов і відсутності необхідних знань з електробезпеки може виникнути небезпека ураження електричним струмом.

13. Присвоєння I кваліфікаційної групи допуску є не що інше, як проведення безпосередньо на робочому місці інструктажу з техніки електробезпеки і перевірки засвоєння його змісту.

Існуючих комісій для перевірки знань персоналу з метою присвоєння I кваліфікаційної групи створювати не треба. I кваліфікаційна група з техніки

безпеки може присвоюватись однією особою, що відповідає за електрогосподарство, або за письмовою вказівкою електротехнічним персоналом, що має III кваліфікаційну групу.

14. I кваліфікаційна група допуску присвоюється після перевірки знань з техніки електробезпеки безпосередньо на робочому місці того, кого перевіряють, і фіксується в журналі з обов'язковим підписом того, хто перевіряє, і того, кого перевіряють. Посвідчення про перевірку знань при цьому видавати не треба. Загальновиробничі інструктажі проводяться для персоналу, що має I кваліфікаційну групу допуску, додатково на загальних підставах із вказівкою адміністрації закладу.

#### ***Вимоги безпеки під час виконання робіт***

15. Роботи, що виконуються в діючих електроустановках напругою до 1000 В, щодо заходів безпеки поділяють на чотири категорії:

а) роботи, що виконуються після повного зняття напруги з об'єкта на обладнанні, яке повністю вимкнено;

б) роботи, що виконуються при частковому знятті напруги, а саме: на вимкнених частинах обладнання, в той час як інші його частини перебувають під напругою;

в) роботи, що виконуються без зняття напруги поблизу і на струмоведучих частинах, що перебувають під напругою;

г) роботи, що виконуються без зняття напруги далеко від струмоведучих частин, що перебувають під напругою.

16. Роботи в електроустановках з використанням драбин повинні виконуватися двома особами.

Дозволяється, як виняток, виконувати короточасні роботи з драбинами далеко від струмоведучих частин електроустановок, що перебувають під напругою, однією особою за умови використання справних приставних драбин або стрім'янок завдовжки не більш як 2,5 м, що мають гумові наконечники. При цьому забороняється працювати з двох верхніх сідців, ставити драбину на шпильку, нестійку основу, прив'язуватися допоміжним пасом до сідців драбини.

Учні шкіл ремонтні роботи не проводять і участі в них не беруть.

17. Щоб забезпечити безпеку робіт, які виконуються в колах вимірювальних приладів і пристроїв релейного захисту, для всіх вторинних обмоток вимірювальних трансформаторів, струму й напруги слід зберегти постійне заземлення.

Якщо треба розірвати коло струму вимірювальних приладів і реле, коло вторинної обмотки трансформатора струму слід попередньо закортити на спеціально призначених для цього затискачах.

18. До виконуваних за розпорядженням робіт з повним або частковим зняттям напруги в установках напругою до 1000 В належать: ремонт магнітних пускачів, пускових кнопок, автоматів, рубильників, реостатів, контакторів та аналогічної пускової й комутаційної апаратури за умови, що вона встановлюється поза щитами й збірками; ремонт окремих електроприймачів (електродвигунів, електрокалориферів то-що), окремо розміщених магнітних станцій і блоків керування, а також заміна плавких вставок відкритого типу; ремонт освітлювальної проводки.

19. Зазначені роботи виконуються оперативно-ремонтним або ремонтним персоналом одноосібно або двома особами, що мають кваліфікаційну групу допуску не нижчу за III.

20. Замінювати плавкі вставки запобіжників, що згоріли, при наявності рубильників треба після зняття напруги.

21. Якщо напругу зняти неможливо (на групових щитах, збірках) замінювати плавкі вставки запобіжників під напругою потрібно в захисних окулярах, діелектричних рукавицях, користуючись діелектричними кліщами. До цих робіт допускають кваліфікованих електромонтерів тільки з IV групою допуску. Вмикання і вимикання на збірках і щитах, де ця операція утруднена мають виконувати дві особи, з яких одна повинна мати кваліфікаційну групу допуску не нижчу за III.

