

Національний університет
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Навчально-науковий інститут архітектури, будівництва та землеустрою
Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної магістерської роботи
на тему:

«ДОСЛІДЖЕННЯ МЦНОСТІ ТРУБОБЕТОНУ З РЕЦИКЛІНГОВИХ МАТЕРІАЛІВ»

Виконав: А.О. Дмитришин

студент групи 601- мБТ

спеціальності 192 – будівництво та цивільна
інженерія, ОП «Технології будівельних
конструкцій, виробів і матеріалів»

Керівник О.М. Гукасян

Завідувач кафедри О.В. Семко

Рецензент Ю.О. Побуховська

Полтава 2026

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	6
1.1. Міцність бетону в конструкції	6
1.2 Міцність при стиску бетонного осердя в конструкціях	6
1.3 Значення технологічних параметрів у формуванні надійності конструкцій.....	9
1.3.1 Вимоги до сировинних матеріалів.....	13
1.3.2 Додатки для регулювання властивостей бетонної суміші	18
1.3.3 Вплив виробничих факторів на міцність бетону	18
1.4 • Рециклінгові матеріали в будівництві.....	19
1.4.1 Загальна характеристика рециклінгових матеріалів.....	22
1.4.2 Напрями використання рециклінгових матеріалів у будівництві.....	22
РОЗДІЛ 2 МЕТА РОБОТИ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	26
РОЗДІЛ 3 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ	27
3.1 Визначення характеристик вихідних матеріалів.....	27
3.2 Планування експерименту.....	27
3.3 Підбір складу бетону.....	31
3.4. Характеристики дослідних зразків.	32
3.5 Підготовка до випробувань	33
3.6 Методика проведення експериментальних досліджень	33
РОЗДІЛ 4 ХАРАКТЕРИСТИКА ВИХІДНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	37
4.1 Цемент	37
4.1 Щебінь	38
4.3 Пісок.....	39
4.4 Пластифікатор.....	40
РОЗДІЛ 5 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	41
5.1. Проведення експериментальних досліджень	41
5.1.1 Середня густина бетону.....	41

	3
5.1.2. Міцність зразків циліндрів	42
5.1.3. Міцність зразків-кубів з довжиною ребра 150 мм.....	44
5.1.4. Міцність зразків-кубів з довжиною ребра 100 мм.....	46
5.2. Характер руйнування та мінливість міцності експериментальних зразків	48
5.2.1. Результати експериментальних досліджень зразків циліндрів	48
5.2.2. Результати експериментальних досліджень зразків-кубиків з довжиною ребра 150 мм.....	56
5.2.2. Результати експериментальних досліджень зразків-кубиків з довжиною ребра 100 мм.....	59
РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ.....	63
6.1. Бетонні роботи	63
6.2. Виконання будівельних робіт	64
6.3. Вимоги до робочих місць	68
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	70
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	71

ВСТУП

У сучасній практиці будівництва поряд із традиційними будівельними матеріалами дедалі активніше впроваджуються рециклінгові матеріали, отримані в результаті перероблення будівельних і промислових відходів [1, 2]. Їх використання відповідає принципам раціонального природокористування, сприяє скороченню обсягів відходів та зменшенню негативного антропогенного впливу будівельної галузі на довкілля [3].

До найбільш поширених рециклінгових матеріалів у будівництві належать подрібнені бетонні та залізобетонні відходи, вторинний щебінь, регенований асфальтобетон, металобрухт, скляний бій, а також відходи цегляних і керамічних виробів [4 – 6]. Ці матеріали застосовуються як вторинні заповнювачі для бетонів і розчинів, у дорожньому будівництві, під час улаштування основ та підстильних шарів, а також для виготовлення окремих будівельних виробів [7].

Застосування вторинних заповнювачів у бетонних сумішах потребує ретельного контролю їх гранулометричного складу, міцнісних характеристик та вмісту шкідливих домішок [8]. Водночас результати експериментальних досліджень і практичний досвід свідчать, що за дотримання технологічних вимог рециклінгові матеріали можуть забезпечувати необхідні показники міцності, довговічності та експлуатаційної надійності бетонних і залізобетонних конструкцій [9, 10].

Залучення рециклінгових матеріалів до будівельного виробництва розглядається як один із ключових напрямів розвитку сталого будівництва, оскільки дозволяє зменшити споживання природних ресурсів, скоротити енерговитрати та підвищити екологічну ефективність будівельних процесів без істотного погіршення технічних характеристик конструкцій [1, 11].

Разом із тим вплив технології бетонування, зокрема сталезалізобетонних і трубобетонних елементів із використанням рециклінгових матеріалів, залишається недостатньо вивченим. Наразі відсутні узагальнені експериментальні дані, методики розрахунку та повноцінна нормативна база для проектування таких конструкцій [12 – 15].

Рециклінгові бетони, як правило, характеризуються підвищеною пористістю, неоднорідною структурою та зниженими міцнісними показниками порівняно з традиційними важкими бетонами, що обмежує доцільність їх застосування в конструкціях високих класів міцності без використання додаткових технологічних заходів [9, 16].

У зв'язку з цим актуальним є дослідження впливу технології бетонування на міцнісні характеристики сталезалізобетонних і трубобетонних елементів, зокрема з імітацією бетонів

знижених класів міцності, що має важливе теоретичне та практичне значення для розвитку екологічно орієнтованого будівництва [13, 17].

РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Міцність бетону в конструкції

У сучасній практиці будівництва значного поширення набули залізобетонні та сталезалізобетонні конструкції, у зв'язку з чим їх вивчення є актуальним напрямом наукових досліджень [18, 19]. Водночас питання впливу технологічних особливостей бетонування осердя елементів на загальну міцність конструкцій залишається майже не вивченим. Недостатньо дослідженими також є методи розрахунку елементів, що характеризуються різними фізико-механічними властивостями бетону по висоті перерізу [20]. З огляду на зазначене, доцільним є аналіз впливу технології бетонування сталезалізобетонних елементів із неоднорідним по висоті бетонним осердям [21].

Результати експериментальних досліджень [21–23] свідчать про те, що ізоляція бетонної суміші від впливу навколишнього середовища, зокрема при бетонуванні в замкненому просторі труби, позитивно позначається на показниках міцності бетону. Замість прогнозованої усадки спостерігається процес набухання та об'ємного розширення бетону, що забезпечує зростання його міцності на 10–15% [22]. Такий ефект зберігається протягом тривалого часу та створює сприятливі умови для роботи конструкції під навантаженням. Крім того, повзучість бетону, обмеженого сталеву обіймою, є меншою порівняно зі звичайними залізобетонними елементами і практично не впливає на зміну модуля деформацій у часі [23]. Разом із тим складні умови укладання бетонної суміші в обмежений простір істотно позначаються на загальній несучій здатності конструкцій, що може зумовлювати неоднорідність бетонного ядра по об'єму елемента [24].

Метою даної роботи є проведення експериментальних досліджень з метою оцінювання впливу відхилень у технології виготовлення сталезалізобетонних конструкцій та змін фізико-механічних характеристик бетону осердя на їхню несучу здатність, міцність і деформативність [25].

Для аналізу впливу неоднорідності міцності бетонних елементів, зокрема різних варіантів ослаблення бетонного осердя по висоті зразка, було виконано серію експериментальних досліджень [21, 26].

Таким чином, основним завданням експериментальної частини є отримання кількісних даних щодо впливу технології бетонування та найбільш поширених дефектів, зокрема нерівномірності міцності бетону по висоті елемента [27]. Запропонований підхід дає змогу класифікувати дефекти бетонного осердя за ступенем їх впливу на несучу здатність і деформативність конструкцій та слугуватиме базою для подальшої розробки методик розрахунку й оцінювання технічного стану трубобетонних елементів [28].

Європейський стандарт EN 206 «Concrete» встановлює основні вимоги до складу, властивостей бетонної суміші та затверділого бетону, а також регламентує класифікацію бетонів за міцністю і умовами експлуатації [29]. Водночас українська система нормування бетонів має певні відмінності, зокрема щодо підходів до підбору складу бетонної суміші та оцінювання якості бетону [30].

Відповідно до чинних національних стандартів, бетони класифікуються за функціональним призначенням, середньою густиною, видом в'язучих речовин, типом заповнювачів і структурними ознаками [30, 31]. Разом із тим чинна нормативна база України не містить достатньо повних рекомендацій щодо проектування та розрахунку трубобетонних і сталезалізобетонних конструкцій, що зумовлює необхідність подальших досліджень у цьому напрямі [32].

1.2 Міцність при стиску бетонного осердя в конструкціях

Проведений аналіз варіації фізико-механічних характеристик матеріалів, що формують сталезалізобетонні конструкції, показує, що серед усіх складових саме бетон вирізняється найбільшою неоднорідністю властивостей [18]. Крім того, з урахуванням специфіки процесів твердіння та особливостей напружено-деформованого стану, який формується в бетонному осерді сталезалізобетонних

елементів, статистичні параметри розподілу показників його міцності й деформативності можуть зазнавати суттєвих змін [19]. Виявлення та коректне врахування зазначених закономірностей є необхідною умовою при виконанні ймовірнісного аналізу роботи конструкцій та оцінюванні їх надійності [20].

Визначальний вплив на фізико-механічні властивості бетону має його структура, формування якої значною мірою обумовлюється водоцементним відношенням (В/Ц) [21]. За наявності надлишкової кількості незв'язаної води зменшується середня густина бетону: пористість цементного каменю може досягати близько третини його об'єму, що, у свою чергу, призводить до зниження міцнісних показників матеріалу [18].

Характерною особливістю бетону є змінність його структури в часі, яка зумовлена перерозподілом водяного балансу, зменшенням об'єму гелю, що твердне, та розвитком кристалічних утворень із вищою пружністю [22]. Наслідком цих процесів є зменшення загального об'єму бетону, тобто усадка, величина якої залежить від ряду факторів, зокрема виду та кількості цементу, вмісту води, а також характеристик заповнювачів [21].

Встановлено, що навантаження або попередній обтиск бетонної суміші до завершення процесу твердіння сприяє підвищенню її міцності [23]. Експериментальні дослідження підтверджують, що ізоляція бетонної суміші від впливу навколишнього середовища, наприклад у сталевій трубі, позитивно позначається на міцності бетону [4, 5, 23]. За таких умов замість очікуваних усадкових деформацій спостерігається процес набухання та об'ємного розширення бетону, який зберігається протягом тривалого часу й створює сприятливі умови для роботи матеріалу під навантаженням [24].

