

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

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

на тему: **«Дослідження міцності та деформативності
залізобетонних конструкцій з локальними
корозійними ураженнями арматури»**

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

Передера Дмитро Костянтинович

Керівник: Біда С.В.

Полтава 2024 року

ВСТУП

Обсяги будівельних конструкцій будівель і споруд, що піддаються агресивним впливам, продовжують збільшуватися.

Великі запаси міцності перших залізобетонних споруд не дозволяли довгий час звернути увагу на явище корозії арматури. Зниження запасів міцності, що супроводжувала вдосконалення методів розрахунку конструкцій, економія цементу, зменшення перерізів застосування залізобетонних конструкцій у виробничих будівлях та агресивними середовищами - все це призвело до того, що почастішали випадки пошкодження конструкцій із звичайного важкого бетону в результат виникнення і розвитку в них процесів корозії арматури.

З кожним роком спостерігається тенденція до підвищення, ступеня агресивного впливу середовищ на залізобетонні конструкції будівель і споруд. Це пов'язують з інтенсифікацією технологічних процесів, збільшенням одиничних потужностей виробництв, із зростаючим фондом експлуатації будівель і споруд, запаси міцності будівельних конструкцій, в яких значно зменшились внаслідок дії корозійних середовищ, широким застосуванням в будівництві конструкцій, що володіють меншою корозійною стійкістю (поперечно напружених, тонкостінних конструкцій з високоміцною арматурою та інші).

Бетон, що має неоднорідну структуру, є провідником 2-го роду, тому процес корозії арматури в ньому можна розглядати з позиції звичайної електрохімічної теорії корозії в електролітах. Однак бетон як корозійна середовище має ряд особливостей, не характерних для електролітів. Крім того, локальний характер діючих середовищ викликають електрохімічну гетерогенність поверхні арматури, що в макромасштабі призводить до утворення макрогальванічних пар з високими густинами корозійних струмів на анодних ділянках і локальної її корозії.

Необхідність у врахуванні впливу локальних уражень арматури залізобетонних конструкцій виникає тоді, коли треба прийняти рішення і визначити види, обсяги і час виконання робіт з антикорозійного захисту, відновлення і зміцнення конструкцій. Зокрема, при реконструкції або ремонту об'єкта, що проводяться в декілька етапів, коли потрібно встановити, чи пошкоджена конструкція експлуатуватися в заданих умовах з заданою надійністю до наміченого терміну; коли при реконструкції передбачається зменшити розрахункові навантаження на дану конструкцію і потрібно встановити, чи достатній утворився "запас" для експлуатації із заданою надійністю протягом даного періоду часу, якщо в процесі експлуатації змінився характер або інтенсивність агресивних впливів та ін.

Тому дослідження впливу локальних корозійних уражень на міцність та деформативність арматури є актуальною.

РОЗДІЛ 1

ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Основні уявлення про умови і механізм корозії арматури в бетоні

Для виготовлення залізобетону використовується арматурна сталь, яка являє собою твердий розчин заліза з вулицем з домішкою деяких елементів.

У зв'язку з цим при зануренні арматурної сталі в розчин електроліту в силу наявності в ній фізичних неоднорідностей на її поверхні виникає безліч мікроелементів, що складаються з анодів і катодів, які займають певну площу.

Крім мікроелементів у арматурній сталі залізобетонної конструкції можуть утворитися пари неодинаковою аерації, неодинаковою лужності (концентраційні пари), пари різниці напруги. Можуть з'являтися і макроеlementи, в яких анод і катод віддалені один від одного на значні відстані.

Гістича потенціалів між анодом і катодом з врахуванням омичного опору внутрішньої ланцюга елемента визначає швидкість корозійного процесу.

Анодний процес на поверхні арматурної сталі при її корозії в бетонах згідно із загальновідомими положеннями теорії корозії металів, являє собою реакцію окислення заліза (перехід іонів двовалентного заліза у водний розчин із звільненням двох електронів):



Дослідженнями встановлено, що катодна реакція в процесі корозії арматурної сталі в бетоні при наявності сильно лужного середовища

протікає з кисневою деполяризацією. Відбувається відновлення кисню з перетворенням його в присутності води в іон гідроксиду



Розрахунки показують, що найбільш термодинамічною стійкими продуктами корозії в лужних середовищах є: Fe_2O_3 ; Fe_3O_4 ; $\text{Fe}(\text{OH})_2$; $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

Корозія арматурної сталі в бетоні електрохімічна за характером і залежить як від властивостей арматурної сталі, так і від властивостей і структури бетону, а також від характеру навколишнього середовища, в якому працює конструкція (рис. 1.1) [1, 2].

Перші фундаментальні дослідження, пов'язані з вивченням корозії арматури залізобетонних конструкцій виконані Александровим Г. А., Москвіним В. М., Мощанським Н.А. Основоположні дослідження корозійного стану арматури проводилися Алексєєвим С. Н., Аргамоновим В. С., Батраковим В. Р., Ратіновим В. Б., та ін.

Вивченням умов протікання корозійних процесів на поверхні арматури в бетоні займалися Бабушкін В. І., Мокряцька М. П., Мchedlov Петросян О. П. . Вивчення довговічності бетонних і залізобетонних конструкцій транспортних споруд присвячені роботи Іванова Ф. М., Старосільського А. А., Шестопова С. В. [3-5].

Механізм корозії сталевих арматур в бетоні з тріщинами висвітлені в статтях Алексєєва С. Н., Москвіна В. М., Новгородського В. І., Лузєєва Б. А.

Рис. 1.1. Властивості бетону і діючого середовища, вплив на корозію арматурної сталі

Урачуванням впливу напруженого стану на швидкість корозійного руйнування займався Овчинников В. Р. [10, 11, 12]. Вивченням механізму дії стимуляторів корозії арматури в бетоні займається Енишерлов С. Б. [13, 14], Бесков С. Д. Руйнування при циклічному впливі середовища вивчені

Підвальним А. М. Вербицьким Р. П. вивчив міцність і довговічність конструкцій із залізобетону у водному середовищі. Рябчик В. Ф. досліджував довговічність будівельних конструкцій в умовах промислової атмосфери [15,16].

Велика кількість друкованих робіт призначених питанням корозійного стану арматури в залізобетонних конструкціях видано за кордоном [17]. Відзначається складність вивчення процесу корозії арматури залізобетонних конструкцій зважаючи на велику кількість параметрів, які впливають на розвиток руйнувань.

Корозійна стійкість арматури при дії агресивних середовищ на конструкцію значною мірою визначається проникністю бетону.

Найбільша площа ураження арматури відзначена в найменш щільному бетоні [18].

Проникність бетону зумовлена його структурою, показниками якої є величина пористості, форма і характер розподілу пор за розмірами. Загальний обсяг пор, доступний для заповнення рідиною, відкрита пористість, визначають співвідношення між обсягами агресивного середовища і цементним каменем у бетоні.

Бетон можна представити у вигляді неоднорідного гетерогенного тіла, що складається з неоднорідної фази - пористого цементного каменю, втоплених в нього наповнювачів різної форми, розміру і рельєфу поверхні, а також численних мікро - і макропустот, розташованих як в цементному камені, так і в контактах між цементним каменем і наповнювачем.

При цьому на структуру неоднорідності цементного каменю накладаються фактори неоднорідності макроструктури залізобетонних конструкцій, обумовлені технологією виготовлення конструкцій та умовами їх роботи. Каверни неоднорідного ущільнення, мікротріщини усадочного

або силового походження - неминучі супутники технології виготовлення залізобетонних конструкцій.

Одним з негативних наслідків порової структури бетону є його карбонізація.

Для конструкцій, що стикаються з повітрям, карбонізація є найбільш загальним процесом, який веде до втрати бетоном захисних властивостей по відношенню до арматури.

Максимальна швидкість проникності вуглекислого газу досягається при вологості повітря 50-70%.

За даними Н.К. Розенталя [19, 20, 21] карбонізація призводить до зниження рН до 9. При зниженні рН корозія стає більш інтенсивною, внаслідок збільшення розчинності захисної оксидної плівки на арматурі. Втрата металу в карбонізованому бетоні в атмосфері вологістю 90% за рік - 56 г/м², а глибина ураження досягає 0,07 мм. За розрахунками Н. Д. Розенталя і Л. А. Бандаловської глибина карбонізації бетону збільшується зі збільшенням водоцементного відношення. Глибина карбонізації обернено пропорційна витраті цементу.

Вимоги до бетону, співвідношення між карбонізацією бетону і корозією арматури стали предметом досліджень також і зарубіжних фахівців [22, 23, 24].

На дефекти бетону, як одну з причин корозії арматури, звернено увагу в роботі [25]. Погане ущільнення бетону, утворення щілин призводить до вимивання з пор і щілин компонентів і бетон втрачає свої захисні якості по відношенню до арматури.

Вологий стан бетону справляє вирішальний вплив на швидкість корозії арматури залізобетонної конструкції. Бетон може мати різні щільність і вологість, від чого залежать такі його властивості: омичний опір,

дифузійна проникність, і т. д. При відносній вологості повітря понад 80% корозія арматури в бетоні обмежена катодним процесом, тобто швидкістю надходження кисню до поверхні арматури. Найбільш повільною стадією, при цьому, є дифузія кисню до катода.

Іншою поширеною причиною корозії арматури в бетоні є активуючу дію деяких аніонів (Cl^- , SO_4^{2-}), яке пов'язане з пористістю бетону. В лужних електролітах вони адсорбуються на поверхні арматури, що перешкоджає адсорбції гідроксил-іона і призводить до порушення пасивного стану сталі. Корозія сталі в присутності хлоридів обумовлена місцевим руйнуванням захисної окисної плівки на поверхні металу. При наявності хлор-іонів в лужному розчині замість щільного захисного шару гідроокису заліза утворюється хлористе залізо, яке не створює захисної плівки. Руйнування захисної плівки на окремих ділянках обумовлює утворення корозійних пар, у яких активна ділянка є анодом, а ділянка, що має захисну плівку – катодом. Навіть невеликий вміст хлористого натрію у витяжці (10-100 мг/л) істотно зменшує електродний потенціал сталі і її анодну поляризацію.

Хлориди, як правило, викликають виразкову корозію сталі в бетоні.

Виразки є концентраторами напружень, які у високоміцних сталях з підвищеною пластичністю повільно релаксуються, що призводить до прискорення корозії і часто катастрофічної втрати пластичності та міцності цих сталей при високих розтягуючому напруженні. Випадки обвалу таких конструкцій із-за корозії арматури, викликаної хлоридами, описані в літературі.

Відомо, що загальна корозія напруженого металу може йти швидше, ніж ненапруженого. Вважається, що вплив напружень нижче межі текучості на корозію сталі незначно, так як при цьому електродіємний стан поверхні змінюється мало (зсув потенціалу становить 2-3 мВ). Помітний вплив напружень на рівні межі текучості і вище пов'язано з руйнуванням

природних захисних оксидних плівок і суттєвим розблагороджуванням поверхні сталі.

Під впливом напружень, що становить 70% межі текучості міцності сталі, електродний потенціал арматури в насиченому розчині $\text{Ca}(\text{OH})_2$, 2%-му розчині NaCl в бестоні знижується на 68-100 мВ. Зміна потенціалів сталі в насиченому розчині $\text{Ca}(\text{OH})_2$ з додаванням до нього 2% CaCl_2 показано на рис. 1.2.

Рис. 1.2 Зміна потенціалів поверхні напруженої (1) і ненапруженої (2) арматури струму (3) в насиченому розчині $\text{Ca}(\text{OH})_2$ з додаванням 2% CaCl_2

1.2 Типи корозійних руйнувань арматури в бетоні та існуючі методи їх оцінки

Корозійні руйнування арматури в бетоні залежать від механізму протікання процесу і виду агресивного середовища [20].

Загальна (суцільна) корозія охоплює всю поверхню металу і може бути рівномірною і нерівномірною. Місцева корозія охоплює окремі ділянки поверхні металу. Місцева корозія може призводити до утворення виразок, які мають вигляд раковин. Корозія виразками характеризується тим, що досить глибокі ураження локалізуються на обмеженій площі, а діаметр поразок приблизно дорівнює глибині проникнення.

Як правило, місцеві типи корозії і нерівномірна суцільна корозія при значній різниці швидкостей корозії на окремих ділянках становить значно більшу небезпеку, ніж загальна суцільна рівномірна корозія.