22. Щоб запобігти помилковій подачі напруги до місця робіт, вживають таких заходів: вивішують на приводах розмикачів або рубильників плакати:

«Не вмикати — працюють люди»: в установках до 1000 В використовують ізолюючі прокладки в рубильниках, автоматах і т. д.

23. У порядку поточної експлуатації можуть виконуватися: ремонт освітлювальної апаратури і заміна ламп (при знятій напрузі); догляд за щітками та їх заміна на електродвигунах, догляд за кільцями й колекторами електричних машин, заміна пробкових запобіжників тощо. Роботи, що проводяться в порядку поточної експлуатації, може виконувати особа, що має кваліфікаційну групу не нижчу за III.

### *Електричне освітлення*

24. Штепсельні розетки на 12...36 В повинні відрізнятися від розеток на 127...220 В, вилки для розеток на 12...36 В не повинні підходити до розеток на 127...220 В.

26. Переносні світильники напругою 12...36 В приєднують до переносних трансформаторів за допомогою гнучких шлангових проводів.

27. Випробування і вимірювання опору ізоляції проводів, кабелів і заземлюючих пристроїв виконують не рідше як один раз на рік.

28. Випробування ізоляції стаціонарних трансформаторів з вторинною напругою 12...36 В проводять не рідше як один раз на рік, переносних трансформаторів — один раз на три місяці.

29. Випробувати ізоляцію силових кабелів, силових та освітлювальних електропроводок дозволяється мегомметром на напругу 2500 В.

31. Якщо знято плавкі вставки, опір ізоляції вимірюється на ділянці між сусідніми запобіжниками або за останніми запобіжниками між будь-яким проводом і землею, а також між двома будь-якими проводами. Під час вимірювання опору в силових колах повинні бути вимкнені електроприймачі, а також апарати, прилади і т. д.

### *Заземлення електроустановок*

32. Щоб забезпечити безпеку людей відповідно до Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), необхідно побудувати заземлюючі пристрої і до них надійно приєднати металеві частини електроустановок і корпуси електрообладнання, які внаслідок пошкодження ізоляції можуть бути під

напругою. Роботи в електроустановках із заземленою нейтраллю (380/220 В) виконують у більш небезпечних умовах, оскільки доторкування до струмоведучих частин і конструкцій, що перебувають під напругою внаслідок пошкодження ізоляції, призводить до ураження струмом фазної напруги.

33. Заземлення електроустановок необхідно виконувати:

- а) при напрузі 500 В і вище—в усіх випадках;
- б) при напрузі понад 36 В змінного струму і 110 В постійного струму - в приміщеннях з підвищеною небезпекою, особливо небезпечних і в зовнішніх електроустановках.

Заземлення електроустановок не потрібне при номінальних значеннях напруги 36 В і нижче змінного струму та 110 В і нижче постійного струму в усіх випадках, за винятком вбудованих небезпечних установок.

До частин, що мають заземлитися, належать:

- а) корпуси електричних машин, трансформаторів, апаратів, світильників тощо;
- б) приводи електричних апаратів;
- в) вторинні обмотки вимірювальних трансформаторів і трансформаторів місцевого освітлення на напругу 36 В, а також корпуси останніх;
- г) корпуси розподільних щитів, щитів керування, шаф, металеві конструкції розподільних пристроїв, металеві кабельні конструкції, металеві корпуси кабельних муфт, металеві оболонки і брештя контрольних і силових кабелів, металеві оболонки проводів, сталеві труби електропроводів та інші металеві конструкції електрообладнання;
- д) металеві корпуси пересувних і переносних електроприладів.

34. В електроустановках з глухим заземленням нейтралі у разі замикання на землю має забезпечуватись надійне автоматичне вимкнення пошкоджених ділянок мережі.

35. В електроустановках напругою до 1000 В з глухим заземленням нейтралі повинен бути обов'язково металевий зв'язок корпусів електрообладнання із заземленою нейтраллю джерела живлення, який

виконується нульовим проводом або за допомогою заземлюючих провідників, прокладених разом або в безпосередній близькості до фазних.