Причиною зазначеного ефекту є відсутність вологообміну між бетонним ядром та зовнішнім середовищем у межах оболонки. Так, у відомих експериментах [10] після зняття ізоляції з одного із зразків через 135 діб було зафіксовано інтенсивний розвиток усадкових деформацій, величина яких практично зрівнялася з показниками неізольованих аналогів. При цьому

поздовжні усадкові деформації ізольованого зразка залишалися незначними та становили $\epsilon_b = (2...3) \cdot 10^{-5}$, що є однією з переваг сталезалізобетонних конструкцій у порівнянні зі звичайним залізобетоном [23].

З огляду на те, що бетон належить до найбільш мінливих будівельних матеріалів, виробничі чинники, які визначають рівень варіації його міцності V_b у конструкціях, доцільно згрупувати за трьома основними напрямками [18, 21] (подальший аналіз мінливості міцності, впливу дозування компонентів та віку бетону відповідає експериментальним і нормативним даним, наведеним у працях [18, 20, 25]).

В Одеській державній академії будівництва та архітектури (ОДАБА) було виконано масштабну серію лабораторних досліджень, спрямованих на вивчення впливу віку бетону на зміну показника V_b , результати яких підтверджують істотне зростання мінливості міцності в ранньому віці бетону [7, 25].

1.3 Значення технологічних параметрів у формуванні надійності конструкцій

Технологічні особливості виготовлення будівельних конструкцій і виконання монтажних робіт суттєво впливають на рівень їх надійності. Як показує статистичний аналіз вітчизняних і зарубіжних аварійних випадків [11], приблизно 60% відмов будівельних конструкцій зумовлені порушеннями технології монтажу та незадовільною якістю виконання будівельних робіт. Одним із ключових показників рівня технологічної культури виготовлення залізобетонних, у тому числі трубобетонних, конструкцій є мінливість міцнісних і деформативних характеристик бетону [26].

Результати досліджень властивостей бетону у заводських виробках [12, 13], монолітних конструкціях [14, 15], а також лабораторних випробувань [4] свідчать про значну, інколи до 40%, варіацію міцності в межах одного конструктивного елемента [27]. На величину цієї мінливості впливають як технологічні чинники (якість цементу та заповнювачів, склад бетонної суміші,

точність дозування, умови перемішування, ущільнення та догляду за бетоном), так і випадкові фактори, що зумовлюють зміну міцності вздовж довжини елемента [28].

Надійність бетонних елементів значною мірою визначається якістю матеріалів, що використовуються для формування бетонного осердя, а також технологією заповнення сталевих труб-оболонок бетонною сумішшю [29].

Міцність бетону характеризується його здатністю протидіяти руйнуванню під дією зовнішніх навантажень і залежить від комплексу чинників, серед яких визначальними є водоцементне відношення В/Ц, активність або марка цементу, а також умови та тривалість твердіння [30]. Разом із тим, існує низка додаткових факторів, яким у практиці проектування часто приділяється недостатня увага, зокрема тип цементу, якість заповнювачів, умови приготування, транспортування та укладання бетонної суміші [31].

Фізико-механічні характеристики бетону значною мірою зумовлюються його внутрішньою структурою, що формується під впливом водоцементного відношення [32]. Надлишкова кількість незв'язаної води призводить до зменшення густини бетону: пористість цементного каменю може досягати близько третини його об'єму, що негативно позначається на міцності матеріалу і, відповідно, на несучій здатності конструкції [33].

Структура

бетону є принципово неоднорідною. Вона являє собою просторову систему цементного каменю, в якій розміщені зерна піску та щебеню різної форми й розмірів, а також значна кількість мікропор і капілярів, заповнених хімічно незв'язаною водою, водяною парою та повітрям [34]. Суцільність бетонної маси при цьому порушується. Сам цементний камінь також характеризується структурною неоднорідністю та складається з пружних кристалічних утворень і в'язкої зв'язувальної фази [35].

Відмінною

рисою бетону є його здатність змінювати внутрішню структуру з часом, що

зумовлено перерозподілом вологи, скороченням об'єму гелю, який твердне, та розвитком більш пружних кристалічних утворень [36]. Унаслідок цих процесів відбувається зменшення загального об'єму бетону, тобто усадка, величина якої залежить від ряду чинників, зокрема виду й кількості цементу, вмісту води, а також типу та розміру заповнювачів [37].

Зазначені явища є характерними переважно для бетонів, що тверднуть у відкритому повітряному середовищі. Натомість для бетонів, які набирають міцність у замкненому просторі об'єми, типовим є інший процес – набухання [4, 10].

Виробництво бетонної суміші включає комплекс основних технологічних операцій: підготовку вихідних матеріалів, їх дозування та подальше змішування [38]. Підготовка матеріалів передбачає висушування заповнювачів до необхідної вологості, очищення їх від шкідливих домішок і поділ за фракційним складом [39].

Якість бетонної суміші оцінюється за низкою показників, серед яких легкоукладальність, середня густина, пористість, схильність до розшаровування, температура та стабільність властивостей у часі [4, 40].

Вибір цементу здійснюється з урахуванням основних проектних вимог до бетону, а саме необхідної міцності, морозостійкості та корозійної стійкості, а також технологічних особливостей виготовлення виробів і умов бетонування [41]. Формування міцності бетону на ранніх стадіях твердіння визначається мінералогічним складом цементу, зокрема вмістом трьохкальцієвого алюмінату та силікатів [18].

Порова структура бетону істотно визначає його експлуатаційні властивості, насамперед довговічність, яка характеризується здатністю матеріалу протистояти агресивному впливу зовнішнього середовища. На основі сучасних уявлень про будову порового простору бетону та його залежність від складу суміші, властивостей компонентів, використання хімічних добавок, умов ущільнення й твердіння розробляються ефективні методи захисту бетону від

фізичних і хімічних руйнівних чинників. До таких методів належать просочування полімерними матеріалами, нанесення захисних покриттів, улаштування штучної гідроізоляції, а також створення умов, за яких корозійні процеси практично не розвиваються, зокрема під час бетонування в трубі-оболонці.

Визначальним параметром, що формує консистенцію та легкоукладальність бетонної суміші, є водоцементне відношення. Необхідна водопотреба для досягнення заданої рухомості або жорсткості суміші залежить від типу та кількості цементу, питомої поверхні й пористості заповнювачів, форми та характеру їх поверхні, співвідношення дрібного й крупного заповнювача, тривалості витримання суміші до укладання, а також виду й концентрації пластифікуючих добавок. Вибір показників рухомості або жорсткості бетонної суміші здійснюється з урахуванням конструктивних особливостей виробів, ступеня армування, способів ущільнення та умов транспортування [42].

Розшаровування бетонної суміші призводить до формування неоднорідної структури бетону, що, у свою чергу, зумовлює збільшення розсіювання значень його міцнісних показників. Основною причиною цього явища є седиментаційні процеси, під час яких компоненти суміші розподіляються по висоті відповідно до їх густини: важчі складові, насамперед заповнювачі, осідають у нижній частині форми, тоді як легші фракції зміщуються у верхні шари.

Заповнювачі виконують роль несного каркаса бетону, сприяють зниженню витрат цементу, підвищенню щільності та міцності матеріалу, а також зменшенню усадкових деформацій і внутрішніх напружень. Збільшення, у допустимих межах, вмісту крупного заповнювача в бетонній суміші позитивно впливає на міцність бетону, особливо за підвищених значень водоцементного відношення та невисокої міцності цементного розчину. Оптимальна кількість крупного заповнювача, що забезпечує належну легкоукладальність суміші, зазвичай становить 0,85–0,95 м³ на 1 м³ бетону.

Раціональне співвідношення між дрібним і крупним заповнювачами визначається умовою мінімальної пористості їх суміші, що дає змогу зменшити витрати цементу та підвищити міцність і довговічність бетону. Для цього вводять параметр p_g , який характеризує частку піску в загальному об'ємі заповнювачів. Міцнісні характеристики самих заповнювачів повинні перевищувати клас або марку проєктного бетону. Оцінювання міцності заповнювачів здійснюють шляхом випробувань безпосередньо гірських порід або шляхом дослідження їх поведінки у складі бетону.

Встановлено, що міцність щільних заповнювачів, як правило, не є обмежувальним чинником для міцності бетону, тоді як заповнювачі, отримані зі слабких гірських порід, можуть істотно знижувати міцнісні показники матеріалу. Зерна щільного піску зазвичай не піддаються окремим випробуванням на міцність. Наявність шкідливих домішок у заповнювачах негативно позначається на властивостях бетону: зокрема, для бетонів високих марок вміст пилюватих і глинистих частинок може призводити до зменшення міцності на 20–25% [43].

1.3.1 Вимоги до сировинних матеріалів

Піски, що застосовуються у бетонних сумішах для різних видів будівельних робіт, повинні відповідати підвищеним вимогам, встановленим чинними нормативними документами [44].

Якість піску оцінюється за такими основними показниками:

- гранулометричний склад;
- вміст пилюватих і глинистих частинок, у тому числі глини у вигляді грудок;
- наявність органічних домішок;
- міцність зерен (для пісків дроблення);
- сумарна питома активність природних радіонуклідів.

Насипна густина піску повинна становити не менше ніж 1100 кг/м^3 [44].

Як дрібний заповнювач для бетонів допускається використання пісків із модулем крупності $M_{кр}$ у межах від 1,0 до 4,0. При цьому вміст зерен розміром від 5,0 до 10,0 мм у пісках для бетонів обмежується такими значеннями (у відсотках за масою):

- для рядового піску – не більше 10%;
- для піску з відсівів дроблення – не більше 15%;
- для збагаченого піску – не більше 5%.

Кількість зерен крупністю понад 10,0 мм у пісках усіх типів не повинна перевищувати 0,5% за масою [44].

Вміст зерен, що проходять крізь сито № 016, обмежується такими значеннями (у відсотках за масою):

- для рядових пісків і пісків з відсівів дроблення – до 15%;
- для збагачених пісків – до 10%.

Максимально допустимий вміст пилюватих і глинистих частинок розміром менше 0,05 мм, який визначається методом відмулювання або піпетковим методом, у щільних пісках усіх видів не повинен перевищувати 3% за масою для важких конструкційних бетонів і щільних силікатних бетонів, а також для гідротехнічних споруд надводної зони та безнапірних труб [44]. При цьому вміст глини у вигляді грудок не допускається понад 0,35%.

Для виготовлення бетонів і розчинів дозволяється застосування пісків із дуже низьким або низьким вмістом органічних домішок, що визначається за кольором водного витягу, світлішим за еталонний [45].