Якщо руйнування зосереджені в окремих точках (діаметр поразки менше глибини проникнення) то це точкова (піттингова) корозія.

Стан піттингової корозії арматури спостерігається при порушенні пасивності її поверхні хлорид-іонами. Вони можуть потрапляти в бетон різними шляхами і, якщо їх зміст перевищує певний рівень, викликає піттингову корозію сталі. Такий корозійний стан характеризується утворенням гальванічних пар з великими пасивними поверхнями сталі, діючими як катод, і малими анодними виразками, всередині яких підтримується висока концентрація хлориду і знижене значення рН.

До вибіркової корозії відносять міжкристалічну корозію. Вона характеризується вибіркоким руйнуванням по границях кристалів (зерен) металу. Цей вид корозійного ураження особливо небезпечний тим, що метал втрачає міцність та деформаційні властивості без помітної зміни

зовнішнього вигляду поверхні. До міжкристалічної корозії схильна високоміцна арматура.

Для оцінки корозійної стійкості арматури в бетоні найбільш часто застосовують показник зміни маси, який обчислюється за формулою:

$$K_m = \frac{m_0 - m}{S \cdot \tau} \quad (1.3)$$

де m_0 - маса зразка металу до поміщення в корозійну середовище;

m - маса зразка після витримки в корозійному середовищі і видалення продуктів корозії;

S - площа поверхня кородуючого металу;

τ - тривалість перебування металу в корозійному середовищі.

При електрохімічній корозії між швидкістю корозії, яка визначається по зміні маси і струмовим показниками корозії, існує наступна залежність:

$$i = K_m \cdot \frac{n}{A} \cdot 26.8 \cdot 10^{-4} \quad (1.4)$$

де n - валентність іона металу, що переходить у розчин;

A - атомна маса металу;

26,8 - постійна Фарадея А·ч.

Глибинний показник корозії (проникнення корозії) K_g являє собою глибину (середню або максимальну) корозійного руйнування в одиницю часу (наприклад, мм/рік).

$$K_g = K_m \cdot 8,76 / \rho_m \quad (1.5)$$

де ρ_m - щільність металу.

Швидкість корозії, що визначається за одним із розглянутих вище кількісних показників, є її середньою швидкістю за час τ .

Стосовно до нерівномірного суцільною і особливо місцевої корозії ваговий показник недостатньо ефективно оцінює пошкодження арматури. Більше того, для виразкової, піттингової корозії цей показник взагалі неприйнятний, так як він не враховує локального характеру руйнування металу, а значить не дозволяє отримати достовірну оцінку його довговічності. При оцінці впливу нерівномірної корозії на міцність арматури врахування геометричного зменшення перетину її має першорядне значення.

Такою оцінкою найчастіше служить або середня глибина проникнення корозії, або максимальна глибина корозійного ураження.

Однак такий підхід не дозволяє судити про розподіл всіх корозійних уражень на арматурі. Як вихід з положення при оцінці корозійного пошкодження металів в умовах нерівномірної корозії розробляються досконаліші методи. Уліг Г. [21] для характеристики піттингової корозії, пропонує використовувати піттинг - фактор. За величиною цей фактор являє собою відношення глибини самого глибокого піттингу до середньої швидкості корозії, яка визначається за втратою маси зразка і вираженої в мм/рік. При рівномірній корозії піттинг-фактор дорівнює 1.

Враховуючи імовірнісний характер піттингової корозії запропоновано корозійну стійкість металів, схильних до піттингу, оцінювати по щільності розташування піттингових їх глибині.

Для кількісної оцінки корозійної стійкості арматури іноді вдаються до використання будь-якої властивості або характеристики металу, які істотно і закономірно змінюються при корозії. Так, міжкристалічну корозію можливо оцінити за відносною зміною механічних (міцності) або фізичних (електрична провідність) властивостей.

Зміна маси арматури може бути пов'язане із зміною її перерізу. При відомій швидкості рівномірної корозії такі розрахунки можуть бути легко виконані за формулою:

$$\Delta S = \frac{A_0 - A}{A_0} \cdot 100\% \quad (1.6)$$

де ΔS - втрата площі перерізу арматурою в %;

A_0 , A - початкова і кінцева площа перерізу, відповідно.

На рис. 1.3 наведені графіки, що характеризують втрати площі перерізу арматури при корозії. Однак відомо, що передбачувана такими розрахунками рівномірна втрата перерізу зустрічається інколи і не відображає реальних корозійних процесів.

Однією з корозійних характеристик арматурних стержнів може служити залежність втрати перерізу арматури від товщини шару продуктів корозії [22] (рис. 1.4), де втрата площі перерізу майже в прямій залежності від товщини шару продуктів корозії на арматурі.

Однак поверхня арматури далеко не завжди піддається рівномірній атаці агресивного середовища, так званої загальної корозії. Нерідко процес виявляється зосередженою на окремих, іноді певних ділянках, і руйнування носить яскраво виражений локальний характер. В цьому випадку величина корозійних втрат, тобто кількість утворених продуктів корозії, не може слугувати мірою небезпеки корозії.

На підставі [19] встановлено, що для оцінки кінетики рівномірного зносу сталевих стержнів в залізобетоні можливо прийняти наступну ступеневу функцію:

$$h_k = k \cdot \sqrt{t}, \quad (1.7)$$

де h_k - глибина проникнення корозії, мм;

k - емпіричний коефіцієнт;

t - термін служби споруди, років.

Значення k прийнято різним: для неагресивних середовищ - 0,075; для слабоагресивних середовищ - 0,15 - 0,3; для середньоагресивних середовищах - 0,5.

Рис. 1.3 Втрати площі перерізу арматури при корозії

Рис. 1.4 Залежність втрати площі перерізу арматури різного діаметру від товщини шару продуктів корозії.

В роботі [23] запропонована наступна залежність, що описує розвитку корозійних пошкоджень арматури залізобетонних конструкцій.

$$\Phi = \Phi_0 \cdot (1 - 0,25\sqrt{k \cdot t}), \quad (1.8)$$

де Φ_0 - початкова площа перерізу арматури;

k - коефіцієнт агресивності середовища по відношенню до арматури.

В роботі [24] наведена залежність, що дозволяє визначити глибину корозії арматури при закінченні пасивуючої дії захисного шару бетону:

$$\delta = \Delta \left[(\tau - \tau_{ab}) + (\tau_{ab} - \tau_0) \cdot e^{-(\tau - \tau_0)/(\tau_{ab} - \tau_0)} \right], \quad (1.9)$$

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

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

τ_0 - час карбонізації захисного шару бетону;

τ - час експлуатації.

Складність розрахунку за формулою (1.9) полягає у необхідності визначення великого числа змінних параметрів.

В роботі [25] встановлено залежність ступеня корозії робочої арматури від ширини розкриття поздовжніх тріщин (рис. 1.5), яка описується регресивною кривою:

$$\Delta d = 1,22 + 0,099a_T + 0,027a_T^2. \quad (1.10)$$

Рівняння регресії отримано методом найменших квадратів за результатами натурних обстежень плит покриття. Величина теоретичного кореляційного відношення $r=0,96$ дозволила зробити висновок про тісний зв'язок між досліджуваними параметрами.

В роботі [26] пропонується для бетону будівельних конструкцій, що експлуатуються в складних агресивних умовах, багатопараметрична оцінка корозійного стану, що дозволяє вибрати параметри, що забезпечує необхідну стійкість.

Однак слід визнати, що номенклатура параметрів (характеристик міцності структурні, хімічні) ускладнюють використання цього методу.

Рис. 1.5 Залежність товщини шару корозії від ширини розкриття горизонтальних щілин.

Китайськими вченими [27] зроблена спроба розрахувати довговічність залізобетонної конструкції з урахуванням корозійних процесів на арматурі. Модель враховує час депасивації і корозії арматури, а також руйнування зв'язків між бетоном та арматурою.

Математична модель корозії арматури в бетоні, описана в роботі [28], виведена на основі дифузійних рівнянь з балансу маси, балансу електричного заряду, енергетичного балансу, з урахуванням нерівності ентропії.

Безпека роботи несучих залізобетонних конструкцій із локальними ураженнями арматури може будуватись лише на чітких уявленнях про вплив таких уражень на її міцність і деформативність.

Врахування можливої роботи з корозійними ураженнями арматури в певному вигляді закладено в нормах проєктування залізобетонних конструкцій у вигляді коефіцієнтів умов роботи, коефіцієнтів надійності, при проєктуванні перearмованих конструкцій та інше.

1.3 Врахування в розрахунках залізобетонних конструкцій корозії арматури.

В роботі Бондаренка В.М. [29] розглянуто метод розрахунку залізобетонних балкових конструкцій, які зазнали корозійних пошкоджень. Традиційно з умов рівноваги перерізів знаходиться висота стиснутої зони пошкодженого перерізу

$$x = \omega_s \cdot x_0 + \frac{\delta + Z^*}{2},$$

де $\omega_s = A_s/A_{s0}$ – коефіцієнт, що враховує пошкодження робочої розтягнутої арматури;

A_{s0} – вихідна площа поперечного перерізу арматури;

A_s – та ж після корозійного пошкодження;

δ – глибина пошкодження бетонної поверхні;

Z^* - глибина повного руйнування поверхні бетону,

x_0 – вихідна висота стиснутої зони бетону.

Величина руйнівного моменту для пошкодженого залізобетонного елемента прямокутного перерізу визначається за формулою:

$$M_{np} = b \left\{ \frac{1}{2} (\delta - Z^*) \left\{ n_c - \left[Z^* + \frac{2}{3} (\delta - Z^*) \right] \right\} + (x - \delta) \left\{ h_0 - \left[\delta + \frac{1}{2} (\delta - Z^*) \right] \right\} \right\} R,$$

де b – ширина перерізу.

Запропонований метод дозволяє розрахувати залишкову після корозійних уражень міцність і жорсткість перерізів залізобетонних елементів. Але при відомих пошкодженнях арматури та бетону.

В роботах Клевцова В.А. [30], Спригіна В.М. [31] при перевірці розрахунках несучої здатності, деформацій балкових залізобетонних конструкцій, вплив корозії арматури пов'язують тільки з умовами зчеплення арматури з бетоном.

В роботах Vian [32], Jones [33], Broomfield [34], що присвячені розрахунку несучої здатності поперечних перерізів залізобетонних елементів із ураженою корозією арматурного, проблемним залишається визначення втрат перерізів арматури.

Таким чином, при розрахунку міцності, напружено-деформованого стану, деформацій балкових залізобетонних конструкцій, що працюють в умовах дії агресивного середовища, більш враховуються деструктивні характеристики бетону, а корозія арматури представлена емпіричними залежностями, які мають наближений характер.

В роботі [37] розрахункове зусилля в арматурному стрижні з одностороннім локальним ураженням пропонується визначати за формулою:

$$N = \delta \cdot A_s \cdot R_s \quad (1.11)$$

де δ – ступінь зменшення міцності стрижня;

A_s – площа перерізу арматури в місцях уражень;

R_s – розрахунковий опір арматури.

Балки з пошкодженнями арматурою руйнувалися при значно менших прогинах, ніж балки з непошкодженою арматурою (рисунк 1.6). Характерною рисою виявилось те, що всі балки з пошкодженою арматурою незалежно від глибини і форми пошкоджень як при статистичних, так и при динамічних навантаженням руйнувались з обривом розтягнутої арматури як слабоармований елементи. Розкриваючи механізм руйнування зразків з пошкодженою арматурою, варто відмітити, що при значенні в перерізі моменту, близького до моменту тріщинотворення, в розтягнутій зоні бетону утворюються дрібні тріщини. При подальшому збільшенні навантаження інтенсивно розкриття тріщин відбувається в перерізах з односторонніми пошкодженнями арматури, в інших перерізах розкриття тріщин майже припиняється. Спостерігається концентрація деформацій в перерізах з пошкодженою арматурою. Руйнування елементів супроводжувалось ривком арматури при гранично допустимих розкриттях тріщин, в той час як прогини не досягали максимальних значень. Випернення несучої здатності відповідало моменту появи тріщин з граничною величиною розкриття.

Рисунок 1.6 – Графік залежності M при різній глибині пошкодження арматури.