36. В електроустановках з глухим заземленням нейтралі забороняється заземлювати корпуси електрообладнання без здійснення металевого зв'язку з нейтраллю трансформатора. У колі нульових проводів, якщо вони одночасно використовуються для заземлення, не повинно бути роз'єднувальних апаратів і запобіжників.

37. В електроустановках з ізольованою нейтраллю, що мають напругу понад 36 В, повинна передбачатися можливість виявлення і швидкого відшукування замикань на землю за допомогою пристроїв контролю ізоляції. Використовувати «землю» як фазний або нульовий провід в електроустановках напругою до 1000 В забороняється, бо це може призвести до уражень електричним струмом.

38. Кожна заземлююча установка повинна приєднуватись до заземлювача або до заземлюючої магістралі за допомогою окремого відгалуження.

Послідовно з'єднати в заземлюючій провідник кілька заземлюваних частин забороняється. Приєднання заземлюючих провідників до заземлювачів повинно виконуватись зварюванням, а до корпусів апаратів, машин і т. п. — зварюванням або надійним болтовим з'єднанням.

Кінці заземлюючих гнучких провідників, що використовуються для приєднання до корпусів апаратів, машин тощо, повинні мати приварені напівсечники.

Заземлюючі провідники, розміщені в приміщеннях, повинні бути доступними для огляду.

Ця вимога не стосується нульових жил і металевих оболонок кабелів, трубопроводів захищеної електропроводки, а також провідників заземлення, прокладених у трубах.

39. Поточний ремонт заземлюючих пристроїв проводиться не рідше як один раз на рік.

До нього входить перевірка стану елементів заземлюючого пристрою, перевірка наявності кола між контуром заземлення і заземлюючими

елементами, вимірювання опору заземлюючого пристрою (для підстанції не рідше як один раз на три роки).

40. Максимально допустиме значення опору заземлюючих пристроїв електроустановок напругою до 1000 В дорівнює 4 Ом.

41. Капітальний ремонт заземлюючого пристрою виконується в строки, встановлювані від товідальним за електрогосподарство. Повний спір петлі «фаза—нуль» в установках з глухим заземленням нейтралі перевіряється після закінчення монтажних робіт, перед допущенням установки в експлуатацію і не рідше як один раз на п'ять років після введення.

42. Значення опору повинно бути таким, щоб при замиканні між фазами і заземлюючими провідниками вивикав струм короткого замикання, що перевищує не менш ніж у 3 рази номінальний струм найближчої плавкої вставки або в 1,5 раза — струм відмикання максимального розчіплювача відповідного автоматичного вимикача.

43. Як заземлюючі провідники можуть використовуватись:

- а) металеві конструкції будівель (ферми, колони тощо);
- б) сталеві труби електропроводок;
- в) алюмінієві оболонки кабелів;
- г) у будівлях — сталеві круглі провідники діаметром не менше ніж 5 мм;
- д) у будівлях — прямокутні провідники перерізом не менш як 24 мм<sup>2</sup>;
- е) голі мідні або алюмінієві провідники при відкритому прокладанні відповідно перерізом 4 і 6 мм<sup>2</sup>;
- є) ізольовані проводи мідні або алюмінієві відповідно перерізом 1,5 і 2,5 мм<sup>2</sup>;
- ж) заземлюючі жили кабелів і багатожильних проводів у спільній захисній оболонці з фазними жилами мідними або алюмінієвими відповідно перерізом 1 і 1,5 мм<sup>2</sup>.

#### **Використання захисних засобів в електроустановках**

44. Для безпечного виконання робіт і операцій під час обслуговування електроустановок потрібно використовувати захисні засоби, їх поділяють на основні й додаткові:

45. Основними захисними ізолюючими засобами в електроустановках до 1000 В є діелектричні рукавички, інструмент з ізолюючими ручками і покажчики напруги, що працюють на принципі протікання активного струму.

46. Додатковими захисними засобами в електроустановках до 1000 В діелектричні калоші, діелектричні гумові килимки та ізолюючі підставки. Наявність у комплекті того чи іншого захисного засобу визначається необхідністю його використання відповідно до правил безпеки.