Піски будь-якого типу не повинні містити сторонніх домішок, що засмічують матеріал, зокрема деревини, каміння, металевих включень, а також глини у вигляді грудок або злиплих утворень [44].

Крупні заповнювачі (КРЗ) повинні відповідати вимогам відповідного стандарту [46], виготовлятися за затвердженою технологічною документацією та характеризуватися такими основними показниками: гранулометричний склад, форма зерен, міцність, стиранність, вміст зерен слабких порід, морозостійкість,

кількість пилюватих і глинистих частинок (у тому числі глини в грудках), наявність шкідливих домішок і сполук, радіаційні показники, а також стабільність фізико-механічних властивостей.

Крупні заповнювачі випускаються у вигляді стандартних фракцій: від 5 до 10 мм включно, від 10 до 20 мм, від 20 до 40 мм, а також від 40 до 80 (70) мм.

Форма зерен КРЗ оцінюється за вмістом зерен пластинчастої (лящадної) та голкуватої форми. До таких зерен відносять частинки, товщина або ширина яких у три і більше разів менша за довжину. Залежно від кількості зерен зазначеної форми крупні заповнювачі поділяють на чотири групи відповідно до вимог, наведених у таблиці [47], при цьому їх вміст не повинен перевищувати 35% за масою.

Міцність крупного заповнювача з щільних природних гірських порід характеризується маркою, що визначається за показником роздрібнюваності при стисканні (роздавлюванні) в циліндрі, і повинна відповідати вимогам стандарту [46].

Морозостійкість крупного заповнювача оцінюють за кількістю циклів поперемінного заморожування та відтавання, за яких втрати маси не перевищують встановлених граничних значень. Допускається також визначення морозостійкості за результатами випробувань шляхом насичення у розчині сірчанокислого натрію з подальшим висушуванням. У разі розбіжності результатів пріоритет надається даним, отриманим методом заморожування та відтавання. Відповідні показники морозостійкості КРЗ повинні відповідати значенням, наведеним у таблиці 1.1 [46].

Вміст в КРЗ пилоподібних і глинистих часток (розміром менше 0,05 мм), яке визначається відмучуванням або піпеточним методом, залежно від виду гірської породи і марок по роздрібнюванню повинно відповідати зазначеному в таблиці 1.2 :

Таблиця 1.1 Показники морозостійкості КРЗ

Вид випробування	Марка КРЗ по морозостійкості								
	F15	F25	F35	F50	F100	F150	F200	F300	F450
Заморожування-відтавання:									
число циклів	15	25	35	50	100	150	200	300	450
втрата маси після випробування у відсотках, не більше	10	10	5	5	5	5	5	5	5
Насичення в розчині сірчаноокислого натрію – висушування:									
число циклів	3	5	8	10	10	15	15	15	15
втрата маси після випробування у відсотках, не більше	10	10	10	10	5	5	3	2	1

Вміст в КРЗ пилоподібних і глинистих часток (розміром менше 0,05 мм), яке визначається відмучуванням або піпеточним методом, залежно від виду гірської породи і марок по роздрібнюванню повинно відповідати зазначеному в таблиці 1.2 [44]:

Таблиця 1.2 Вміст в КРЗ пилоподібних і глинистих часток

Вид породи і марка по роздрібнюванню КРЗ	Вміст пилоподібних і глинистих часток
Щебінь з вивержених і метаморфічних порід марок: від 600 до 1400вкл. 200; 300; 400	1
	2
Щебінь із осадових порід марок: від 600 до 1200 вкл. 200; 300; 400	2
	3
Щебінь з гравію та гравій марок: 800; 1000 600 400	1
	2
	3

Щебінь, що застосовується як крупний заповнювач, не повинен містити шкідливих домішок, перелік яких визначено у додатку Б відповідного стандарту [44]. Матеріал має характеризуватися стійкістю до всіх основних видів руйнування, бути витривалим до впливу навколишнього середовища, а також до хімічної дії лужних компонентів і цементу. Наявність сторонніх забруднень у складі щебеню не допускається.

Рівень забезпеченості нормованих показників якості крупного заповнювача повинен становити не менше 95%.

Як в'язучу речовину використовували портландцемент марки ПЦ 500. Його стандартна міцність, що визначається за показниками міцності на стиск у віці 28 діб, а також показники ранньої міцності у віці 2 або 7 діб, повинні відповідати вимогам чинного нормативного документа [23], значення яких наведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 Стандартна міцність цементу

Марка цементу	Міцність при стиску в МПа, не менше		
	2 доби	7 діб	28 діб
300	-	15,0	30,0
400	-	20,0	40,0
400P	15,0	-	40,0
500	15,0	-	50,0
500P	25,0	-	50,0
550	20,0	-	55,0
600	25,0	-	60,0

Виробник зобов'язаний у процесі відвантаження цементу здійснювати контроль його активності при пропарюванні відповідно до вимог [24], охоплюючи не менше ніж 20% партій, що були відвантажені протягом кварталу.

Цемент повинен забезпечувати рівномірність зміни об'єму під час випробування зразків методом кип'ятіння у воді, а за вмісту оксиду магнію (MgO) у клінкері понад 5% – під час випробування в автоклаві згідно з [25].

Початок тужавіння цементів марок 300, 400 і 500 має відбуватися не раніше ніж через 60 хв після початку замішування, для цементів марок 550 і 600 – не раніше ніж через 45 хв, тоді як завершення процесу тужавіння не повинно перевищувати 10 годин.

Тонкість помелу цементу вважається достатньою за умови, що під час просіювання через сито № 008 проходить щонайменше 85% маси випробуваної проби.

Рухливість цементно-піщаного розчину складу 1:3, виготовленого з пластифікованих цементів усіх типів, має відповідати вимогам, за яких при водоцементному відношенні 0,4 розплив стандартного конуса становить не менше 135 мм.

Вода, що використовується для приготування бетонної суміші та розчинів хімічних добавок, повинна відповідати нормативним вимогам [26]. Вміст у воді органічних поверхнево-активних речовин, цукрів або фенолів кожної групи не допускається понад 10 мг/л. Наявність плівок нафтопродуктів, жирів або олій у воді не допускається.

Показник окиснюваності води повинен бути не вищим за 15 мг/л, а значення водневого показника (рН) – перебувати в межах від 4 до 12,5.

Також вода не повинна містити домішок у кількостях, що можуть порушувати строки схоплювання й твердіння цементного тіста або бетону, а також негативно впливати на міцність і морозостійкість бетонних конструкцій.

1.3.2 Добавки для регулювання властивостей бетонної суміші

Виробник зобов'язаний у процесі відвантаження цементу здійснювати контроль його активності при пропарюванні відповідно до вимог [24, 49], охоплюючи не менше ніж 20% партій, що були відвантажені протягом кварталу.

Цемент повинен забезпечувати рівномірність зміни об'єму під час випробування зразків методом кип'ятіння у воді, а за вмісту оксиду магнію (MgO) у клінкері понад 5% – під час випробування в автоклаві згідно з [25, 50].

Початок тужавіння цементів марок 300, 400 і 500 має відбуватися не раніше ніж через 60 хв після початку замішування, для цементів марок 550 і 600 – не раніше ніж через 45 хв, тоді як завершення процесу тужавіння не повинно перевищувати 10 годин [25, 50].

Тонкість помелу цементу вважається достатньою за умови, що під час просіювання через сито № 008 проходить щонайменше 85% маси випробуваної проби [25, 50].

Рухливість цементно-піщаного розчину складу 1:3, виготовленого з пластифікованих цементів усіх типів, має відповідати вимогам, за яких при водоцементному відношенні 0,4 розплив стандартного конуса становить не менше 135 мм [25, 50].

Вода, що використовується для приготування бетонної суміші та розчинів хімічних добавок, повинна відповідати нормативним вимогам [26, 52].

Щебінь, що застосовується як крупний заповнювач, не повинен містити шкідливих домішок, перелік яких визначено у додатку Б відповідного стандарту [44, 53].

1.3.3 Вплив виробничих факторів на міцність бетону

Міцнісні характеристики бетону залежать не лише від кількісного та якісного складу його компонентів, але значною мірою визначаються виробничими чинниками. До них належать точність дозування складових, умови перемішування та ущільнення бетонної суміші, а також способи її транспортування [54, 49]. На сучасних підприємствах дозування цементу, води та хімічних добавок, як правило, здійснюється з точністю $\pm 1\%$, тоді як для заповнювачів допустимі відхилення становлять близько $\pm 2\%$. Разом із тим у виробничій практиці нерідко спостерігаються більші відхилення від заданих параметрів.

Дослідження показують, що збільшення тривалості перемішування бетонної суміші в межах оптимальних значень позитивно впливає на міцність бетону [55, 50]. Для пластичних сумішей подовження часу перемішування понад 1,5–2 хв практично не позначається на міцнісних показниках, тоді як для жорстких сумішей збільшення тривалості перемішування понад 2 хв призводить до суттєвого зростання міцності. Водночас надмірне перемішування жорстких сумішей (понад 10 хв) має протилежний ефект і спричиняє зниження міцності бетону. Слід зазначити, що отримання однорідної структури бетону з жорстких сумішей можливе переважно за умови застосування бетонозмішувачів примусової дії.

Ущільнення бетонної суміші зазвичай здійснюється шляхом вібрування або комбінації вібрування зі штампуванням чи прокатуванням. Під дією вібрацій суміш переходить у стан коливального руху: її компоненти отримують імпульси та перебувають у нестійкій рівновазі, внаслідок чого бетонна суміш набуває властивостей важкої рідини. Це супроводжується різким зменшенням внутрішнього тертя, що полегшує заповнення форми та сприяє ефективному ущільненню [56].

Основними параметрами процесу віброущільнення є інтенсивність, частота та амплітуда коливань. Інтенсивність вібрування визначається співвідношенням амплітуди та частоти коливального руху. Під час вибору режимів віброущільнення необхідно враховувати, що зі зростанням добутку A^2f^3 ступінь ущільнення бетону підвищується, а отже, зростає і його міцність [56].

Залежно від легкоукладальності бетонної суміші для досягнення повного ущільнення необхідно витратити різну кількість роботи. За фіксованих значень частоти та амплітуди вібрації ця робота визначається тривалістю вібрування, яка підбирається індивідуально для кожного виробу. Надлишкове вібрування, як правило, не призводить до підвищення міцності бетону, а для пластичних сумішей може викликати їх розшарування [55].

Максимальні значення міцності бетону досягаються за тривалості вібрування, що дорівнює показнику жорсткості суміші (Ж) або перевищує його, за умови однакових параметрів вібрування та визначення жорсткості за допомогою технічного віскозиметра [56].