Огляд сучасних уявлень про корозію арматури та вплив даного явища на її міцність та деформативність вказує на те, що дані процеси ще недостатньо вивчені. Це можна пояснити тим, що нормативними документами не передбачалася експлуатація конструкцій з ураженою арматурою.

РОЗДІЛ 2

МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

Мета роботи:

Дослідити вплив локальних корозійних уражень арматури залізобетонних конструкцій на її міцність та деформативність.

Об'єкт досліджень:

Арматура з локальними корозійними ураженнями.

Предмет дослідження:

Міцність та деформативні характеристики арматури з локальних ураженнями.

Задачі досліджень:

- 1) розробити методику експериментальних досліджень;
- 2) провести випробування на розрив арматурних стрижнів та стрижнів під бетонним покриттям із локальними корозійними ураженнями;
- 3) оцінити вплив втрати площі перерізу, ширини уражених ділянок, бетонного покриття на міцність та деформативність арматурних стрижнів;
- 4) отримати аналітичні залежності, що зв'язують деформативні властивості розтягнутої арматури з характеристиками її локальних корозійних уражень;
- 5) сформулювати висновки.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Експериментальні дослідження склалися з двох етапів. На першому етапі оцінювалися механічні характеристики локально ураженої арматури без бетонного покриття, на другому – з бетонним покриттям.

Для досліджень на першому етапі використані фрагменти арматурних стрижнів гладкого та періодичного профілю. Повна довжина стрижнів обрана залежно від необхідної робочої довжини стрижня і конструкції захвату випробувальної машини і складала 500 мм. Стрижні арматури гладкого профілю А-240С мали номінальний діаметр 6, 8, 16 мм. та арматура періодичного профілю класу А-500СН – 8, 16 мм. Всього було підготовлено 20 стрижнів.

Локальні корозійні враження були утворені механічним шляхом шириною 0,5; 1; 1,5; 2 мм. На кожну ширину ділянок виготовлено 5 стрижнів і 5 стрижнів без уражень. Загальний вигляд дослідних стрижнів приведений на рис. 3.1.

Рис. 3.1 Загальний вигляд дослідних стрижнів

Характеристики арматурних стрижнів приведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Характеристика арматурних стрижнів

Шифр стрижня	Початкова площа перерізу A_s^n , мм ²	Ширина локально ураженої ділянки a , мм	Глибина корозії h , мм	Кінцева площа перерізу, A_s^k , мм ²	Втрати площі перерізу, ΔA_s , мм ²	Відносні втрати площі перерізу, $\Delta A_s / A_s^n$	Відсоток втрати площі перерізу, %
1	2	3	4	5	6	7	8
Діаметр 6 мм гладкий профіль							
C6.0,5							
C6.1							
C6.1,5							
C6.2							
Діаметр 8 мм гладкий профіль							
C8.0,5							
C8.1,0							
C8.1,5							
C8.2,0							
Діаметр 16 мм гладкий профіль							
C16.0,5							
C16.1,0							
C16.1,5							
C16.2,0							
Діаметр 8 мм періодичного профіль							
C8п.0,5							
C8п.1,0							
C8п.1,5							
C8п.2,0							
Діаметр 16 мм періодичного профіль							
C16п.0,5							
C16п.1,0							
C16п.1,5							
C16п.2,0							

Аналогічно були підготовані арматурні стрижні під бетонним покриттям довжиною 500 мм. з локальними ураженнями посередині довжини, котрі відповідали втратам площі 25% і 50%, на ширині уражень 0,5 і 2 мм.

В заформовані із бетону класу C16/20 зразки розміром 300x40x40 мм по центру вкладали підготовлені уражені стрижні. З обох торців призм оголені арматурні стрижні виступали на 100 мм. Для ущільнення всі зразки підлягали вібраванню на протязі 10-12 секунд. Після розгалублення зразки зберігались у

прохолодному приміщенні з підвищеною вологістю без доступу сонячного світла до набуття бетоном необхідної міцності. Всього було підготовано 20 зразків-призм. На рисунку 3.2 – 3.3 показаний загальний вид зразків-призм зі стрижнями діаметром 6 мм гладкого профілів та 8 і 16 мм гладкого та періодичного профілів. З даного складу бетону паралельно було виготовлено зразки-кубики 100х100х100 мм, які після набуття необхідної міцності, випробовувались на стиск. Середня міцність на стиск зразків-кубиків була 25 МПа.

Рис. 3.2 Загальний вигляд окремих зразків-призм

Рис. 3.3 Загальний вигляд окремих зразків-призм

Характеристики арматурних стрижнів під бетонним покриттям наведені в таблиці 3.2

Таблиця 3.2

Характеристика арматурних стрижнів в бетонних зразках

Шифр стрижня	Початкова площа перерізу $A_s^{\text{н}}$, мм ²	Ширина локально ураженні ділянки а, мм	Середня глибина корозії, h, мм	Кінцева площа переріз, $A_s^{\text{к}}$, мм ²	Втрати площі перерізу, ΔA_s , мм ²	Відносні втрати площі перерізу, $\Delta A_s / A_s^{\text{н}}$	Відсоток втрати площі перерізу, %
1	2	3	4	5	6	7	8
Діаметр 6 мм гладкий профіль							
Б6.0,5 ²⁵							
Б6.0,5 ⁵⁰							
Б6.2,0 ²⁵							
Б6.2,0 ⁵⁰							
Діаметр 8 мм гладкий профіль							
Б8.0,5 ²⁵							
Б8.0,5 ⁵⁰							
Б8.2,0 ²⁵							
Б8.2,0 ⁵⁰							

Продовження таблиці 3.2							
1	2	3	4	5	6	7	8
Діаметр 16 мм гладкий профіль							
Б16.0,5 ²⁵							
Б16.0,5 ⁵⁰							
Б16.2,0 ²⁵							
Б16.2,0 ⁵⁰							
Діаметр 8 мм періодичний профіль							
Б8п.0,5 ²⁵							
Б8п.0,5 ⁵⁰							
Б8п.2,0 ²⁵							
Б8п.2,0 ⁵⁰							
Діаметр 16 мм періодичний профіль							
Б16п.0,5 ²⁵							
Б16п.0,5 ⁵⁰							
Б16п.2,0 ²⁵							
Б16п.2,0 ⁵⁰							

Арматурні стрижні і стрижні під бетонним покриттям підлягали розтягу до повного руйнування. Універсальна машина УІМ-50 призначена для статичних короточасних і тривалих випробувань матеріалів на розтяг, стиск, вигин і загин впритул.

Власне машина є двоколоною вертикальною машиною з гідравлічним приводом переміщення рухомої траверси і з механічним приводом нижнього захоплення.

Кінематично власне машина являє собою дві парні рами, з яких одна — нерухома, а інша — рухома.

Основні данні.

- найбільша статичне навантаження, тс:
 - короткочасна – 50;
 - тривалодіюче – 25.
- точність вимірювань в % від вимірюваного навантаження – ± 1 ;
- Габаритні розміри, мм:
 - довжина2500
 - ширина 1020
 - висота.....3640
- Вага к...3010

Пульт управління — оснащений кнопки і рукоятки, з гідравлічним пристроєм для автоматичної підтримки постійного тиску (навантаження), автоматичним обмеженням шляху руху нижнього захоплення і автоматичним обмеженням максимуму навантаження за шкалами перевантаження насоса по тиску.

При проведенні випробувань витримувались наступні вимоги: надійне центрування зразка, плавність завантаження. Середня швидкість навантаження при випробуванні до межі плинності була не більше 10 МПа в секунду; за межею плинності швидкість навантаження збільшувалась так, щоб швидкість переміщення рухомого захвату машини не перевищувала 0,1 робочої довжини стрижня за хвилину. Шкала силоміру випробувальної машини не перевищувала п'ятикратного очікуваного значення найбільшого завантаження для арматурного стрижня. Конструкція захватів випробувальної машини виключала можливість повороту кінців каната навкруги осі стрижня.

Випробування велися до розриву кожного із стрижнів. Для запису діаграми розтягування на барабані автоматичного самописного приладу закріплюють міліметровий папір і встановлюють масштаби навантаження і деформацій. Після встановлення стрілки шкали силоміру машини на нуль, включають її двигун і випробовують зразок до розтяг до повного руйнування.

Перед випробуванням стрижні за довжиною розмічались на рівні частини. Відстань між мітками була прийнятою 10 мм. В якості поперечного розрахункового перерізу був прийнятий переріз в місцях уражень корозією.

Межа пружності та межа міцності визначалася безпосередньо за машинною діаграмою.

Слідуючи значні місцеві деформації, окремо виділялись деформації арматурних стрижнів в місцях локального ураження на центральній ділянці. Деформації на даній

РОЗДІЛ 4

ХАРАКТЕРИСТИКА ВИХІДНИХ МАТЕРІАЛІВ

4.1 Арматурні стрижні

Для досліджень використані фрагменти арматурних стрижнів гладкого (A-240C) та періодичного (A-500CH) профілю.

Арматура класу A-240 – це стрижень з гладкою поверхнею. Її витягають з допомогою технологій холодного виготовлення. Була використана арматури гладкого профілю діаметром 6 – 16 мм. Її застосовують для складання невеликих залізобетонних конструкцій зі слабкою напруженістю (рис 4.1).

Арматура класу A-500CH – це особливий вид арматури, який має більш сучасні технічні характеристики. Данна арматура виготовлена гарячекатаним методом із сталей із чистьким вмістом вуглецю, має поперечні виступи серповидної форми, які не з'єднуюватися з поздовжніми виступами (рис 4.2)

Рис. 4.1 Арматура гладкого профілю

Рис. 4.2 Арматура періодичного профілю

Механічні властивості арматури представлені в таблиці 4.1

Таблиця 4.1

Механічні властивості

Клас арматури	Тимчасове опір розриву, σ_B Н/мм	Умова (фізична), межа текучості $\sigma_{0.2}$, (σ_T), Н/мм ²	Відносне подовження після розриву, δ_5 , %	Повне відносне подовження при максимальній навантаженні,	Початковий модуль пружності $E \times 10^{-4}$, Н/мм ²
---------------	--	---	---	--	---

				$\delta_{max}, \%$	
A-240C					
A-500CH					

Хімічний склад використаних арматурних сталей представлений у таблиці 4.2

Таблиця 4.2

Хімічний склад арматурних сталей

Клас арматури	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	N	As	Ti	B	Al
A-240C D=16mm.													
A-240C D=8mm.													
A-240C D=6mm.													
A-500CH D=16mm.													
A-500CH D=8mm.													

4.2 Дрібнозернистий бетон

Дрібнозернистий бетон відноситься до групи важких бетонів. Матеріал являє собою штучний камінь і призначений для виготовлення тонкостінних конструкцій, укладання дорожнього полотна, зведення монолітних будівель, для створення тротуарної плитки та інших виробів.

Для виготовлення арматурних стрижнів під бетонним покриттям використовувався дрібнозернистий бетон класу C16/20, який готувався на портландцементі марки 500. У віці 28 діб бетон повинен мати міцність на стиск 25 МПа $\pm 4,3\%$ згідно ДСТУ Б В.2.7-43-96 «Будівельні матеріали бетони важкі технічні умови». Був прийнятий наступний склад бетону на 1м³ суміші згідно ДСТУ Б В.2.7- 2009 «будівельні матеріали бетони правила підбору складу»: портландцемент – 380 кг, пісок – 600 кг, щебінь дрібнозернистий 1300 кг, води

– 180 л. Приготування бетонної суміші проводилось вручну зі старанним перемішуванням на протязі 25 хвилин.

Паралельно з формуванням зразків-призм було заформовано 3 бетонні зразка-кубика розміром 100х100х100 мм та були випробувані у віці 28 діб. Результати випробувань занесені до таблиці 4.3

Таблиця 4.3

Результати випробувань бетонних зразків-кубиків

№ зразка-кубика	Геометричні розміри, см	Об'єм, см ³	Маса, г	Середня густина, г/см ³	Міцність бетону на стиск σ , МПа
1					
2					
3					
Середн. ариф. знач.		976,67	2280	2,33	25,46

4.2.1 Портландцемент

Для приготування бетонної суміші марки С16/20 було використано портландцемент М500 з наступними характеристиками таблиці 4.4

Таблиця 4.4

Технічні характеристики портландцементу марки М500

Найменування	Портландцемент
Марка на міцність при стиску на 28-му добу	
Швидкість твердіння	
Нормування складу клієнту	
Нормативний документ	
Вид мінеральної добавки і її кількість	
Міцність при стиску у віці 3-х діб, МПа	
Міцність при стиску у віці 28-ми діб, МПа	
Початок тужавіння (хв) не раніше	
Межа міцності при згині у віці 28-ми діб, МПа	

Портландцемент марки 500 застосовується для виробництва високоміцних бетонів, зимового бетонування та інших робіт, забезпечуючи високі темпи будівництва.