47. Перед кожним використанням захисного засобу персонал зобов'язаний:

- перевірити його справність і відсутність зовнішніх пошкоджень, почистити і витерти пил; гумові рукавички перевірити, чи немає проколів;
- перевірити за штампом, для якої напруги допустиме використання даного захисного засобу і чи не закінчився термін його періодичного випробування.

Забороляється користуватися захисними засобами, у яких закінчився термін випробування, бо такі засоби вважаються непридатними.

48. Захисні засоби, що перебувають в експлуатації, повинні проходити випробування в такі терміни:

покажчики напруги, що працюють на принципі протікання активного струму,— один раз на рік, напругою 1 кВ протягом 1 хв.; інструмент з ізолюючими ручками— один раз на рік, напругою 2 кВ протягом 1 хв.;

рукавиці гумові діелектричні — один раз на 6 місяців, напругою 2,5- кВ протягом 1 хв.;

калоші гумові діелектричні — один раз на рік, напругою 3,5 кВ протягом 1 хв.

49. Кожна електроустановка повинна забезпечуватися запобіжними плакатами, що попереджують про небезпеку при наближенні до частин, які перебувають під напругою, забороняють оперувати комутаційними апаратами, якими може подаватися напруга на місце відведене для робіт, повідомляють працюючий персонал про місце, підготовлене до роботи, і нагадують про вжиті заходи.

50. Залежно від призначення плакати поділяють на:

- а) застережні — «Під напругою — небезпечно для життя»;
- б) заборонні — «Не вмикати — працюють люди»;
- в) дозволяючі — «Працювати тут»;
- г) нагадуючі — «Заземлено».

Плакати можуть бути постійними й переносними. Переносні треба виготовляти з ізоляційного матеріалу, а постійні — з листового металу або пластичних матеріалів.

51. Для захисту людей, які працюють на вимкнених струмоведучих частинах обладнання або електроустановці, від ураження електричним струмом у разі помилкової подачі напруги на вимкнену ділянку повинне використовуватись переносне заземлення.

52. Проводи для закоротування і для заземлення повинні виготовлятися з гнучких мідних жил і малий переріз не менший за 25 мм<sup>2</sup>.

**Надання першої медичної допомоги потерпілому при ураженні електричним струмом:**

53. Як установлено численними дослідженнями, небезпека електричного струму полягає в тому, що внаслідок проходження через тіло людини фібриляційного струму, зумовленого прикладанням різниці потенціалів, відбувається судорожне скорочення м'язів, у тому числі м'язів, що здійснюють дихальний рух грудної клітки і роботу серця.

Внаслідок порушення нормальної роботи серця або дихання чи того й другого одночасно настає смерть. Фібриляційним струмом, що безумовно, призводить до смертельного ураження людини, вважається струм силою 0,1 А. Сила струму визначається не тільки значенням напруги, а й опором тіла людини в момент догоркування до струмоведучої частини.

54. Сучасні методи оживлення організму передбачають два основних прийоми, які слід застосувати негайно після встановлення факту відсутності дихання і пульсу у потерпілого від ураження електричним струмом:

а) штучне дихання ритмічним вдуванням повітря із свого рота в рот або в ніс потерпілого (10-12 разів за хвилину);

б) підтримання у потерпілого штучного кровообігу неплімим (закритим) масажем серця. Для цього стискають м'яз серця ритмічними натисканнями на передню стінку грудної клітки в її нижній третині (60-70 разів за хвилину). Ні в якому разі не можна натискувати нижче від краю грудини на м'які тканини, цим можна пошкодити розміщені в черевній порожнині органи. Слід також уникати натискання на кінці ребер, бо це може призвести до їх перелому. [25]

При наданні допомоги беруть участь дві особи, у крайньому разі допомогу може надати й одна людина, яка по черзі проводить штучне дихання і масаж серця

***Електробезпека під час виконання окремих робіт.***

55. Напруга електроінструмента і переносних електричних світильників не повинна бути:

- а) вищою за 220 В — у приміщеннях без підвищеної небезпеки;
- б) вищою за 36 В — у приміщеннях з підвищеною небезпечкою і поза приміщеннями.