Процес твердіння бетону характеризується інтенсивним набором міцності на початкових етапах, після чого швидкість цього процесу поступово зменшується. Міцність бетону в певному віці може бути прогнозована з використанням логарифмічної залежності [50].

1.4 • Рециклінгові матеріали в будівництві

Рециклінгові матеріали в будівництві – це матеріали, отримані внаслідок переробки будівельних відходів або відпрацьованої сировини, які повторно використовуються при зведенні будівель і споруд [54].

До рециклінгових матеріалів відносять подрібнений бетон і залізобетон після демонтажу, вторинну цеглу та кераміку, перероблений метал, скло, полімери, а також інші матеріали, що після відповідної обробки зберігають придатні фізико-механічні властивості. Їх використання дозволяє зменшити споживання природних ресурсів, скоротити обсяги відходів, знизити екологічне навантаження та підвищити економічну ефективність будівельного виробництва [55].

Актуальність упровадження рециклінгових бетонів у будівельну практику зумовлена необхідністю зниження ресурсомісткості будівництва, раціонального використання сировини та мінімізації екологічного навантаження. Перероблення будівельних відходів із подальшим використанням вторинних заповнювачів у складі бетонів дозволяє скоротити споживання природних матеріалів і зменшити обсяги відходів, що накопичуються на полігонах [56].

Разом з тим, рециклінгові бетони мають низку характерних особливостей, які впливають на їх міцнісні та деформативні властивості. Наявність залишків старого цементного каменю на поверхні зерен вторинного заповнювача, підвищена пористість і водопоглинання, а також неоднорідність структури призводять до зниження середньої щільності та міцності бетону порівняно з традиційними важкими бетонами на природних заповнювачах [57]. Унаслідок цього отримання бетонів високих класів міцності з використанням рециклінгових матеріалів потребує значного збільшення витрат цементу та застосування ефективних модифікуючих добавок, що не завжди є економічно доцільним [58].

З огляду на зазначене, теоретично обґрунтованим є підхід, за якого рециклінгові бетони розглядаються як різновид важких бетонів нижчих класів

міцності. У межах таких класів допустимі певні коливання міцнісних і структурних характеристик без істотного впливу на експлуатаційну надійність конструкцій [59].

З позицій теорії структуроутворення бетону зниження класу міцності сприяє формуванню більш технологічно стабільної системи «цементний камінь – заповнювач», у якій негативний вплив підвищеної пористості та неоднорідності рециклінгових матеріалів не є критичним [60]. При цьому забезпечується достатній рівень міцності та тріщиностійкості для конструкцій, що працюють у умовах малих і середніх навантажень.

Крім того, використання рециклінгових бетонів у нижчих класах важких бетонів відповідає принципам раціонального проектування, відповідно до яких матеріал повинен застосовуватися з урахуванням реальних вимог до його експлуатаційних характеристик [61]. Такий підхід дозволяє зменшити витрату цементу – найбільш енергоємного та екологічно навантаженого компонента бетону – і водночас забезпечити нормативні показники міцності та довговічності.

Отже, перехід від традиційного застосування рециклінгових бетонів до їх використання у складі важких бетонів нижчих класів є теоретично обґрунтованим з позицій механіки матеріалів, технології бетону, економічної доцільності та екологічної ефективності [62]. Такий підхід створює наукові та практичні передумови для широкого впровадження вторинних матеріалів у сучасне будівництво без зниження надійності будівель і споруд.

1.4.1 Загальна характеристика рециклінгових матеріалів

Рециклінгові матеріали в будівництві являють собою групу матеріалів і сировини, отриманих у результаті переробки відходів будівельного, промислового та побутового походження, які після відповідної обробки повторно використовуються у будівельному виробництві [63]. Їх застосування є важливою складовою концепції сталого розвитку, що передбачає зменшення споживання первинних природних ресурсів та мінімізацію негативного впливу на навколишнє середовище [64].

У сучасних умовах зростання обсягів будівництва та реконструкції споруд супроводжується значним утворенням відходів, що потребує раціональних підходів до їх утилізації [65]. Рециклінг дозволяє розглядати відходи не як кінцевий продукт життєвого циклу будівельних матеріалів, а як потенційне джерело вторинної сировини з придатними технічними характеристиками [66].

Джерела отримання рециклінгових матеріалів. Основними джерелами рециклінгових матеріалів у будівництві є відходи, що утворюються під час демонтажу будівель і споруд, а також залишки виробництва будівельних матеріалів і виробів [67]. До таких відходів належать уламки бетону та залізобетону, цегляний бій, асфальтобетон, металеві конструкції, скло, полімерні матеріали та інші компоненти [68].

Після демонтажу ці матеріали проходять комплекс операцій, що включає сортування, подрібнення, очищення від домішок та, за необхідності, додаткову фізико-хімічну обробку [69]. У результаті отримується вторинна сировина, придатна для використання в нових будівельних сумішах або конструкціях [70].

Основні види рециклінгових матеріалів, що застосовуються в будівництві. До найбільш поширених видів рециклінгових матеріалів належать [71]: подрібнений бетон і залізобетон, який використовується як вторинний заповнювач для бетонів і основ дорожніх покриттів [72];

цегляна та керамічна крихта, що застосовується у легких бетонах, теплоізоляційних шарах і підсипках [73];

вторинні метали, які після переплавлення знову залучаються у виробництво сталевих елементів [74]; перероблене скло, що використовується як заповнювач або декоративний компонент [75];

полімерні матеріали вторинного походження, які застосовуються у вигляді добавок, утеплювачів або елементів оздоблення [76].

Крім того, у будівництві широко використовуються промислові відходи, зокрема доменні та металургійні шлаки, золи винесення, які можуть частково замінювати традиційні мінеральні компоненти [77].

1.4.2 Напрями використання рециклінгових матеріалів у будівництві

Рециклінгові матеріали знаходять застосування в різних галузях будівництва залежно від їх фізико-механічних властивостей [78]. Найбільш поширеним напрямом є використання вторинних заповнювачів у бетонних і залізобетонних конструкціях, де вони можуть частково або повністю замінювати природний щебінь і пісок [79].

Окрім цього, рециклінгові матеріали застосовуються при влаштуванні основ і покриттів автомобільних доріг, у виробництві тротуарної плитки, блоків, а також як матеріали для зворотної засипки та планування територій [80]. У деяких випадках вторинні матеріали використовуються для створення тепло- та звукоізоляційних шарів [81].

Переваги застосування рециклінгових матеріалів Застосування рециклінгових матеріалів у будівництві має низку суттєвих переваг [82]. Насамперед це скорочення обсягів відходів, що підлягають захороненню, та зменшення навантаження на полігони твердих побутових і будівельних відходів [83]. Важливою перевагою є також збереження природних ресурсів, зокрема нерудних матеріалів, видобуток яких супроводжується значним екологічним впливом [84].

З економічної точки зору використання вторинної сировини дозволяє знизити собівартість будівельних матеріалів і конструкцій, а також зменшити витрати на транспортування та утилізацію відходів [85]. Крім того, рециклінг сприяє розвитку ресурсозберігаючих технологій і підвищенню ефективності будівельного виробництва [86].

Проблеми та перспективи використання рециклінгових матеріалів Попри значні переваги, використання рециклінгових матеріалів потребує ретельного контролю їх якості та властивостей [87]. Вторинні матеріали можуть характеризуватися підвищеною неоднорідністю, наявністю залишкових домішок або зміненою структурою, що впливає на міцнісні та деформативні характеристики бетонів і конструкцій [88].

У зв'язку з цим актуальним є подальше вдосконалення технологій переробки, розроблення методів випробування та нормативних документів, що регламентують застосування рециклінгових матеріалів у будівництві [89]. Перспективним напрямом є комплексне дослідження впливу таких матеріалів на довговічність, надійність і експлуатаційні характеристики будівельних конструкцій [90].

РОЗДІЛ 2 МЕТА РОБОТИ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

Мета і задачі дослідження. Основна мета роботи – експериментально-теоретично дослідити міцність важких бетонів для трубобетонних конструкцій.

Об’єкт дослідження – бетон для трубобетонних конструкцій з використанням рециклінгових матеріалів.

Предмет дослідження – фізико-механічні властивості бетону для трубобетонних конструкцій.

Теоретичне обґрунтування – перехід від використання рециклінгових бетонів до важких бетонів нижчих класів є теоретично обґрунтованим, оскільки їх структурна неоднорідна і зниження міцності характерне таким бетонам та дозволяють забезпечити нормативну надійність.

Поставленій меті відповідають такі **основні задачі дослідження**:

- на основі результатів виконаних експериментів, отримати статистичні дані про міцність бетону для елементів трубобетонних конструкцій по висоті, при неоднорідності середньої міцності бетону;
- експериментально дослідити вплив геометричних розмірів та фізико-механічних характеристик бетонних елементів, при однакової витраті цементу на 1 м^3 та різній міцності по висоті на зразках різної форми та розмірів;

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Визначення характеристик вихідних матеріалів

Для виготовлення бетонних зразків як дрібний заповнювач застосовувався кварцовий пісок, що відповідає нормативним вимогам [20]. Пісок характеризувався модулем крупності $M_k = 1$, насипною густиною в сухому стані $\rho_n = 1480 \text{ кг/м}^3$, істинною густиною $\rho_a = 2620 \text{ кг/м}^3$ та вологістю 2 %.

Крупним заповнювачем слугував щебінь фракції 5–20 мм, який відповідав вимогам стандарту [21] та мав максимальний розмір зерен $D_{\max} = 20 \text{ мм}$. Показник пустотності щебеню становив 48,2 %, насипна густина – $\rho_n = 1397 \text{ кг/м}^3$, істинна густина – $\rho_a = 2700 \text{ кг/м}^3$. Матеріал був перевірений на вміст шкідливих домішок відповідно до [22].

В'язучим компонентом обрано портландцемент марки М500 з насипною густиною $\rho_n = 1300 \text{ кг/м}^3$ та істинною густиною $\rho_a = 3100 \text{ кг/м}^3$. Початок тужавіння цементу спостерігався через 60 хв, а кінець – через 10 годин від моменту замішування. Тонкість помелу цементу відповідала вимогам: при просіюванні через сито №008 проходило 85 % маси проби [49]. Рухливість цементно-піщаного розчину складу 1:3 при водоцементному відношенні 0,4 оцінювали за розпливом стандартного конуса, який становив 135 мм.