Властивості портландцементу:

- висока рання міцність;
- висока стандартна міцність;
- висока морозостійкість
- висока тріщиностійкість
- високе тепловиділення при твердінні

4.2.2 Заповнювачі

Для приготування бетонних сумішей було застосовано дрібний щебінь згідно ДСТУ Б В.2.7-75 -98 «Щебінь і гравій щільні природні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови»; пісок згідно з ДСТУ Б В.2.7-32 «Пісок щільний природний для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови»; водопровідна вода ДСТУ Б В.2.7-273 «Вода для бетонів і розчинів. Технічні умови». Характеристики заповнювачів були визначені дослідним шляхом, та наведені в таблицях 4.5 – 4.8.

Таблиця 4.5

Зерновий склад

№	Показник	Розміри отворів сит, мм					Пройшло крізь сито
		2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	
1	Часткові залишки, г						
2	Часткові залишки, %						
3	Повні залишки, %						
4	Вимоги за ДСТУ			< 10 %			

Модуль крупності піску – 1,03 (пісок відноситься до дуже дрібних)

Таблиця 4.6

Насипна густина сухого піску

№	Вид випробувань	Об'єм	№1	№2	Сер. ариф. Значення
1	маса посудини				
2	маса піску з посуд.				
3	об'єм посудини				
4	маса піску				
5	густина піску				

Таблиця 4.7

Насипна густина щєбеню

№	Вид випробувань	Од. вим.	№1	№2	Сер. ариф. Значення
1	маса посудини				
2	маса щєбеню з посуд.				
3	об'єм посудини				
4	маса щєбеню				
5	густина щєбеню				

Таблиця 4.8

Вміст зерен голчастої та лещатної форми

№	Вид випробувань	Од. вим.	Значення
1	Маса пробки	г	
2	Маса зерен пластинчастої і голчастої форми	г	
3	Вміст зерен голчастої та лещатної форми	%	
4	Норма	%	

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

5.1 Результати механічних випробувань

Результати механічних випробувань зружених арматурних стрижнів наведені в таблиці 5.1, а загальний вид окремих стрижнів після випробувань зображено на рисунках 5.1-5.2.

Рис. 5.1 Загальний вигляд окремих уражених арматурних стрижнів після випробувань

Рис. 5.2 Загальний вигляд окремих уражених арматурних стрижнів після випробувань

Таблица 5.1

Результати механічних випробувань уражених стрижнів

Шифр стрижня	Розрахунок площі перерізу, A_s , мм ²	Відсоток втрати площі перерізу, %	Відстань між зажимами, l, мм	Руйнівне зусилля, F, кН	Тимчасовий опір розриву, σ_u , МПа	Межа плинності, σ_y , МПа	Абсолютні загальнокові подовження після розриву, δ , мм по діаграмі	Відносні подовження, по діаграмі, ε , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Діаметр 6 мм гладкий профіль								

C6.0,5							
C6.1							
C6.1,5							
C6.2							
C6.0							
Діаметр 8 мм гладкий профіль							
C8.0,5							
C8.1,0							
C8.1,5							
C8.2,0							
C8.0							
Діаметр 16 мм гладкий профіль							
C16.0,5							
C16.1,0							
C16.1,5							
C16.2,0							
C16.0							
Діаметр 8 мм періодичний профіль							
C8п.0,5							
C8п.1,0							
C8п.1,5							
C8п.2,0							
C8.п.0							
Діаметр 16 мм періодичний профіль							
C16п.0,5							
C16п.1,0							
C16п.1,5							
C16п.2,0							
C16.п.0							

Діаграми досліджуваних стрижнів при різних ширині уражень ділянок та глибині уражень представлені на рисунку 5.3- 5.5.

а)

$\sigma_s, \text{H/mm}^2$

б)
 $\sigma_s, \text{H/мм}^2$

$\varepsilon_k, \%$

Рис. 5.2. Діаграми розтягу зразків: а) для зразків діаметром 6 мм гладкого профілю; б) для зразків діаметром 8 мм гладкого профілю при різних ширині уражень (а) та середній втраті площі перерізу (%).

а)

$\sigma_s, \text{H/мм}^2$

$\varepsilon_k, \%$

б)

$\sigma_s, \text{H/мм}^2$

$\varepsilon_k, \%$

Рис. 5.4. Діаграми розтягу зразків: а) для зразків діаметром 16 мм гладкого профілю; б) для зразків діаметром 8 мм періодичного профілю при різних ширині уражень (а) та середній втраті площі перерізу (%).

 $\sigma_s, \text{Н/мм}^2$
 $\varepsilon_k, \%$

Рис. 5.5. Діаграми розтягу зразків) для зразків діаметром 16 мм періодичного профілю при різних ширині уражень (а) та середній втраті площі перерізу (%).

Випробування показало, що характерною центральною ділянкою, де концентруються місця деформації для даних арматурних зразків, є ділянка довжиною не більше 70 мм (по 35 мм в різні боки від місця ураження).

Результати замірів абсолютних подовжень арматурних стрижнів на центральній ділянці довжиною 70 мм наведені в таблиці 5.2.

Таблица 5.2

[illegible]

Продовження таблиця 5.2

[illegible]

Графіки розподілу абсолютних залишкових подовжень в місцях та в околі уражень арматурних стрижнів представлені на рисунках 5.6-5.10.

а)

δ , мм

l , мм

б)

δ , мм

l , мм

Рис. 5.6. Графіки розподілу абсолютних залишкових подовжень δ на окремих ділянках в місцях та околі уражень арматурних стрижнів при різних втратах перерізів для зразків діаметром 6 мм гладкого профілю при ширині уражень: а) 0,5 і 1,0 мм; б) 1,5 і 2,0 мм і різній втраті площі перерізу (%).

а)

δ , мм

ових подовжень δ на
ражень арматурних стрижнів при різних

втратах перерізів для зразків діаметром 8 мм гладкого профілю при ширині уражень: а) 0,5 і 1,0 мм; б) 1,5 і 2,0 мм і різній втраті площі перерізу (%).

а)

δ , мм

l , мм

б)

δ , мм

l , мм

Рис. 5.8. Графіки розподілу абсолютних гальмівних подовжень δ на окремих ділянках в місцях та околі уражень арматурних стрижнів при різних

втратах перерізів для зразків діаметром 16 мм гладкого профілю при ширині уражень: а) 0,5 і 1,0 мм; б) 1,5 і 2,0 мм і різній втраті площі перерізу (%).

а)

δ , мм

l , мм

б)

δ , мм

l , мм

Рис. 5.9. Графіки розподілу абсолютних залишкових подовжень δ на окремих ділянках в місцях (а) околі уражень арматурних стрижнів при різних втратах перерізів для зразків діаметром 8 мм періодичного профілю при ширині уражень: а) 0,5 і 1,0 мм; б) 1,5 і 2,0 мм і різній втраті площі перерізу (%).

а)

 $\delta, \text{мм}$ $l, \text{мм}$

б)

 $\delta, \text{мм}$ $l, \text{мм}$

Рис. 5.10. Графіки розподілу абсолютних залишкових подовжень δ на окремих ділянках в місцях та околі уражень арматурних стрижнів при різних втратах перерізів для зразків діаметром 16 мм періодичного профілю при ширині уражень: а) 0,5 і 1,0 мм; б) 1,5 і 2,0 мм і різній втраті площі перерізу (%).

Результати механічних випробувань уражених арматурних стрижнів під бетонним покриттям наведені в таблиці 5.3 та вигляд стиснутих зразків-призм після випробування на рисунках 5.10-5.12.

Таблиця 5.3

Результати механічних випробувань уражених арматурних стрижнів під бетонним покриттям

Шифр стрижня	Розрахункова площа перерізу	Відсоток втрати площі перерізу, %	Відстань між зажимами	Руйнівне зусилля	Тимчасовий опір розриву	Межа плинності	Абсолютні залишкові подовження після розриву	Відносні подовження, по діаграмі
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Діаметр 6 мм гладкий профіль								
Б6.0,5 ²⁵								
Б6.0,5 ⁵⁰								
Б6.2,0 ²⁵								
Б6.2,0 ⁵⁰								
Діаметр 8 мм гладкий профіль								
Б8.0,5 ²⁵								
Б8.0,5 ⁵⁰								
Б8.2,0 ²⁵								
Б8.2,0 ⁵⁰								
Діаметр 16 мм гладкий профіль								
Б16.0,5 ²⁵								
Б16.0,5 ⁵⁰								
Б16.2,0 ²⁵								
Б16.2,0 ⁵⁰								
Діаметр 8 мм періодичний профіль								
Б8п.0,5 ²⁵								
Б8п.0,5 ⁵⁰								
Б8п.2,0 ²⁵								
Б8п.2,0 ⁵⁰								
Діаметр 16 мм періодичний профіль								
Б16п.0,5 ²⁵								
Б16п.0,5 ⁵⁰								
Б16п.2,0 ²⁵								
Б16п.2,0 ⁵⁰								

Рис. 5.11 Загальний вигляд окремих зразків-прізми після випробування

Діаграми розтягу досліджуваних стрижнів під бетонним покриттям при різній ширині уражених ділянок та глибині уражень представлені на рисунках 5.12-5.14.

Рис. 5.12 Загальний вигляд окремих зразків-призм для випробування

Діаграми розтягу досліджуваних стрижнів під бетонним покриттям при різних ширині уражених ділянок та глибині уражень представлені на рисунках 5.13-5.15.

а)

 $\sigma_s, \text{H/mm}^2$ $\epsilon_s, \%$

б)

 $\sigma_s, \text{H/mm}^2$ $\epsilon_k, \%$

Рис. 5.13. Діаграми розтягу зразків під бетонним покриттям: а) зразків з арматурою діаметром 6 мм гладкого профілю; б) зразків з арматурою діаметром 8 мм гладкого профілю при втраті перерізу ≈ 25 і 50% та ширині уражень 0,5 і 2 мм.

а)
 $\sigma_s, \text{H/mm}^2$

$\epsilon_k, \text{‰}$
б)
 $\sigma_s, \text{H/mm}^2$

$\varepsilon_k, \%$

Рис. 5.14. Діаграми розтягу зразків під бетонним покриттям: а) зразків з арматурою діаметром 16 мм гладкого профілю; б) зразків з арматурою діаметром 8 мм періодичного профілю при втраті перерізу ≈ 25 і 50% та ширині уражень

 ε_k

50%

зкриттям зразків з
і втраті перерізу ≈ 25 і

Результати замірів абсолютних залишкових подовжень в місцях та околі уражених стрижнів наведені в таблиці 5.4.

Таблица 5.4

Абсолютні і відносні подовження арматурних стержнів під бетонним покриття на центральній ділянці

[illegible]

Продовження таблиця 5.4

[illegible]

Графіки розподілу абсолютних залишкових подовжень в місцях та околі уражених арматурних стрижнів під бетонним покриттям представлені на рисунках 5.16-5.20.

а)

δ , мм

l , мм

б)

δ , мм

l , мм

Гис. 5.16. Графіки розподілу абсолютних залишкових подовжень в місцях та околі уражених стрижнів під бетонним покриттям при різній втраті перерізу і

ширині уражень: а) $a=0,5$ мм; б) $a=2,0$ мм; для зразків з арматурою діаметром 6мм гладкого профілю.

а)

δ , мм

l , мм

б)

δ , мм

\

l , мм

Рис. 5.17 Графіки розподілу абсолютних залишкових потовнень в місцях та околі уражених стрижнів під бетонним покриттям при різній втраті перерізу і ширині уражень: а) $a=0,5$ мм; б) $a=2,0$ мм; для зразків з арматурою діаметром 8мм гладкого профілю.

а)

$\delta, \text{мм}$ $l, \text{мм}$

б)

 $\delta, \text{мм}$ $l, \text{мм}$

Рис. 5.18. Графіки розподілу абсолютних залишкових подовжень в місцях та околі уражених стрижнів під бетонним покриттям при різній втраті перерізу і

ширині уражень: а) $a=0,5$ мм; б) $a=2,0$ мм; для зразків з арматурою діаметром 16мм гладкого профілю.