56. Якщо неможливо забезпечити роботу електроінструмента, що має напругу 36 В, допускається застосовувати електроінструмент на напругу 220 В при наявності пристроїв захисного вимикання або надійного заземлення корпусу електроінструмента з обов'язковим використанням захисних засобів (діелектричні рукавиці, калоші, килимки).

57. Корпус електроінструмента на напругу понад 36 В повинен мати спеціальний затискач для приєднання заземлюючого проводу з розпізнавальним знаком «З» або «Земля».

58. Штепсельні з'єднання, призначені для вмикання електроінструмента і переносних електричних світильників, повинні мати недоступні для доторкування струмоведучі частини і додатковий заземлюючий контакт.

59. у приміщеннях з підвищеною небезпечкою дозволяється застосовувати переносні електричні світильники на напругу не вище за 36 В. У приміщеннях особливо небезпечних і поза приміщеннями дозволяється застосовувати переносні електричні світильники напругою не вище як 12 В.

60. Перевірка на відсутність замикань на корпус і стану ізоляції проводів, відсутності обриву заземлюючої жили (проводу) електроінструмента, переносних електричних світильників, а також ізоляції знижувальних трансформаторів здійснюється мегомметром не рідше як один раз на місяць особою з кваліфікаційною групою не нижчою за III.

61. Перед видачею на руки електроінструмент повинен бути перевірений на стенді або приладом (типу нормометра) щодо справності заземлюючого проводу і відсутності замикання на корпус.

Для приєднання електроінструмента до мережі використовують шланговий провід.

62. Особам, які користуються електроінструментом, забороняється:

- а) передавати електроінструмент іншим особам;
- б) розбирати електроінструмент і виконувати будь-які ремонтні роботи (як самого електроінструмента, так і проводів, з'єднань тощо);
- в) триматися за провід електроінструмента.[25]

## РОЗДІЛ 7

**ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

В результаті виконаних досліджень було встановлено:

1. На корозію арматури впливають добавки до складу бетону золашлаків. Збільшення відсотку золашлаку зменшує корозійні ураження арматури при дії агресивного середовища 3% NaCl.
2. При зростанні відсотку золашлаків від 5% до 15% втрати маси арматури зменшились на 7%.
3. На зменшення витрат металу при збільшенні відсотка золашлаків вказує і час до руйнування зразків. Зразки, що мали більший відсоток золашлаків руйнувались пізніше від зразків з меншою кількістю золашлаків.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Чехов, А. П., & Глушенко, В. М. (1994). Захист будівельних конструкцій від корозії. К.: Вища школа.
2. Байрачний, Б. І., Тупальський, Г. Г., Штефан, В. В., & Токарева, І. А. (2016). Технічна електрхімія. Частина V. Сучасні хімічні джерела струму, електроліз розплавів, електросинтез хімічних речовин. Харків: НТУ «ХП».
3. Плуґін, А. А., Плуґін, А. М., Кагановський, О. С., Градбоев, О. В. (2013). Колоїдна хімія та фізико-хімічна механіка як основа виробництва ресурсозберігаючих мінеральних в'язучих речовин та високоефективних композиційних матеріалів на їх основі. Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту, (138), 4-18.
4. Бондар Л.В., Бондар В.О. Аналіз існуючих методів захисту арматури залізобетонних конструкцій. Деп. 5.07.95 в ДНТБ України, №1673. Ук95.
5. 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.
6. Авторське право на твір. Свідчення про реєстрацію авторського права на твір № 118351 Стаття «Залучення арматурних сталей при виготовленні згинальних залізобетонних елементів прямокутного перерізу за визначених статистичних характеристиках вхідних матеріалів» Автори: Бондар В.О., Бондар Л.В., Попович Н.М. Дата реєстрації 21.04.2023..
7. ДСТУ Б В.2.7-32-95 «Будівельні матеріали. пісок щільний природний для будівельних матеріалів, виробів конструкцій і робіт. Технічні умови»
8. ДСТУ Б В.2.7-71-98 «Щебіль і гравій із щільних гірських порід і відходів промислового виробництва для будівельних робіт. Методи фізико-механічних випробувань»
9. ДСТУ Б В.2.7-273 : 2011 «Вода для бетонів і речинів.Технічні умови»
10. ДСТУ Б В.2.7-188:2009 «Цементи загальнобудівельного призначення — Технічні умови»