Вода, що використовувалася для приготування бетонної суміші та розчинів хімічних добавок, відповідала вимогам [26]. Концентрація органічних поверхнево-активних речовин, цукрів і фенолів не перевищувала 10 мг/л, не допускалась наявність плівок нафтопродуктів, жирів та олій. Окислюваність води не перевищувала 15 мг/л, а значення водневого показника (рН) перебувало в межах від 4 до 12,5. Також вода не містила домішок, які могли б негативно впливати на процеси схоплювання і твердіння цементного тіста та знижувати міцність і морозостійкість бетону.

3.2 Планування експерименту

Під час розроблення програми експериментальних досліджень враховувалося, що несуча здатність і напружено-деформований стан бетонних елементів залежать від їх геометричних параметрів, конструктивних особливостей зразків, способів прикладання навантаження, а також фізико-механічних властивостей вихідних матеріалів [63, 64].

Основною метою експериментальних досліджень було отримання даних щодо:

впливу класу бетону за міцністю, виду та ступеня заповнення штучно створених послаблень на міцність і несучу здатність стиснутих бетонних елементів [65];

характеру руйнування експериментальних зразків [66];

зміни міцності бетонних зразків по їх висоті [67];

особливостей міцнісних характеристик бетонів з однаковою витратою цементу, але з різною міцністю по висоті [68].

Відповідно до поставлених завдань експериментально досліджувався вплив технології бетонування на міцність коротких циліндричних і кубічних зразків з різним розташуванням штучних послаблень бетонного осердя по висоті [69, 70]. Також виконувалося порівняння технологічних і міцнісних показників бетонів двох проєктних класів із різним ступенем заповнення, а також оцінювався вплив дефектів бетонного осердя на загальну несучу здатність елементів [71].

Для реалізації програми було виготовлено одну серію зразків, у яких застосовувалося пошарове бетонування сумішами різної якості та з різними міцнісними характеристиками (рис. 3.1). Програма експериментальних досліджень передбачала випробування на стиск бетонних циліндрів зі співвідношенням розмірів $l = 2D$, а також кубів з розміром ребра 10 см і 15 см, що мали послаблення бетону на різних рівнях по висоті [72, 73].

У ході експерименту варійованими параметрами були склад бетонної суміші (на двох рівнях: середня кубикова міцність при витраті цементу 250 кг/м^3 та 450 кг/м^3). При цьому середня витрата цементу для всіх досліджуваних варіантів становила 350 кг/м^3 . Зразки бетонувалися різними складами по висоті на рівнях 1/2l та 1/4l [74].

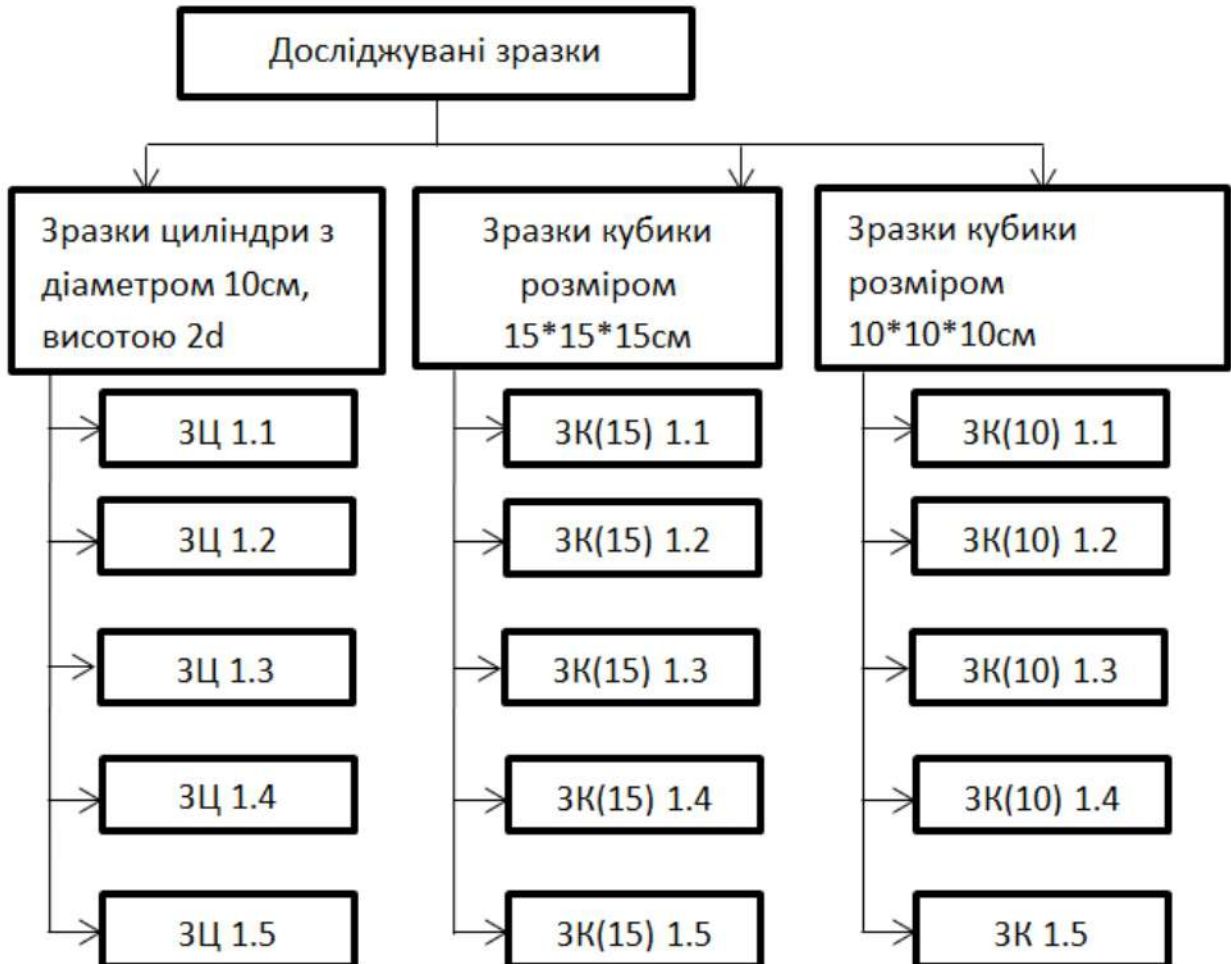


Рис. 3.1. Серії досліджуваних зразків.

Детальний опис зразків:

Зразки циліндри діаметром 10 см і висотою 2d, рис. 3.2.

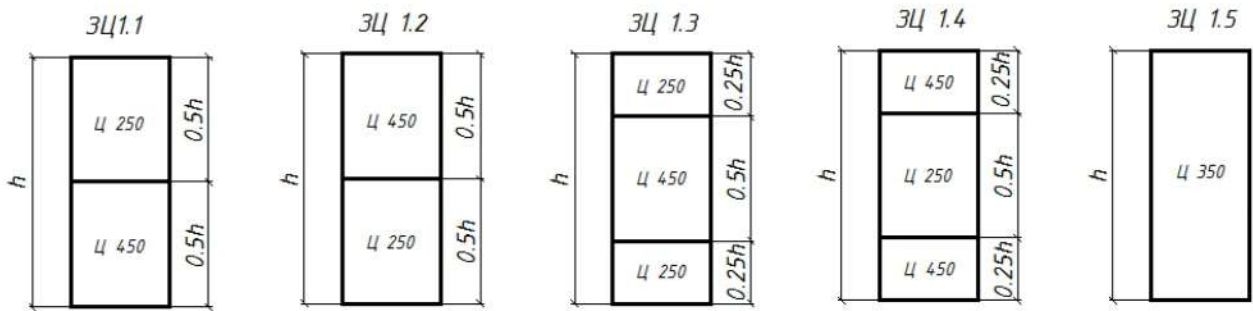


Рис. 3.2. Схема заповнення бетоном зразків циліндрів.

Зразки кубики розміром 15×15×15см, рис. 3.3.

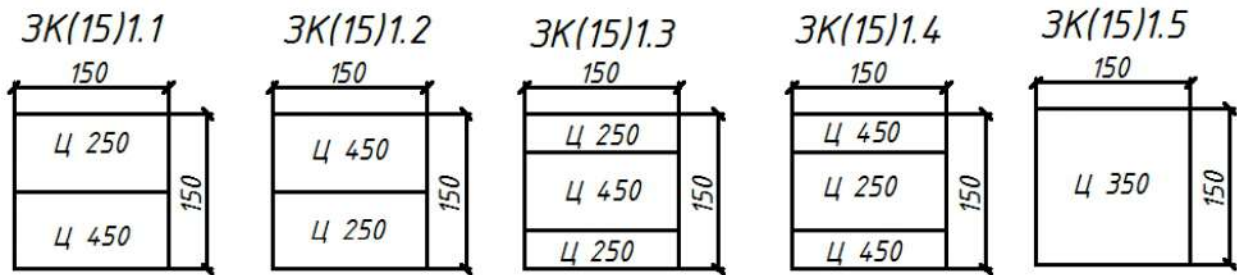
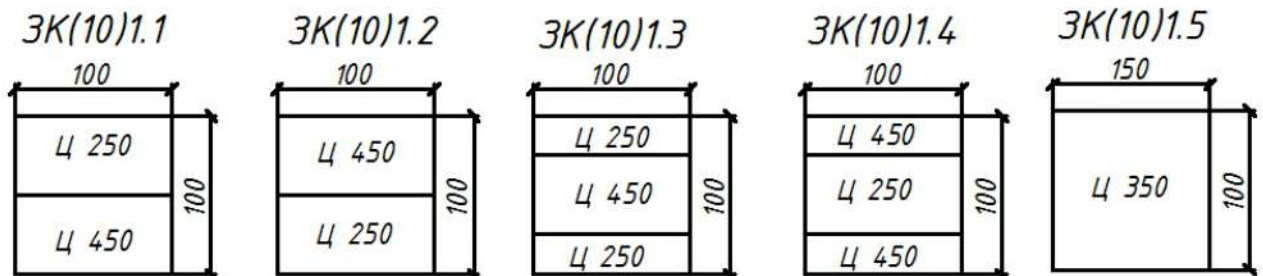


Рис. 3.3. Схема заповнення бетоном зразків кубиків 15×15×15см.

Зразки кубики розміром 10×10×10см, рис. 3.4.

Рис. 3.4. Схема заповнення бетоном зразків кубиків 10×10×10см.