а)

δ , мм

l , мм

б)

δ , мм

l , мм

Рис. 5.19. Графіки розподілу абсолютних залишкових подовжень в місцях та околі уражених стрижнів під бетонним покриттям при різній втраті перерізу і

ширині уражень: а) $a=0,5$ мм; б) $a=2,0$ мм; для зразків з арматурою діаметром 8мм періодичного профілю.

а)

δ , мм

l , мм

б)

δ , мм

l , мм

Рис. 5.20. Графіки розподілу абсолютних залишкових подовжень в місцях та околі уражених стрижнів під бетонним покриттям при різній втраті перерізу і ширині уражень: а) $a=0,5$ мм; б) $a=2,0$ мм; для зразків з арматурою діаметром 16мм періодичного профілю.

Відношення залишкових деформацій в місцях та околі уражень δ_1 до загальних деформацій δ_2 арматурних зразків наведені в таблиці 5.5.

Таблиця 6.5

Відношення залишкових деформацій в місцях та околі уражень δ_1 до загальних деформацій δ_2 арматурних зразків

Шифр стрижня	δ_1/δ_2	Шифр стрижня	δ_1/δ_2	Шифр стрижня	δ_1/δ_2	Шифр стрижня	δ_1/δ_2	Шифр стрижня	δ_1/δ_2
Діаметр 6 мм гладкий профіль		Діаметр 8 мм гладкий профіль		Діаметр 16 мм гладкий профіль		Діаметр 8 мм періодичний профіль		Діаметр 16 мм періодичний профіль	
Стрижні без бетонного покриття									
Стрижні під бетонного покриття									

5.2 Аналіз результатів експериментів

Результати випробувань на розтяг локально уражених арматурних стрижнів без покриття та під бетонним покриттям вказують на значні зміни їх механічних властивостей. Головним чинником, який призводить до таких змін, є втрата площі перерізу. Деякий вплив має щільність уражених ділянок. Всі зразки розривалися в місцях послаблень перерізу.

Зменшення перерізів у місцях уражень зменшує руйнівні зусилля, абсолютні і відносні залишкові подовження у всіх досліджених арматурних стрижнях. Наприклад, при локальній втраті перерізу біля 5%, для арматурних

стрижнів діаметром 8 мм гладкого профілю відносні подовження проти неуражених падають $\approx$ на 54 %, а руйнівне зусилля $\approx$ на 17%, для стрижнів

діаметром 16 мм гладкого профілю відносні подовження падають на 41%, а руйнівне зусилля на 17%.

Данна тенденція характерна і для арматури періодичного профілю.

Більш чутливими до втрати перерізу є профілі менших діаметрів.

Стрижні періодичного профілю мають на 30-45% менші відносні подовження і значно більший тимчасовий опір розриву ($\approx$ на 3%-35%), що пов'язано з різним хімічним складом сталей арматури.

Арматурні стрижні з ураженнями не втрачають пластичні властивості, що дає можливість запобігти раптовому руйнуванню арматури від розриву, хоча в порівнянні з арматурою без уражень відношення σ_u/σ_y зменшується.

При рівних відношеннях глибини до ширини уражень стрижні більшого діаметра мають більші відносні подовження при розриві.

Так, при середніх значеннях $h/a \approx 0,3$ стрижні гладкого профілю діаметром 16 мм мають в 4,5 рази більші відносні подовження ніж стрижні діаметром 6 мм а при $h/a \approx 0,7$ – більш ніж в 3,45 рази.

Така ж тенденція зберігається і для стрижнів періодичного профілю. Стрижні діаметром 16 мм мають більші відносні подовження ніж стрижні діаметром 8 мм приблизно в 2,45 рази при $h/a \approx 0,3$ і в 1,7 рази при $h/a \approx 0,7$.

У локально ураженій арматурі деформації концентруються на послабленій ділянці, тому подовжні деформації уже не настільки залежать від довжини зразка, на скільки від його діаметра і втрати перерізу.

На зразках, які досліджувалися, така ділянка складала довжину 50-70 мм.

Так різниця в подовженнях усього стрижня діаметром 6 мм і центральної частини (70 мм) при $h/a \approx 0,7$ складає $\approx 9,2$ мм, а при $h/a \approx 0,3$ складає $\approx 3,6$ мм, для стрижня діаметром 8 мм: 19 і 8,8 мм; для стрижня діаметром 16 мм: 54 і 26 мм; для періодичних профілів діаметром 8 мм: 13 мм і 6,3 мм, для діаметром 16 мм: 22 мм і 11 мм відповідно.

Відношення h/a впливає і на нерівномірність деформацій в самій центральній частині (на ділянці 70 мм).

Так в околі уражень різниця в деформаціях при $h/a = 0,3$ і $h/a = 0,7$ складає:

- для гладких стрижнів діаметром 6 мм – 15%; 8 мм – 25%; 16 мм – 20%;
- для періодичних стрижнів діаметром 8 мм – 42%, 16 мм – 35%.

Різниця в подовженнях усього стрижня під бетонним покриттям діаметром 6 мм і центральної частини (70 мм) при $h/a \approx 2$ складає ≈ 8 мм, а при $h/a \approx 2,1$ і $\approx 0,23$ мм, для стрижня діаметром 8 мм гладкого профілю відповідно: 1,2 і 1,9 мм; для стрижня діаметром 16 мм: 2 мм і 6,7 мм; для періодичних профілів діаметром 16 мм: 7 мм і 9,1 мм відповідно.

Таким чином, на деформативні властивості в околі уражень більше впливає глибина вражень.

Відношення h/a впливає і на нерівномірність деформацій в самій центральній частині (наділянні 70 мм).

Так в околі уражень різниця в деформаціях при $h/a = 0,45$ і $h/a = 2,0$ складає:

- для гладких стрижнів діаметром 6 мм – 20%; 8 мм – 39%; 16 мм – 15%,
- для періодичних стрижнів діаметром 8 мм – 8%, 16 мм – 13%.

Для стрижнів під бетонним покриттям збільшується нерівномірність розподілу деформацій на центральній ділянці. Стрижні без бетонного покриття в середньому мають більші абсолютні деформації, а ніж під бетонним покриттям (таблиця 5.6). Доля відносних деформацій на центральній ділянці зростає із втратою перерізу на ділянках, що підлягали корозії.

Таблица 5.6

Порівняльна таблиця абсолютних залишкових деформацій при розриві на центральній ділянці арматурних стрижнів без бетонного покриття і з бетоном покриттям

[illegible]

Примітка: середні значення розраховані окремо для втраті перерізу $\approx 50\%$ чисел чіпів і $\approx 25\%$ (знаменник)

Для встановлення зв'язку між відносною втратою площі перерізу і залишковими деформаціями розриву на центральних ділянках арматурних стрижнів проведено регресивний аналіз.

Для аналізу застосоване лінійне рівняння регресії.

$$Y = a + b \cdot x,$$

де x – втрата площі перерізу, %;

Y – абсолютна залишкова деформація при розриві, мм.

Параметри рівняння регресії визначаються методом найменших квадратів, основа якого – мінімізація суми квадратів відхилень емпіричних значень « y » від теоретичних « Y »:

$$\sum (y - Y)^2 \rightarrow \min. \quad (5.1)$$

Відомо, що значення параметрів a і b , при яких мінімізується сума квадратів відхилень визначається з системи нормальних рівнянь

$$\sum y = na + b \sum x \quad (5.2)$$

$$\sum xy = a \sum x + b \sum x^2, \quad (5.3)$$

Розв'язавши цю систему, знаходимо значення параметрів

$$b = \frac{\sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - \sum x \sum x} \quad (5.4)$$

$$a = \bar{y} - b \bar{x}, \quad (5.5)$$

Порядок обчислення параметрів лінійної регресії зв'язку між втратами відносної площі перерізу і залишковими деформаціями на центральній ділянці арматурних стрижнів, значення взаємозв'язаних ознак та необхідні для розрахунків параметри приведені в таблиці 5.7. Обчислення коефіцієнтів регресії та перевірка їх значущості проведено за допомогою t – критерія Ст'юдента.

[illegible]

Продовження таблиці 5.7									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Діаметр 8 періодичний профіль									
Діаметр 16 періодичний профіль									

Відхилення ($y-U$) називають залишковими і позначають індексом «е».

Таким чином, гіпотеза про випадковий характер коефіцієнтів регресії відхиляється, а отже, з імовірністю 0,95 вплив втрати перерізу на залишкові деформації визначається значущим для всіх арматурних зразків.

Для виявлення зв'язків між відносною втратою площі перерізу стрижнів бетонним покриттям, шириною уражень і відносними деформаціями на центральній ділянці використано 2-х факторний аналіз. В якості фактору X_1 прийнято ширину ділянки уражень a , а X_2 – відносну втрату площі перерізу, v . Вихідною величиною Y - відносні деформації на центральній ділянці ε в %.

Виявити кількісні залежності між факторами і вихідною величиною можливо використавши математичне моделювання.

В загальному виді математична модель представляється функцією змінних

$$y = \varphi(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (5.6)$$

Із практики інженерного експерименту відомо, що в більшості випадків задовільною є модель у вигляді алгебраїчного поліному, ступінь котрого визначається в процесі дослідження.

Модель досліджуваного об'єкту відповідає в деякій локальній області факторного простору із координатами $(x_{10}, x_{20}, \dots, x_{k0})$. Невідома залежність в околі цієї точки представляється у виді поліному - відрізка ряду Тейлора (рівняння регресії):

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i,j=1}^k \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_{ii}^2 + \dots \quad (5.7)$$

В даному дослідженні була випробувана лінійна математична модель (поліном першого порядку):

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2. \quad (5.8)$$

Коефіцієнти регресії визначаються на основі експериментальних даних.

Визначення коефіцієнтів і аналіз моделі включає такі етапи: складання плану експерименту; проведення експерименту; обробка дослідних даних, прийняття рішення.

При варіюванні факторів на двох рівнях для реалізації всіх можливих неповторних комбінацій рівнів факторів необхідно провести $N = 2^2$ дослідів. В таблиці 5.8 приведена матриця планування повного факторного експерименту типу 2^2 .

Таблиця 5.8

Матриця планування факторного експерименту

Номер досвіду	Фактори	Відгук Y (ε,%)
1		
2		
3		
4		

Результати експерименту приведені в таблиці 5.9

Таблиця 5.9

Результати 2-х факторного експерименту

Номер досліджу №	Кодовані значення факторів		Фізичні значення факторів		Відгуки		Нев'язка
	x_1	x_2	X_1	X_2	Y_e	Урозр	абс
1	2	3	4	5	6	7	8
Діаметр 6мм гладкий профіль							
Сума							0,000
Діаметр 8мм гладкий профіль							
Сума							0,000
Діаметр 16мм гладкий профіль							
Сума							0,000
Діаметр 8мм періодичний профіль							
Сума							0,000
Діаметр 16мм періодичний профіль							
Сума							0,000

По результатам даного експерименту визначено коефіцієнти регресії b_0, b_1, b_2 за формулами:

$$b_0 = \frac{1}{n} \cdot \sum y_i, \quad (5.9)$$

$$b_1 = \frac{1}{n} \cdot \sum y_i \cdot x_{1n}, \quad (5.10)$$

$$b_0 = \frac{1}{n} \cdot \sum y_i \cdot x_{2n}. \quad (5.11)$$

За формулами 5.9 – 5.11 для арматури діаметром 6 мм визначаємо коефіцієнти регресії :

$$b_0 = \frac{1}{4} \cdot (7,71 + 8,29 + 6,43 + 6,0) = 7,11, \quad (5.12)$$

$$b_1 = \frac{1}{4} \cdot (7,71 \cdot (-1) + 8,29 \cdot (+1) + 6,43 \cdot (-1) + 6,0 \cdot (+1)) = 0,04, \quad (5.13)$$

$$b_0 = \frac{1}{4} \cdot (7,71 \cdot (-1) + 8,29 \cdot (-1) + 6,43 \cdot (+1) + 6,0 \cdot (+1)) = -0,89. \quad (5.14)$$

Таким чином лінійне рівняння для арматури діаметром 6 мм матиме вигляд :

$$y = 7,11 + 0,04 \cdot x_1 - 0,89 \cdot x_2 \quad (5.15)$$

Аналогічно для кожного діаметру арматури по результатам даного експерименту визначено коефіцієнти моделі і розраховані значення відгуку $Y_{розр.}$. Результати одержаних функціональних залежностей наведені в таблиці 5.10.