11. ДСТУ 3760:2006 Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Технічні умови.
12. Бондар, Л. В., Бондар, В. О., & Попович, Н. М. (2021). Використання конструктивних рішень, будівель і споруд, умов експлуатації при влаштуванні електрохімічного захисту арматури залізобетонних конструкцій. Publishing House "Baltija Publishing".
13. Бондар, В. О., Бондар, Л. В., Горшечина, А. О., & Гроздь, А. В. (2016). Улаштування та розрахунок систем електрохімічного захисту від корозії арматури залізобетонних перекриттів із збірних ребристих плит. ACADEMIC JOURNAL Industrial Machine Building, Civil Engineering, 2(47), 117-124.
14. Стояв П. І., Литовченко С. З., Гірка І. О., Гридича В. Т. Хімічна корозія та захист металів : навчальний посібник : Харків ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2019. 216 с. ISBN 978-966-285-548-7
15. Валовой, О. І., Федовой, М. О., & Сіянос, Б. Г. (2022). Захист металевих будівельних конструкцій від корозії (Doctoral dissertation, Криворізький національний університет).
16. Послідовне та паралельне з'єднання провідників. <http://fizika-otz.ru/index/0-40>
17. В.Г. Поклонський, О.А. Фесенко, В.Г. Тарасюк та ін. Розрахунок залізобетонних конструкцій на вогнестійкість відповідно до Єврокоду 2. Практичний посібник. Київ: Інтертехнологія, 2016. 83 с. ISBN 978-966-97486-0-7 [http://pb.nuczu.edu.ua/images/pnpb/MetodVudavnDiyal/12\\_1.pdf](http://pb.nuczu.edu.ua/images/pnpb/MetodVudavnDiyal/12_1.pdf).
18. Розподіл струму при послідовному з'єднанні провідників. <http://ukrpe.com/plan-konspekti/fizika/2615-poslidovne-z'ednannya-providnikiv.html>.
19. Л.Й. Дворкін. Гідротехнічні бетони : навч. посібник. Київ : Каравела. 2023. 285 с.
20. Виробництво залізобетонних конструкцій і виробів: довідник/ під заг. редакцією Гоца В.І.-К.. Основа, 2019. – 464 с.

21. О. М. Пшінько, М. В. Сафидький, А. М. Зінкевич. Відновлення експлуатаційної придатності бетонних, залізобетонних та кам'яних конструкцій : навчальний посібник. Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Дніпро, 2018. 220 с. ISBN 978-966-8471-86-5  
<https://files.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi71/0051990.pdf>
22. Гоц В. І., Павлюк В. В., Шилук П. С. Бетони і будівельні розчини: підручник Київ. Основа, 2016. 568 с.
23. Охорона праці. Інструкція з охорони праці при експлуатації електростановок до 1000В в установах та закладах освіти.  
[http://otipb.at.ua/load/instrukcija\\_z\\_okhoroni\\_praci\\_pri\\_ekspluatacii\\_elektrostanovok\\_do\\_1000\\_v\\_v\\_ustanovakh\\_ta\\_zakladakh\\_osviti/3-1-0-1812](http://otipb.at.ua/load/instrukcija_z_okhoroni_praci_pri_ekspluatacii_elektrostanovok_do_1000_v_v_ustanovakh_ta_zakladakh_osviti/3-1-0-1812)
24. Потенціал електрохімічної корозії. Схема процесу електрохімічної корозії металів. <http://www.konstanta.kiev.ua/ua/publications/str349/5780>
25. ДСТУ Б В.2.6-145:2010. Захист бетонних і залізобетонних конструкцій від корозії загальні технічні вимоги (ГОСТ 31384-2008, неq)
26. ДСТУ Б В.2.7-112-2002 «Цементи. Загальні технічні умови»
27. ДСТУ Б В.2.7-115:2009 «Бетони. Правила підбора складу»