3.3 Підбір складу бетону

Підбір складу бетонної суміші для виготовлення дослідних зразків здійснювався з урахуванням рекомендацій, наведених у джерелі [19, 63]. Під час експериментальних досліджень рухливість бетонної суміші приймалась сталою та відповідала класу П-1 [64].

Залежно від конструктивних особливостей виробів і обраного способу ущільнення бетонної суміші було встановлено марку за легкоукладністю Ж-1, що відповідає заданій рухливості П-1 [65]. Беручи до уваги тип крупного заповнювача – щебінь, максимальний розмір зерен 20 мм, а також показник легкоукладності, визначено початкову витрату води замішування, яка становить 200 л на 1 м³ бетонної суміші [66].

З огляду на дрібнозернисту структуру піску з модулем крупності $M_k = 1$, було введено додаткову поправку до водовмісту шляхом його збільшення на 10 л/м³ [67]. У результаті сумарна витрата води для приготування 1 м³ бетону склала 210 л [68].

Кількість цементу прийнята рівною 250 кг на 1 м³ бетонної суміші [69]. За умови водоцементного відношення 0,6 розрахункова витрата води становила 150 л, що забезпечує необхідні технологічні та міцнісні характеристики бетону [70].

Знаходимо пустотність щебеню: [71]

$$P_{щ} = \left(1 - \frac{\rho_{н}}{\rho_a}\right) \cdot 100\% \quad (3.1)$$

де $\rho_{н}$ - насипна густина щебеню;

ρ_a - істина густина щебеню.

$$P_{щ} = \left(1 - \frac{1,490}{2,7}\right) \cdot 100\% = 48\% \quad (3.2)$$

Визначаємо за [18] коефіцієнт розсунення зерен крупного заповнювача: $\alpha = 1,26$.

Визначаємо витрати щебеню і піску методом абсолютних об'ємів за [19].

Витрата щебеню на 1 м³ бетону.

$$\Pi = \frac{1000}{\frac{\alpha \cdot V_{\text{пщ}}}{\rho_{\text{пщ}}} + \frac{1}{\rho_{\text{ащ}}}} = \frac{1000}{\frac{1,26 \cdot 0,48}{1,4} + \frac{1}{2,7}} = \frac{1000}{0,802} = 1246,98 \text{ кг} / \text{м}^3 \quad (3.3)$$

Витрата піску на 1 м³ бетону.

$$\Pi = \left[100 - \left(\frac{Ц}{\rho_{\text{ц}}} + \frac{В}{\rho_{\text{в}}} + \frac{\Pi}{\rho_{\text{пщ}}} \right) \right] \cdot \rho_{\text{н}} = \left[1 - \left(\frac{250}{3,1} + \frac{150}{1} + \frac{1246,88}{2,7} \right) \right] \cdot 2,62 = 805 \text{ кг} / \text{м}^3 \quad (3.4)$$

Для проведення експерименту матеріали висушуємо, тому склад згідно вологості матеріалів не корегуємо.

Визначаємо номінальний склад бетону за масою:

$$\frac{\Pi_1}{\Pi_1} : \frac{\Pi_1^{\text{сух}}}{\Pi_1} : \frac{\Pi^{\text{сух}}}{\Pi_1} : \frac{В_1}{\Pi_1} = \frac{250}{250} : \frac{806}{250} : \frac{1247}{250} : \frac{150}{250} = 1 : 3,22 : 5 : 0,6. \quad (3.5)$$

Визначаємо коефіцієнт виходу бетонної суміші:

$$\beta = \frac{1000}{\frac{\Pi_1}{\rho_{\text{пщ}}} + \frac{\Pi_1^{\text{сух}}}{\rho_{\text{пщ}}} + \frac{\Pi^{\text{сух}}}{\rho_{\text{пщ}}}} = \frac{1000}{\frac{250}{1,3} + \frac{805,76}{1,48} + \frac{1246,88}{1,45}} = 0,66. \quad (3.6)$$

Витрата пластифікатору 1% від маси цементу.

Інші склади бетону наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 Витрата матеріалів необхідна на об'єм 1000 л бетону

Склади на 1 м ³					
№	Цемент, кг	Вода, л	Щебінь, кг	Пісок, кг	Пластифікатор, кг
1	250	150	1247	806	2,5
2	350	170	1142	652	3,5
3	450	200	1191	517	4,5

3.4. Характеристики дослідних зразків.

На початковому етапі здійснювалося зважування основних складових бетонної суміші – щебеню, цементу, піску та пластифікувальної добавки – з використанням електронних лабораторних ваг згідно з розрахунковими пропорціями. Після цього виконувалася підготовка бетонозмішувача до роботи, при цьому застосовувався гравітаційний принцип перемішування. Для

зменшення втрат води замішування внутрішні поверхні змішувача оброблялися вологою тканиною.

До працюючого бетонозмішувача спочатку завантажували сухі компоненти. Щебінь перед цим піддавався висушуванню з метою усунення пилуватих домішок. Сухі складові перемішувалися протягом фіксованого проміжку часу, який залишався незмінним для всіх замісів, без додавання води.

Після попереднього перемішування одночасно вводилися вода та пластифікатор. Подальше перемішування тривало до досягнення однорідної структури бетонної суміші, що зазвичай забезпечувалося приблизно через **5 хвилин** роботи змішувача.

Із щойно приготованої суміші виготовлялися дослідні зразки. Перед заповненням форми оброблялися мастильним матеріалом, а стики їх елементів ущільнювалися силіконовим герметиком для запобігання витіканню суміші. Ущільнення бетонних зразків проводилося на лабораторній віброплощадці, при цьому тривалість віброущільнення змінювалася залежно від прийнятого коефіцієнта ущільнення.

Після формування зразки витримувалися у формах протягом **24 годин**, а далі зберігалися **27 діб** у камері нормального твердіння. Контрольні випробування виконувалися на **другу та двадцять восьму** добу твердіння.

3.5 Підготовка до випробувань

Зразки детально маркувалися, висушувалися, зважувалися та вимірялася площа на яку буде прикладене навантаження.

До випробувань зразки готувалися згідно пунктів [30, 73].

3.6 Методика проведення експериментальних досліджень

Випробування бетонних зразків виконувалися у встановлені терміни твердіння – на 2-гу та 28-му добу, відповідно до вимог нормативних джерел [31, 32]. Оцінювання міцнісних характеристик здійснювалося із застосуванням

двох методів: руйнівного, який реалізовувався на гідравлічному пресі типу ПГ-100, та неруйнівного, що проводився за допомогою вимірювального приладу «Онiкс-2.5» [34].

Прилад «Онiкс-2.5» має такі технічні параметри: діапазон визначення міцності бетону становить 1–30 МПа та 5–100 МПа, при цьому основна відносна похибка вимірювань не перевищує $\pm 8\%$ [35]. Вбудована пам'ять пристрою дозволяє зберігати результати 1200 серій, кожна з яких включає до 15 окремих вимірювань. Живлення приладу забезпечується двома акумуляторними батареями формату AA з напругою $2,5 \pm 0,5$ В.

Габаритні розміри елементів приладу складають: для електронного блока – $150 \times 80 \times 32$ мм, для вимірювального датчика – діаметр 25 мм та довжина 160 мм. Маса електронного блока становить 0,14 кг, а маса датчика – 0,16 кг.

Вимірювальний комплекс «Онiкс-2.5» призначений для оперативного контролю міцності бетону під час технологічного супроводу виготовлення бетонних конструкцій і виробів відповідно до [33, 36]. Крім того, прилад може використовуватися для оцінювання міцності композиційних матеріалів, цегли та інших будівельних виробів, а також для визначення таких характеристик матеріалів, як твердість, однорідність, щільність і пластичність (штукатурки, композити тощо).

Конструктивно прилад «Онiкс-2.5» складається з електронного блока, пружинного датчика-склерометра та еталонного зразка з органічного скла, що використовується для калібрування обладнання (рис. 3.5) [37].



Рис. 3.5. Вимірювач міцності будівельних матеріалів "ОНИКС - 2.5": а - електронний блок вимірювань; б - датчик-склерометр; в - еталон з органічного скла

Перед початком роботи вимірювальний датчик під'єднується до електронного блока приладу через передбачений конструкцією роз'єм. Далі здійснюється налаштування режиму функціонування пристрою [91]. Під час першого запуску необхідно виконати низку початкових налаштувань: задати тип досліджуваного матеріалу та його вік; визначити кількість ударів у межах однієї серії вимірювань, за результатами яких встановлюється значення міцності або іншого контрольованого параметра; внести відповідні коефіцієнти перетворення, що відповідають властивостям конкретного матеріалу; обрати робочий діапазон вимірювань і систему одиниць [92]. За узагальнений показник міцності бетону або іншого матеріалу доцільно приймати середнє арифметичне значення, отримане на основі десяти окремих вимірювань, виконаних у межах однієї ділянки конструкції [93]. Під час дослідження кубових зразків кількість ударів повинна становити не менше п'яти, які наносяться по протилежних гранях зразка з подальшим проведенням руйнівного випробування в аналогічному

напрямку навантаження [94]. При цьому точки нанесення ударів слід розміщувати на відстані не меншій ніж 15 мм одна від одної та не ближче 20 мм від ребер куба, що забезпечує достовірність і коректність результатів вимірювання [95].

РОЗДІЛ 4 ХАРАКТЕРИСТИКА ВИХІДНИХ МАТЕРІАЛІВ

4.1 Цемент

Для проведення експерименту використовувався цемент ПЦ І-500-Н. Виробник АО «Євроцемент-Україна» місто Балаклея Харківської області.

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 [49].

Тонкість помелу

Тонкість помелу цементу визначалася згідно вимог нормативних документів ДСТУ EN 196-6:2007(EN 196-6:1989, IDT) [50], використовувався метод визначення вищевказаної характеристики за залишком на ситі. Нижче приведені результати, у таблиці 4.1

Таблиця 4.1 Результати визначення тонкості помелу цементу

№ досліджу	Маса наважки, г	Залишок на ситі, г	Тонкість помелу, %
1	50	2,62	5,21

Нормальна густина

Нормальна густина визначалася згідно з ДСТУ Б В.2.7-185:2009 [25]. Результати наведені у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 Результати визначення нормальної густоти цементного тіста

№ досліджу	Кількість води замішування, мл	Показання приладу Віка, мм	Нормальна густина, %
1	110	4,1	27,4

Марка за міцністю на стиск

Марка за міцністю на стиск визначалася на зразках-балочках розмірами 40x40x160 мм згідно з вимогами ДСТУ Б В.2.7-187 [45]. Результати наведені у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 Результати визначення марки цементу за міцністю на стиск

№	Вік зразка, діб	Руйнуюче зусилля, кН	Границя міцності, МПа	Марка
1	28	12589	51.3	500
2	28	13754	56.1	500
3	28	12365	50.4	500
4	28	12352	50.4	500
5	28	12998	53.0	500
6	28	12658	51.6	500

4.1 Щебінь

Для випробувань використовувався щебінь з максимальним розміром зерен 20 мм, що відповідає вимогам нормативних документів [42].