Таблиця 5.10

Функціональні залежності

Вид арматури	Отримані функціональні залежності

ГОЛІДЛ 6

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

6.1 Аналіз шкідливих і небезпечних факторів які діють на працюючих при виготовленні арматурних конструкцій, використанні арматурних матеріалів та експлуатації обладнання для виготовлення сіток та саркасів.

При роботі з арматурою можуть виникати такі фактори:

- шкідливі фактори: підвищена або знижена температура повітря робочої зони; висока вологість і швидкість руху повітря; підвищені рівні шуму, ультразвуку та різних випромінювань – теплових, електромагнітних, інфрачервоних і ін. До шкідливих фізичних факторів належать також заглибленість і загазованість повітря робочої зони; недостатня освітленість робочих місць, проходів та проїздів; підвищена яскравість світла і пульсація світлового потоку.

- небезпечні фактори: рухомі машини та механізми; різні підйомно-транспортні пристрої і переміщувані вантажі; незахищені рухливі елементи виробничого обладнання (привідні і передавальні механізми, ріжучі інструменти, що обертаються і переміщуються, пристосування та ін.); відлітаючі частини оброблюваного матеріалу та інструменту, електричний струм, підвищена температура поверхонь обладнання і оброблюваних матеріалів та ін.

Між шкідливими і небезпечними виробничими факторами спостерігається певний взаємозв'язок. У багатьох випадках наявність шкідливих факторів сприяє прояву небезпечних факторів - наприклад, надмірна вологість у виробничому приміщенні та наявність струмопровідного пилу (шкідливі фактори) підвищують небезпеку ураження людини електричним струмом (небезпечний фактор).

6.2 Технічні засоби і організаційні заходи із усунення дії шкідливих і небезпечних виробничих факторів при виготовленні арматурних сіток та каркасів, використанні арматури, зварювальних установок та різних-відрізних верстатів.

Загальні положення

Механізми та установки повинні відповідати вимогам нормативних документів і на них повинна бути експлуатаційна документація, а крани та інші машини, що придбані за кордоном – повинні мати сертифікат відповідності вимогам безпеки праці. Забороняється експлуатація засобів механізації без передбачених їх конструкцією огорож, блокування, систем сигналізації та інших засобів колективного захисту працюючих.

Засоби механізації, які не підлягають реєстрації в органах державного нагляду (нові, орендовані, після капітального ремонту), допускаються до експлуатації після огляду і опробування особою, відповідальною за їх безпечну експлуатацію.

До управління і обслуговування будівельних машин допускаються особи (працівники), що отримали відповідну професійно-технічну підготовку, пройшли навчання і перевірку знань із безпеки праці.

Машини та установки необхідно використовувати відповідно до призначення і застосовувати в умовах, що визначені заводом-виробником.

Забороняється залишати без нагляду машини, установки та інші засоби механізації з увімкненням.

Під час використання машини та установки рівень шуму, вібрації, загазованості, зашумленості на робочих місцях машиністів не повинен перевищувати норми, а освітленість - відповідати нормам, що визначені для конкретних видів робіт.

Під час роботи робоче місце повинна бути огорожена або позначена знаками безпеки і попереджувальними написами.

Експлуатацію машини та устаткування необхідно здійснювати відповідно до параметрів, що визначені технічним паспортом та іншими вимогами щодо безпечного застосування машин.

До самостійної роботи арматурником допускаються особи, які:

- досягли 18 річного віку і мають відповідну кваліфікацію;
- пройшли медичний огляд у встановленому порядку та не мають медичних протипоказань;
- пройшли вступний інструктаж з охорони праці;
- пройшли спеціальне навчання, первинний інструктаж та оволоділи практичними навиками безпечного ведення робіт під час стажування протягом 2-15 змін (залежно від стажу, досвіду і характеру роботи);
- мають посвідчення такелажника у разі строкування арматурних стержнів або кріпаків під час переміщення їх вантажопідіймальними кранами;
- мають посвідчення електрозварника у разі приварювання арматурних стержнів із застосуванням електроконтактного або електродугового зварювання.

Працювати з пневматичним і електрифікованим інструментом має право арматурник, який пройшов спеціальне навчання, має посвідчення і оволодів практичними навичками безпечного проведення робіт.

Арматурник зобов'язаний:

- знати і виконувати вимоги цієї інструкції;
- користуватися засобами колективного та індивідуального захисту;
- дотримуватись зобов'язань щодо охорони праці, передбачених колективним договором (угодою, трудовим договором) та правилами внутрішнього розпорядку;
- проходити у встановленому порядку попередні та періодичні медичні огляди;
- співробітничати з роботодавцем у справі організації безпечних і нешкідливих умов праці, особисто вживати посильних заходів щодо усунення будь-якої виробничої ситуації, яка створює загрозу його життю чи здоров'ю, або життю і здоров'ю людей, які його оточують, повідомляти про небезпеку свого безпосереднього керівника або іншу посадову особу.

Різка арматури на правильно

При виготовленні арматури велика кількість відрізків, загального обсягу арматури становить арматурна с

Для випрямлення арматури-відрізні верстати з безперервним ходом забезпечує достатню точність від

Різка, чистка та випрямлення арматури в автоматичних верстатах, які на ринку металоберезного обладнання представлені в широкому асортименті. Перед початком роботи вони перевіряються на холостому ходу. Потім верстат зупиняють і в барабан заправляють кінець арматури. Після цього здійснюється перевірка справності гальмівних і пускових пристроїв, правильність установки ложів, наявність захисних кожухів, якості зчеплень зубчастих коліс. На куски, менші за 800 см різання арматури на шматки забороняється. Людина, що робить операції з арматурною сталлю, зобов'язана пройти інструктаж з техніки безпеки і мати потрібну кваліфікацію. Крім цього, персонал під час роботи повинен мати захисні окуляри.

Різка, гнуття та чистка арматурної сталі в якості побічних відходів стають причиною утворення безлічі металевого пилу і окалини. Такі продукти видаляють спеціальним методом: проокання механічними щітками або продування. Верстат вимикається під час проведення даних робіт. Навіть чистити окалину і пил руками не можна. Зварювання застосовується для зварювання арматурних каркасів. Вона буває дугового, точкового та електродного. При зварювальних роботах тут потрібно обов'язково дотримуватися всіх правил техніки безпеки.

Різка арматури в більшості випадків не вважається останньою операцією. Після її виконання всі вироби складаються. Як правило, це робиться не у верстатів і проходах, а у відведених місцях. Якщо застосовується попередньо напружена арматура, то в такому випадку не варто забувати про додаткові заходи безпеки.

Перевірка матеріалу на якість є обов'язковою. Наявність згинів, скруток і надрізів є неприпустимим.

Дугове зварювання на зварювальних установках.

Електродугове зварювання характеризується шкідливими й небезпечними виробничими факторами, що призводять до типових професійних захворювань робочих зварювальних професій. Незважаючи на постійне вдосконалення способів зварювання й зварювальних матеріалів, дотепер багато гігієнічних проблем зварювального виробництва остаточно не вирішені. Як слідство, залишаються незадовільними умови праці електрозварників, які негативно позначаються на їхньому здоров'ї і працездатності. У зв'язку із цим рівень професійної захворюваності при виконанні зварювальних робіт залишається досить високим.

Відповідно до Система стандартів безпеки праці. «Небезпечні і шкідливі виробничі фактори» - при головних способах дугового зварювання на електрозварника впливають шкідливі й небезпечні хімічні, фізичні й психофізіологічні фактори виробничого середовища. Несприятливий вплив шкідливих факторів виробничого середовища на здоров'я працівників і викликані ними професійні захворювання у зварювальному виробництві можна поділити на три основні групи:

1. Захворювання, викликані впливом хімічних факторів (хімічних речовин).
2. Захворювання, викликані дією фізичних факторів (нагрівання або охолодження, мікроклімат, шум, ультрафіолетове або інфрачервоне випромінювання).
3. Захворювання, викликані впливом психофізіологічних факторів (фізичне навантаження, одисманітні, часто повторювані рухи, вимушена поза).

Серед виробничих факторів найбільшу погрозу для здоров'я зварників представляє зварювальний аерозоль (ЗА), від якого дотепер зварник захищений дуже слабо. Вплив ЗА на організм приводить до бронхолегеневих захворювань зварників. Це насамперед пневмокніоз, що виявляється у зварників, які відробили у зварювальних виробництвах більше 15 років, і хронічний бронхіт виникаючий вже через 5 років праці за професією зварника. При виконанні

зварювальних робіт у недоступних
розвитку пневмоконіоза скорочує
те, що наявність у складі
нікелю може підвищити ризик
дихання.

мах період
про
му й
;

Наслідками впливу зварювального процесу є захворювання.

До них належать захворювання респіраторним шляхом, що
характеризується ураженнями респіраторної системи. Понадзвичайно висока концентрація монооксиду вуглецю може бути причиною як гострого, так і
хронічного отруєння. Оксид азоту в закритих приміщеннях може
виявляти симптоми отруєння, спричинений вміст твердих і газоподібних
частинок, що потрапляють у дихальну систему. Діагностична оболонка верхніх дихальних
шляхів є основною причиною респіраторних захворювань, причиною ураження
центральної нервової й серцево-судинної системи, а також статеві ускладнення й т.д.

Зварювальний процес викликає значну кількість дуг, за винятком зварювання
електродом, випромінювання, ультрафіолетових (УФ) променів, металу й шлаків. Більшість зварювальників
здійснюють (ПЧ) випромінюванням зварювальної дугою на частоту
теплову енергію, яка потрапляє в центральну частину тіла й
судинну систему. Діапазон випромінювання зварювального процесу
включає видиме світло, інфрачервоний і ультрафіолетовий. Склад
випромінювання зварювального процесу залежить і від типу зварювального процесу.

до

інтенсивність

в захищеному середовищі
і кислого газу й гелію зсув спектра випромінювання у бік коротких

хвиль. Зі збільшенням відстані від дуги інтенсивність УФ-радіації знижується. Опромінення тіла зварника залежить від відбиваючих і просякаючих властивостей спецодягу. Вплив УФ-випромінювання на незахищені очі може привести до електрофтальмії, зниження зору, кон'юнктивіту й інших захворювань.

Під впливом УФ-випромінювань у повітрі починають відбуватися невластиві для звичайного стану хімічні реакції з утворенням надзвичайно небезпечних для здоров'я людини газів, у першу чергу, озону й оксидів азоту.

Зварювальний процес – одне з потужних виробничих джерел інфрачервоного випромінювання. Його впливу піддаються не тільки безпосередньо зварники, але й працівники інших професій, що перебувають поруч. ІЧ-випромінювання при зварюванні виробів з підігрівом, особливо деталей великих габаритів, є чинником, що формує умови мікроклімату у виробничих приміщеннях. Залежно від сили зварювального струму, температури дуги й зварювальної ванни, ступеня підігріву й інших умов випромінювання має різний спектральний склад й охоплює діапазон 0,76–10 мкм і більше. Інтенсивність опромінення робочих місць коливається в межах 100–2450 Вт/м².

Інтенсивність ІЧ-випромінювання залежить від режимів зварювання, потужності дуги й зростає від 350 до 400 Вт/м² при зварюванні покритими електродами на режимах 150–200 А до 1200–1500 Вт/м² при зварюванні кольорових металів в інертних газах, а також при зварюванні попередньо нагрітих конструкцій.

Негативний вплив на здоров'я зварників має також переслідження організму під час проведення будівельно-монтажних робіт у холодний період року.

Рівень шуму, що виникає при дуговому зварюванні, залежить від параметрів режиму процесу. Так, при механічному зварюванні у вуглекислому газі при зміні сили струму з 200 до 450 А рівень шуму зростає з 83 до 92 дБ, а при зварюванні в аргоні збільшення струму з 150 до 500 А збільшує інтенсивність шуму з 85 до 95 дБ. Разом з тим, крім шуму, створеного дугою й зварювальним устаткуванням, на працюючих можуть впливати й інші джерела шуму, що виникають при роботі вентиляції, допоміжного устаткування й під час

виконання суміжних операцій (рихтування, зачищення). Таким чином, на практиці навіть при дуговому зварюванні майже завжди в робочій зоні має місце якість, іноді досить істотне, перевищення значення фактичного рівня шуму над гранично допустимим значенням.