Перед початком випробувань він був просіяний через набір сит для перевірки фракції щебеню. Також щебінь для випробування був висушений, для того, щоб такі параметри як вологість не впливали на результати дослідів..

Насипна густина

Насипна густина визначалася згідно вимог [42]. Результати наведені у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 Результати визначення насипної густини лабораторного щебеню фракції 5 - 20

Фракція	Об'єм проби, см ³	Маса проби, г	ρ_m , (кг/м ³)
5 - 20	10000	13972	1397

4.3 Пісок

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

Насипна густина

Насипна густина визначалася згідно з [44]. Результати випробувань наведені у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 Результати визначення насипної густини піску

№ досліджу	Об'єм циліндра, см ³	Вага циліндра, г	Вага циліндр з піском, г	Вага піску, г	Густина, кг/м ³
1	995	274	1757,95	1483,95	1480
2	995	274	1757,05	1487,05	1485

За значення насипної густини піску приймалося середнє значення котрє становить 1,48 г/см³.

Істина густина

Істина густина визначалася згідно з [42]. Але слід відзначити, що при підборі складу бетону з використанням піску у якості дрібного заповнювача було прийняте довідникове значення істинної густини рівне 2,62 г/см³. [32].

Модуль крупності

Модуль крупності визначався згідно вимог [42]. Результати його визначення наведені у таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 Результати визначення модуля крупності піску

№ сит	Пісок		
	г	a _i %	A _i , %
5	0		0
2,5	11	1,10	1
1,25	18	1,80	3
0,63	12	1,20	4
0,315	57	5,71	10
0,16	722	72,27	82
Піддон	180	18,02	100
Σ	999		
Мкр	1		

4.4 Пластифікатор

Для дослідів використовувалася також добавка-гіпер пластифікатор BASF GLENIUM 51. Для отримання менш жорсткої суміші використано гіперпластифікатор полікарбоксилат з густиною $1,05 \pm 0,05$ г/см³ [31].

Хімічні властивості наведені в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 Хімічні властивості добавки-гіпер пластифікатора BASF GLENIUM 51

Показник	Значення показника
Вміст твердої речовини, %	40,0±2.0
РН (20°C)	6-8
Вміст хлоридів, %	≤0,1
Вміст сульфата натрію, %	≤4,0

Дана речовина дає можливість виготовити бетон високої міцності, використовуючи при цьому невелику кількість води. Наступною перевагою полікарбоксилату є його мале дозування у відсотках від маси бетону [25].

РОЗДІЛ 5 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Обробка результатів дослідження проводився з використанням програмного комплексу MS Office Excel. У підрозділах 5.1 – 5.4 наведені результати проведених експериментів, що заплановані в розділі 3 роботи.

5.1. Проведення експериментальних досліджень

Випробування зразків проводились згідно ДСТУ Б В.2.7-214:2009 [32].

Проведено випробування на стиск досліджуваних зразків у віці 2 та 28 діб.

5.1.1 Середня густина бетону

Середню густину зразків визначено у відповідності [37]. Масу зразків визначаємо із похибкою не більше 0,1 %. Лінійні розміри зразків-кубів визначаємо із похибкою не більше 0,1 мм. Зразки висушували до постійної маси в електрошафі за температури (105 ± 10) °С.

Вихідні дані та результати випробувань зразків занесено у таблицю 5.1.

Таблиця 5.1. Середня густина досліджуваних зразків бетону.

Порядковий номер зразка	Характеристика зразків				Середня густина, ρ (г/см ³)
	Ширина, a (мм)	Довжина, b(мм)	Висота, h (мм)	Маса, m (г)	
1	102	104	103	2535	2,320
2	99	105	100	2110	2,030
3	101	98	99	2125	2,169
4	96	103	99	2460	2,513
5	100	97	99	2355	2,452
6	99	99	98	2160	2,249
7	101	99	102	2370	2,324
8	100	98	103	2210	2,189
9	100	98	101	2315	2,339
10	99	99	102	2245	2,246
Середнє значення					2,283

5.1.2. Міцність зразків циліндрів

Проведено випробування серії зразків циліндрів, при визначенні міцності на стиск відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-214 і мають висоту до 2,0 діаметрів.

В таблиці 5.2. наведено результати випробувань зразків циліндрів у віці 2 доби.

Таблиця 5.2. Результати випробувань зразків на стиск у віці 2 доби.

Серія	Результати випробувань зразків на стик					Результати випробувань зразків на стик не руйнівним методом	
	Характеристики зразків, мм		Руйнуюче навантаження, F кгс	Міцність, R_6 МПа	$f_{cm,cyl}$, МПа	$R_{6,cyl}$, МПа	Середнє значення, $f_{cm,cil}$ МПа
	d, мм	h, мм					
1	2	3	4	5	6	7	8
1.1.	100	195	8477	12,78	11,04	18,8	18,38
	100	200	6169	9,30		17,96	
1.2.	100	191	3862	5,82	5,39	19,98	20,41
	100	196	3285	4,95		20,84	
1.3.	100	200	8669	13,07	11,91	23,36	22,9
	100	200	7131	10,75		22,44	
1.4.	100	200	4631	6,98	8,77	21,8	22,16
	100	198	6996	10,55		22,52	
1.5.	100	200	8669	13,07	11,07	23,3	23,43
	100	200	6019	9,08		23,56	

Так як досліджувалась міцність зразків у віці 2 діб, в таблиці 5.3. наведено міцність зразків у віці 28 діб та порівняно з розрахунковим значенням.

Таблиця 5.3 Характеристика міцності зразків при стиску

№	Середнє значення границі міцності у віці 2 діб.	Міцністю на стиск, МПа	
		Середнє значення границі міцності у віці 28 діб.	Розрахункова середня міцність зразків
1	2	3	4
1.1.	11,04	26,496	23,2
1.2.	5,39	21,936	23,2

Продовження таблиці 5.3

1	2	3	4
1.3.	11,91	28,584	23,2
1.4.	8,77	22,048	23,2
1.5.	11,07	26,568	23,2

Співвідношення середньої міцності зразків при випробуванні двома методами зображено на рисунку 5.1.

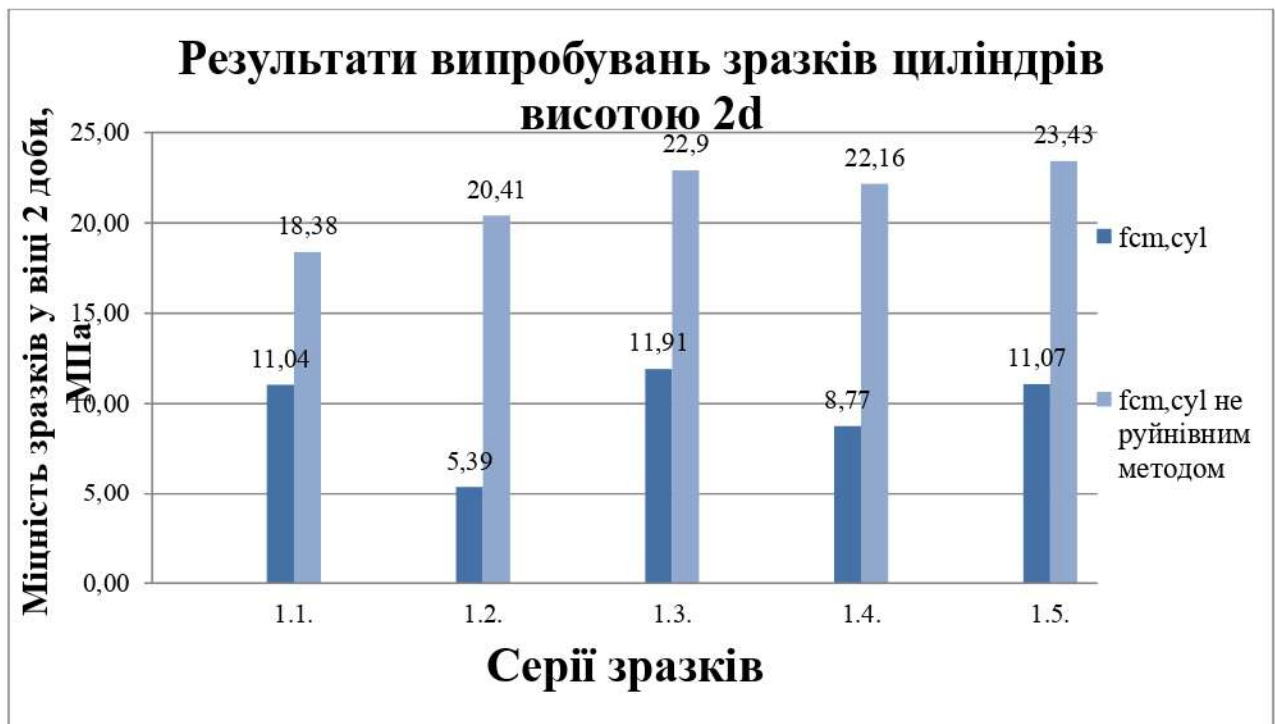


Рис. 5.1. Співвідношення середньої міцності зразків

З рисунку 5.1 спостерігається суттєва розбіжність середніх даних зразків серії 1.2. в порівнянні між значеннями міцності інших зразків на стиск. А дослідженням міцності неруйнівним методом по висоті не показує перевищення міцності у порівнянні з контрольними зразками серії 1.5.

5.1.3. Міцність зразків-кубів з довжиною ребра 150 мм

Проведено випробування серії зразків кубиків, що відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-214, при визначенні міцності на стиск і мають розміри 15×15×15 см.

В таблиці 5.4. наведено результати випробувань та характеристики зразків кубиків у віці 2 доби.

Таблиця 5.4. Результати випробувань зразків на стиск у віці 2 доби.