Психофізіологічний вплив на зварника виявляється у вигляді фізичних і нервово-психічних навантажень. Фізичні навантаження викликають у людини статичну й динамічну напругу, що залежить від маси зварювального інструмента, гнучкості шлангів і дроту, тривалості безперервної роботи, підтримки робочої пози. У результаті статичної перенапруги може виникнути захворювання нервово-м'язової системи плечового пояса. Нервово-психічна напруга приводить до перенапруги зорових аналізаторів і виникненню нервово-емоційної напруги у зварників. Ці навантаження викликані одноманітністю операцій, безперервністю спостереження за не дуже контрастними елементами зони зварювання невеликих розмірів (зварювальна ванна, зазор у стику, глибина кратера, отверділий шов), відповідальністю за високу якість зварених з'єднань і складністю роботи. Перенапруга зорових аналізаторів може призвести до стомлюваності й, як наслідок, до порушення функції скорочувальних м'язів ока. Нервово-емоційна напруга у свою чергу може порушити функціональний стан серцево-судинних і центральної нервової систем, що приводить до підвищення артеріального тиску, зміни латентного (прихованого) періоду рухово-моторної реакції.

Серед супутніх, так званих професійних обумовлених захворювань, що виявлені у зварників з перше зареєстрованої профпатологією, становлять функціональні й патологічні зміни в серцево-судинній системі (41-43%) (насамперед артеріальна гіпертонія й дистрофія міокарда), функціональні розлади центральної нервової системи (30-40%), фарингіти (20-30%) і тонково-кишкові захворювання (8-14%), деякі офтальмологічні хвороби (5-10%). Захворювання опорно-рухового апарата (кістково-м'язова патологія) реєструються в 8-9% зварників, неврит слухового нерва - в 5-6% зварників.

Комплексний характер негативного впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів на здоров'я зварників, а також тяжкість й напруженість праці

вимагають дотримання вимог безпеки праці й проведення всіх необхідних оздоровчих заходів. Для цього відповідні служби підприємства повинні здійснювати періодичний контроль параметрів зазначених шкідливих і небезпечних факторів.

Для зниження ризику розвитку профзахворювань також дуже важливим є дотримання раціональних режимів праці й відпочинку працюючих. Освоєння суміжних професій дає можливість періодично переводити зварників на певний час на інші робочі місця з більш сприятливими умовами праці.

Основні вимоги до виробничого освітлення.

Вивчення умов для створення найкращих умов роботи зору людини в процесі праці дозволяє сформулювати наступні основні вимоги.

Освітленість на робочих місцях повинна відповідати характеру зорової роботи. Збільшення освітленості робочих місць покращує умови бачення об'єктів, покращує продуктивність праці. Однак існує межа, при якому подальше збільшення освітленості майже не дає ефекту і є економічно недоцільною.

Досить рівномірний розподілення яскравості на робочих місцях. При нерівномірній яскравості в процесі роботи люди вимушені адаптуватись, що веде до стомлення зору.

Відсутність різких тіней на робочих поверхнях. У темі зору робітника різкі тіні спотворюють розміри і форми об'єктів розрізнення, що підвищує стомлення зору, а рухомі тіні можуть привести до травм.

За типом освітлення прийнято ділити на природне, штучне та змішане.

Природне освітлення, створюване денним світлом, найбільш благотворно діє на людину, не вимагає витрат енергії. Однак, воно змінюється протягом доби, залежить від кліматичних і сезонних умов. Природне освітлення в виробничих або споруджуваних будинках від напрямлення надходження світла може бути боковим, верхнім або комбінованим. Верхнє освітлення створюють розміщенням світлових ліхтарів на даху будівель.

Штучне освітлення зазвичай створюють електричними джерелами світла, які включають в міру необхідності, регулюють інтенсивність світлового потоку і його

спрямованість. Таке освітлення вимагає витрат електроенергії і відрізняється по спектру від природного світла.

У практиці пристрої освітлення набуло поширення змішане освітлення, при якому недостатнє за нормами природне освітлення доповнюється штучним і в світлий час доби.

При створенні штучного освітлення застосовують в основний дві систем; загального чи комбінованого освітлення. Загальним називають освітлення, яке висвітлює всю площу приміщення, будівельного майданчика. При цьому прийнято два способи розміщення освітлювальних установок: рівномірне і локалізоване. Перший спосіб розміщення освітлювальних установок загального освітлення застосовують, коли потрібно забезпечити рівномірність освітлення всієї площі. При необхідності додаткового підсвічування окремих зон і ділянок робіт гібридизуються до локалізованого розміщення освітлюваних приладів. Локалізоване освітлення дозволяє одночасно зі зменшенням потужності освітлювальної системи в порівнянні з рівномірним і забезпечити кращу якість освітлення. До недоліків локалізованого способу розміщення освітлюваних установок слід віднести кілька підвищенням порівняно з рівномірним нерівномірність розподілу яскравості в полі зору. Система комбінованого освітлення включає загальне і місцеве освітлення. Місьцеве освітлення призначено для освітлення тільки лише поверхонь робочого місця.

За призначенням виробниче освітлення поділяють на робоче, охоронне, аварійне і евакуаційне. У відповідності з рівномірне робоче освітлення будівельних майданчиків і ділянок повинна бути не менше 0,5 лк, за винятком автодоріг.

Для охорони будівельного майданчика з робочого освітлення видаляють частина освітлювальних установок, що забезпечують горизонтальну чи рівні землі або вертикальну на площині огорожі освітленість, рівну 0,5 лк.

Аварійне освітлення влаштовують в місцях робіт з бетонування особливо відповідальних конструкцій в тих випадках, коли перерив в укладанні бетону неприпустимий. При цьому освітленість бетонування залізобетонних конструкцій повинна бути 3 лк, а на ділянках бетонування масивів—1 лк.

Евакуаційне освітлення повинно влаштовувати в місцях основних шляхів евакуації, а також у місцях проходів, де існує небезпека травматизм. Евакуаційне освітлення повинно забезпечувати всередині будівлі не менше 0,5 лк, а поза будівлі -0,2 лк.

6.3 Заходи пожежної безпеки у цеху при виготовленні арматурних сіток та каркасів, використанні арматурні матеріали

Протипожежні заходи на будівельному майданчику мають метою попередження можливого виникнення вогнища вогню. Причинами пожеж на будівництві можуть бути:

- а) наявність відкритих вогнищ вогню або іскріння (електро- і газозварювання, кузня, вогнище для підігріву матеріалів або варіння мастик тощо);
- б) порушення правил зберігання горючих матеріалів і виробів;
- в) наявність горючих відходів
- г) несправність електричного обладнання яке використовується;
- д) порушення працюючими встановленого протипожежного режиму.

Профілактичні заходи в основному зводяться до наступних (хоча склад їх може бути різний і залежить від конкретних умов будівельного майданчика):

1. Робоче місце зварника повинне бути цілком очищене від легкозаймистих або вибухонебезпечних металів. Легкозаймисті рідини і різні пальні матеріали повинні знаходитись від місця зварювання на відстані не менш 30 м., аштепелі генератори і балони з паливними газами – на відстані не менш 10 м;

2. У місцях виконання зварювальних робіт захист від іскор, що розлітаються, і бризг металу повинна забезпечуватися металевими або брезентовими ширмами, на ділянках зварювання повинні бути вогнегасники, шухляди з піском, бочки з водою, різний пожежний інвентар, обов'язково телефонний зв'язок і пристрої для звукових сигналів;

3. Усі робітники та службовці при надходженні на роботу або при зміні робочих місць повинні бути проінструктовані з протипожежної безпеки і по прийняттю на підприємстві протипожежного режимі. На великих ділянках і в

цехах повинні бути офіційно назначені відповідальні за стан протипожежних засобів і виконання протипожежного режиму роботи;

4. Обов'язково два рази в тиждень перевіряти стан зварювального обладнання;

5. Зварник повинен мати у робочого місця металевий ящик для складання розпечених залишків електродів;

6. Забезпечення всіх тимчасових об'єктів первинними засобами пожежогасіння, а саме:

- а) відра і бочки з водою;
- б) ящики з піском та лопати;
- в) вогнегасники.

Сюди ж відноситься і розміщення на території будівництва пожежних постів з набором необхідних інструментів і інвентарю для боротьби з вогнем;

7. Призначення місць для куріння, розведення вогню, встановлення опалювальних приладів.

6.4 Інженерні рішення з охорони праці та техніки безпеки у цеху при виготовленні арматурних виробів, використання обладнання.

Розрахунок штучного освітлення точковим методом робочого місця оператора правильно-відрізного верстату

Умова задачі:

Розрахувати штучне освітлення точковим методом робоче місце оператора правильно-відрізного верстату, де виконується робота з арматурою. Напруга мережі 220 В.

Довжина правильно-відрізного верстату $a=0,8\text{м}$, висота розташування лампи над верстатом $H=0,8\text{м}$. Нормативна освітленість горизонтальної поверхні правильно-відрізного верстату становить $E_n = 500\text{ лк}$.

Розв'язання:

1. Схема розташування точкового освітлення над верстатом зображена на рисунку 6.1.

Рис. 6.1 Схема розташування точкового освітлення над верстатом.

2. Визначаємо кут, що утворюється вертикаллю і лінією, яка з'єднує джерело світла з розрахунковою точкою:

$$\tan \varphi = \frac{H}{a/2} = \frac{0,8}{0,8/2} = 2,0, \quad (6.1)$$

$$\text{кут } \varphi = 63,43^\circ$$

2. Визначаємо необхідну силу світла для освітлення робочого місця оператора правильно-відрізного верстату.

- Освітленість горизонтальної поверхні

$$E_d = \frac{I_\varphi \cdot \cos^3 \varphi}{k \cdot H^2}, \text{ Лк}, \quad (6.2)$$

де I_φ – сила світла;

φ – кут, що утворюється вертикаллю і лінією, яка з'єднує джерело світла з розрахунковою точкою;

$k = 1,5$ – коефіцієнт, котрий урахує можливість запилення світильника;

H – висота підвішування світильника.

- Визначаємо необхідну силу світла визначаємо за формулою:

$$I_\varphi = \frac{E_n \cdot k \cdot H^2}{\cos^3 \varphi} = \frac{100 \cdot 1,5 \cdot 0,8^2}{\cos^3 63,43^\circ} = 3363,8 \text{ кд}. \quad (6.3)$$

Приймаємо для точкового освітлювального приладу лампу розжарювання потужність $P=100 \text{ Вт}$ з силою світла $I_\varphi = 3000 \text{ кд}$.

Розрахунок штучного заземлення правильно-відрізного верстату

Умова задачі

Розрахувати штучне заземлення правильно-відрізного геростату напругою до 1000 В методом коефіцієнта використання електродів. Конструкцію заземлення прийняти у вигляді системи вертикальних електродів труб діаметром $d=30$ мм і довжиною $\ell=3,5$ м, з'єднаних горизонтальним електродом із прута діаметром $d=12$ мм. Вертикальні електроди розташовані по контуру (у ряд) з відстанню $a=2,5$ м. Для відповідної кліматичної зони та стану ґрунту з вологістю виміряний питомий опір ґрунту становив $\rho_{\text{вим}}=200$ Ом $\times$ м.

Розв'язання:

1. Схему заземлюючого об'єкта наведена на рисунку 6.2.
2. Для розв'язання прийнята: глибину траншеї $h=0,8$ м, глибину закладання горизонтального електрода $t_0=0,6$ м.
3. Глибина закладання вертикального електрода визначається згідно із залежністю:

$$t_1 = \ell/2 + t_0 = 3,5/2 + 0,6 = 2,35 \text{ м.} \quad (6.4)$$

4. Установлена величина найбільш допустимого опору заземлення $R_{\text{н}}$:
 - для системи об'єкта з захисту імпульсного – 10 Ом;
 - для заземлення електроустановок у мережах з глухозаземленою нейтраллю – 10 Ом.

5. Визначити розрахунковий питомий опір ґрунту.

$$\rho_{\text{з. розр}} = \rho_{\text{вим}} \cdot \psi = 200 \cdot 1,8 = 360 \text{ Ом}\times\text{м} \quad (6.5)$$

де $\rho_{\text{вим}}$ – виміряний питомий опір ґрунту, Ом $\times$ м;

$\psi=1,8$ – коефіцієнт сезонності вертикальних електродів.

6. Для зменшення впливу кліматичних умов на опір заземлення верхню частину заземлювача розміщують в ґрунті на глибину не менше 0,7 м. Отже, заглиблення стержня можна визначити за формулою:

$$t = \frac{\ell}{2} + 0,7 = \frac{3,5}{2} + 0,7 = 2,45 \text{ м.} \quad (6.5)$$

7. Розраховуємо опір $R_{\text{во}}$ одного вертикального електрода (довжину $\ell=3,5$ м; діаметром $d=0,03$ м).

$$R_{\text{в0}} = 0,366 \frac{R_{\text{в, розр.}}}{\ell} \left(\lg \frac{2\ell}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+\ell}{4t-\ell} \right); \quad (6.6)$$

$$R_{\text{в0}} = 0,366 \frac{360}{2,5} \left(\lg \frac{2 \cdot 3,5}{0,03} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 2,45 + 3,5}{4 \cdot 2,45 - 3,5} \right) = 89,4 \text{ Ом.} \quad (6.7)$$

8. Знаходимо приблизне число вертикальних електродів без урахування опору сполучного прута:

$$n_{\text{в}} = \frac{R_{\text{в0}}}{R_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{в}}} = \frac{89,4}{10 \cdot 0,85} = 10,5 \approx 11, \quad (6.8)$$

де $\eta_{\text{в}} = 0,85$ – коефіцієнт використання вертикальних електродів;

$R_{\text{н}} = 10 \text{ Ом}$ – нормований опір розтіканню струму заземлюючого пристрою.

9. Визначимо довжину сполучної металевої прута за формулою:

$$l_n = (n_{\text{в}} - 1) \cdot a = (11 - 1) \cdot 3,5 = 35 \text{ м.} \quad (6.9)$$

10. Опір заземлювача зі сталевих прута круглого перерізу, покладеної горизонтально, визначається за формулою:

$$R_{\text{п}} = 0,366 \frac{R_{\text{г, розр.}}}{l_n} \cdot \lg \frac{2l_n^2}{d_{\text{г}} \cdot t} = 0,366 \frac{900}{35} \cdot \lg \frac{2 \cdot 35^2}{0,012 \cdot 0,7} = 51,43 \text{ Ом} \quad (6.10)$$

де $R_{\text{г, розр.}}$ – розрахунковий питомий опір для горизонтального заземлювача (смуги), Ом м;

l_n – довжина смуги, м;

$d_{\text{г}}$ – діаметр металевого прута, м;

t – глибина заглиблення прута, м.

Розрахункове питомий опір для горизонтального заземлювача визначаємо за формулою:

$$R_{\text{г, розр.}} = k'_{\text{с}} \cdot \rho_{\text{вим}} = 4,5 \cdot 200 = 900 \text{ Ом,} \quad (6.11)$$

де $k'_{\text{с}} = 4,5$ – коефіцієнт сезонності горизонтальних електродів.

11. Загальний опір ряду заземлювального пристрою, що складається з вертикальних електродів і сполучних смуг за формулою:

$$R_{\text{заг}} = \frac{R_{\text{п}} \cdot R_{\text{в0}}}{R_{\text{в0}} \cdot \eta_{\text{г}} + n_{\text{в}} R_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{в}}} = \frac{51,43 \cdot 89,4}{89,4 \cdot 0,85 + 11 \cdot 51,43 \cdot 0,8} = 8,7 \text{ Ом} \quad (6.12)$$

де $\eta_B = 0,8$ – коефіцієнт використання горизонтального заземлювача.

Загальний опір контуру $R_{\text{заг}}$ не перевищує нормованого значення R_n ($8,7 \text{ Ом} < 10 \text{ Ом}$), отже проєктовані об'єкти не створюють небезпеки для здоров'я обслуговуючого персоналу.

ВИСНОВКИ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Отримані та висхідні діаграми механічних випробувань розтягнут арматури з локальними ушкодженнями.

2. Як показати результати випробувань, кожен з типів ушкоджень впливають на тимчасову міцність арматури.

3. Всі стрижні, як у вигляді окремих фрагментів, так і в бетонним покриттям, розривалися в місцях корозійних уражень, мали меншу довжину плинності. Відносні тимчасові деформації в місцях уражень були значно меншими відносними деформаціями в інших місцях.

Основною характеристикою, що впливає на несучу здатність та довговічність арматурних стрижнів є втрата площі перерізу у місцях локальних уражень.

Втрата площі перерізу для досліджуваних зразків із локальними ушкодженнями становить від 40 до 60%. Залежно від виду ушкодження з'являються відносні залишкові подовження стрижнів: періодичного профілю – на 40-50%, а гладкого – на 50-60%. Крім того, більший тимчасовий розриву (на 50-60%) спостерігається у стрижнів гладкого профілю порівняно з стрижнями періодичного профілю.

Втрата площі перерізу для досліджуваних зразків із локальними ушкодженнями становить від 40 до 60%. Залежно від виду ушкодження з'являються відносні залишкові подовження стрижнів: періодичного профілю – на 40-50%, а гладкого – на 50-60%. Крім того, більший тимчасовий розриву (на 50-60%) спостерігається у стрижнів гладкого профілю порівняно з стрижнями періодичного профілю.

Втрата площі перерізу для досліджуваних зразків із локальними ушкодженнями становить від 40 до 60%. Залежно від виду ушкодження з'являються відносні залишкові подовження стрижнів: періодичного профілю – на 40-50%, а гладкого – на 50-60%. Крім того, більший тимчасовий розриву (на 50-60%) спостерігається у стрижнів гладкого профілю порівняно з стрижнями періодичного профілю.

8. На даній ділянці спостерігається значна нерівномірність поздовжніх деформацій арматури, котра залежить від втрати площі перерізу і ширини уражень на ділянці.

9. Відносні залишкові деформації на центральній ділянці зростають з відносною втратою перерізу арматури. Більш різкі зростання відносних деформацій на центральній ділянці для арматури гладкого профілю в порівняння із арматурою періодичного профілю при одній і тій же втраті перерізу.

10. Отримано аналітичні залежності, що пов'язують деформаційні якості розтягнутої арматури залізобетонних конструкцій із характеристиками її локальних корозійних уражень.

11. За допомогою даних залежностей можливо оцінити зміну деформаційних характеристик досліджуваної арматури при будь-яких значеннях розміру ділянки і глибини корозійних уражень арматури та дослідити ступінь впливу кожного показника на міру деформаційних характеристик залізобетонних конструкцій у цілому.

12. Результати досліджень можуть бути використані при розрахунках залишкових ресурсів залізобетонних конструкцій, арматури, які отримали локальні ураження, а також при розрахунках підсилення конструкцій.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 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. – 6с.
2. Knjfel D/ Carbonatisierung von Beton // Bauteilschutz Bausanierung. Sonderheft, 1983. – s. 58-63.
3. Бондар Л.В. Бондар В.О. Аналіз існуючих методів захисту арматури залізобетонних конструкцій. Деп. 5.07.95 в ДНТБ України, №1673 Ук95. – 14с.
4. Liu Xila, Miao Shuke / Туму гуниэ сяэбао – China Civ. Eng. J. – 1900. – 23, №4. С. 69-78.
5. Opis elektrodyfuzyjne procesu korozji zbrojenia w zelbecie / Zybura Adam // Arch. inz. bud. - 1989. – 35, №4, - С. 63-79.
6. Vian, J. Kote, P. Reliability of concrete structure member under corrosion attack // Durability Design and Fracture Mechanics of concrete structures: Proc. Int. Conf. «Construction and Architecture». Edit. Khreasaliev, Leonovich. – Minsk – 2003. – С. 38-47.
7. Jones, D.A. Principles of and prevention of corrosion. Macmillan New York: - 1992. – 215 с.
8. Broomfield, J. Corrosion of steel in concrete. Understanding, investigation repair. E FN Spon: London. – 1997. – 346 с.
9. Чехов, А. П., & Глущенко, В. М. (1994). Захист будівельних конструкцій від корозії. К.: Вища школа.
10. Байрачний, Б. І., Гульський, Г. Г., Штефан, В. В., & Токарева, Т. А. (2016). Технічна електрохімія. Частина V. Сучасні хімічні джерела струму, електроліз розплавів, електросинтез хімічних речовин. Харків: НТУ «ХПІ».
11. Плугін, А. А., Плугін, А. М., Кагановський, О. С., Градбосев, 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), 1-18.

12. Бондар Л.В., Бондар В.О. Аналіз існуючих методів захисту арматури залізобетонних конструкцій. Деп. 5.07.95 в ДНТБ України, №1673. Ук95.
13. Бондар Л.В., Бондар В.О. Особливості корозії арматури надземних залізобетонних конструкцій виробничих будівель та споруд. Деп. 10.07.95 в ДНТБ України, №1758 Ук95.
14. Авторське право на твір. Свідectво про реєстрацію авторського права на твір № 118351 Стаття «Заміщення арматурних сталей при виготовленні згинальних залізобетонних елементів прямокутного перерізу за невизначених статистичних характеристиках вихідних матеріалів» Автори: Бондар В.О., Бондар Л.В., Попович Н.М. Дата реєстрації 21.04.2023..
15. ДСТУ Б В.2.7-32-95 «Будівельні матеріали. пісок шільний природний для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови»
16. ДСТУ Б В.2.7-71-98 «Щебінь і гравій із шільних гірських порід і відходів промислового виробництва для будівельних робіт. Методи фізико-механічних випробувань»
17. ДСТУ Б В.2.7-273 : 2011 «Вода для бетонів і розчинів.Технічні умови»
18. ДСТУ Б В.2.7-188:2009 «Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови»
19. ДСТУ 3760:2006 Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій.Технічні умови.
20. Бондар, Л. В., Бондар В. О., & Попович, Н. М. (2021). Використання конструктивних рішень будівель і споруд, умов експлуатацій при влаштуванні електрохімічного захисту арматури залізобетонних конструкцій. Publishing House "Baltija Publishing".
21. Бондар, В. О., Бондар, Л. В., Гершеніна, А. О., & Гроздь, А. В. (2016). Улаштування та розрахунок системи електрохімічного захисту від корозії арматури залізобетонних перекриттів із з'єднаних ребристих плит ACADEMIC JOURNAL Industria Machine Building, Civil Engineering, 2(47), 117-124.

22. Стоєв П. І., Литовченко С. В., Гірка І. О., Грицина В. І. Хімічна корозія та захист металів : навчальний посібник : Харків, ХНУ імені Ф. Ч. Каразіна, 2019. 216 с. ISBN 978-966-285-548-7
23. Валовой, О. І., Валовой, М. О., & Сіянко, Б. Г. (2022). Захист металевих будівельних конструкцій від корозії (Doctoral dissertation, Криворізький національний університет).
24. Послідовне та паралельне з'єднання провідників. <http://fizika-otzt.narod.ru/index/0-40>
25. В.Г. Поклюсський, 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://ph.nuczu.edu.ua/images/ppnp/MetodVudavnDiyal/12_1.pdf.
27. М.И. Дворкін. Гідротехнічні бетони : навч. посібник. Київ : Каравела. 2023. 285 с.
28. Виробництво залізобетонних конструкцій і виробів: довідник/ під заг. Редакцією Гоца В.І.-К. Основа, 2019. – 464 с.
29. О. М. Пшінько, М. В. Савицький, А. М. Зінкевич. Відновлення експлуатаційної придатності бетонних, залізобетонних та кам'яних конструкцій : навчальний посібник. Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. І. Лазаряна. Дніпро, 2018. 220 с. ISBN 978-966-8471-86-5
30. Гоц В. І., Павлюк В. В., Шилук П. С. Бетони і будівельні розчини: підручник Київ: Основа, 2016. 568 с.
31. Охорона праці. Інструкція з охорони праці при експлуатації електроустановок до 1000В в установках та закладах освіти.
33. ДСТУ Б В.2.6-145:2010. Захист бетонних і залізобетонних конструкцій від корозії загальні технічні вимоги.
34. ДСТУ Б В.2.7-112-2002 «Цементи. Загальні технічні умови»
35. ДСТУ Б В 2.7-215:2009 «Бетони. Правила підбора складу».