Серія	Характеристики зразків, мм			Результати випробувань зразків на стик			Результати випробувань зразків на стик не руйнівним методом	
	a, мм	b, мм	h, мм	Руйнуюче навантаження, F кгс	Міцність, R_b МПа	$f_{cm, cube}$, МПа	$f_{ck, cube}$, МПа	Середнє значення, $f_{cm, cube}$, МПа
1.1.	154	149	151	23475	10,35	10,60	24,85	25,09
	151	153	148	24776	10,85		25,33	
1.2.	154	152	150	30205	13,06	13,89	25,75	26,065
	153	149	151	33148	14,72		26,38	
1.3.	151	150	152	33857	15,13	15,04	23,98	24,315
	152	152	151	34148	14,96		24,65	
1.4.	153	152	152	36934	16,07	16,73	27,65	28,75
	149	153	150	39148	17,38		29,85	
1.5.	152	155	151	34435	14,79	14,93	23,88	24,62
	149	154	152	34148	15,06		25,35	

Так як досліджувалась міцність зразків у віці 2 діб, в таблиці 5.5. наведено міцність зразків у віці 28 діб та порівняно з розрахунковим значенням.

Таблиця 5.5 Характеристика міцності зразків кубів довжиною ребра 150 мм при стиску

№ серії	Середнє значення границі міцності у віці 2 діб.	Міцністю на стиск, МПа	
		Середнє значення границі міцності у віці 28 діб	Розрахункова середня міцність зразків
1	2	3	4
1.1.	10,60	28,56	23,2

1	2	3	4
1.2.	13,89	29,169	23,2
1.3.	15,04	29,484	23,2
1.4.	16,73	33,033	23,2
1.5.	14,93	31,353	23,2

Співвідношення середньої міцності зразків при випробуванні двома методами зображено на рисунку 5.2.

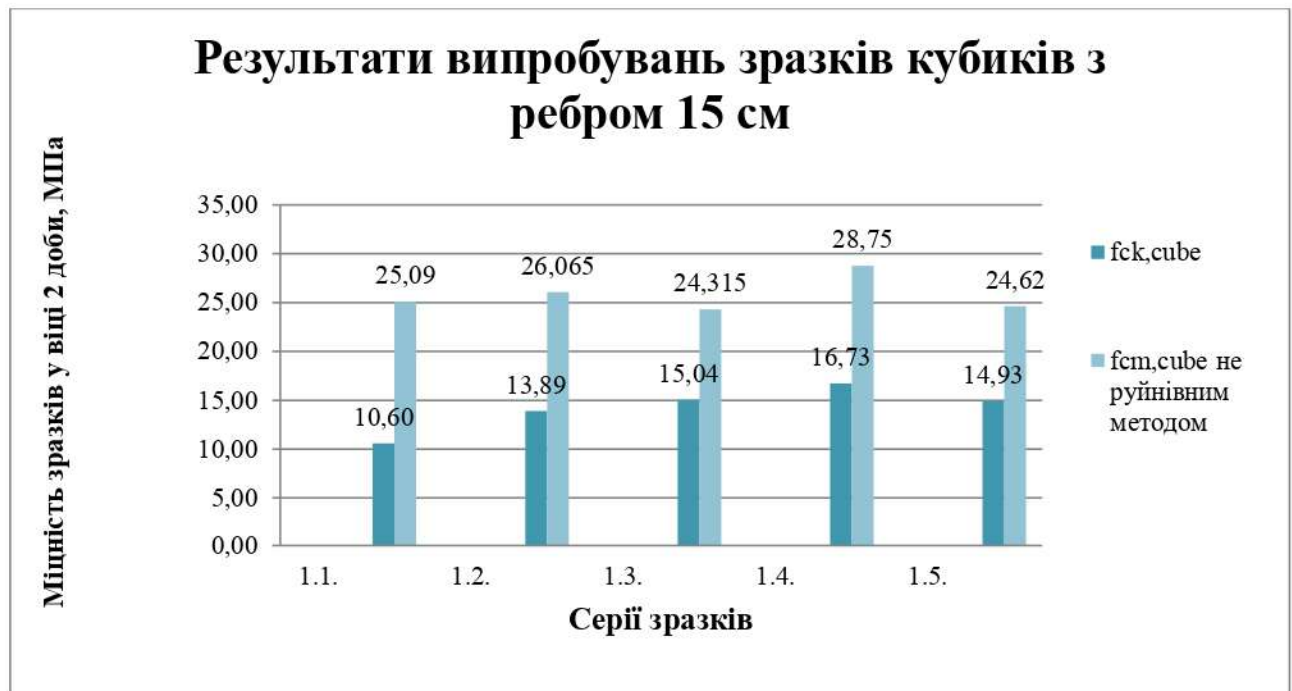


Рисунок 5.2. Графічне зображення міцності серії зразків.

З рисунку 5.2 можна зробити висновок, що суттєва розбіжність середніх даних притаманна зразкам серії 1.1. між значеннями міцності зразка на стиск. Дослідженням міцності неруйнівним методом по висоті суттєво вирізняються зразки серії 1.4, а інші значення мають приблизно однакову розбіжність.

5.1.4. Міцність зразків-кубів з довжиною ребра 100 мм

Проведено випробування серії зразків кубиків, що відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-214, при визначенні міцності на стиск і мають розміри 10×10×10 см. В таблиці 5.6. наведено результати випробувань та характеристики зразків кубиків у віці 2 доби.

Таблиця 5.6. Результати випробувань зразків на стиск у віці 2 доби.

Серія	Характеристики зразків, мм			Результати випробувань зразків на стиск			Результати випробувань зразків на стиск не руйнівним методом	
	a, мм	b, мм	h, мм	Руйнуюче навантаження, F кгс	Міцність, R _b МПа	f _{cm,cube} , МПа	f _{ck,cube} , МПа	Середнє значення, f _{cm,cube} , МПа
1.1.	102	104	103	15399	13,96	14,30	24,37	24,99
	99	105	100	15836	14,65		25,6	
1.2.	101	102	100	13092	12,22	10,83	24,9	24,35
	100	103	99	10103	9,43		23,8	
1.3.	100	97	99	14630	14,50	15,19	24,3	24,05
	99	100	98	16340	15,87		23,8	
1.4.	101	100	102	16322	15,54	14,79	31,8	31,20
	100	98	103	14314	14,04		30,6	
1.5.	100	98	101	16129	15,83	15,75	22,8	23,60
	99	100	102	16146	15,68		24,4	

Так як досліджувалась міцність зразків бетону у віці 2 діб, в таблиці 5.5. наведено прогнозована міцність зразків у віці 28 діб та порівняно з розрахунковим значенням.

Таблиця 5.7. Характеристика міцності зразків кубів довжиною ребра 100 мм при стиску

№	Середнє значення границі міцності у віці 2 діб.	Міцністю на стиск, МПа	
		Середнє значення границі міцності у віці 28 діб	Розрахункова середня міцність зразків
1	14,30	30,03	23,2
2	10,83	22,743	23,2
3	15,19	31,899	23,2
4	14,79	31,059	23,2
5	15,75	33,075	23,2

Співвідношення середньої міцності зразків при випробуванні двома методами зображено на рисунку 5.3.

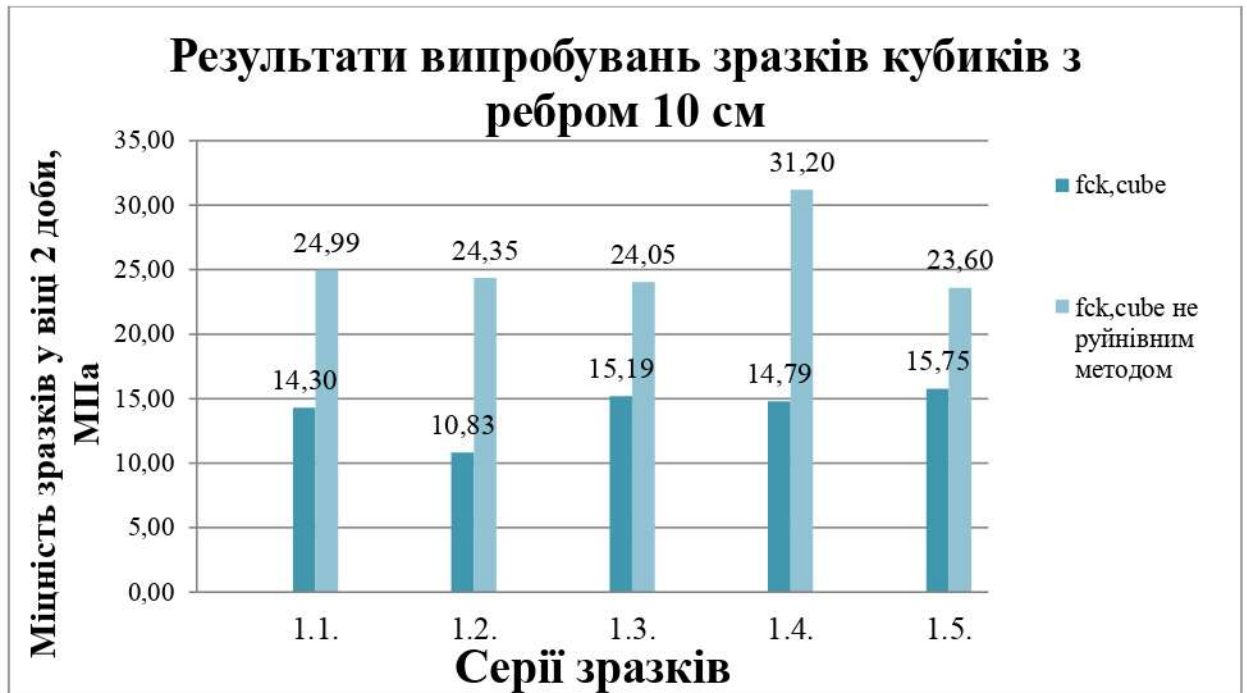


Рисунок 5.3. Графічне зображення міцності серії зразків.

З рисунку 5.3. можна зробити висновок, що суттєва розбіжність середніх даних притаманна зразкам серії 1.5. Між значеннями міцності зразка на стиск неруйнівним методом по висоті серії 1.4, так само, як і в серії зразків кубів з розміром ребра 150 мм.

5.2. Характер руйнування та міцність експериментальних зразків

За результатами випробувань побудовано діаграми, на яких чітко просліджується зміна міцності зразків серії.

5.2.1. Результати експериментальних досліджень зразків циліндрів

Дослідження проводились на зразках циліндрах з важкого бетону висотою 2d, рис. 5.4.



Рис. 5.4. Серія зразків циліндрів бетонних

Для визначення міцності по висоті зразка, неруйнівним методом, виготовлено по 2 зразки кожного виду, досліджено та знайдено середнє значення. Розглянемо характер руйнування та результати випробувань зразків циліндрів серії 1.1. таблиця 5.8. та рис. 5.4.

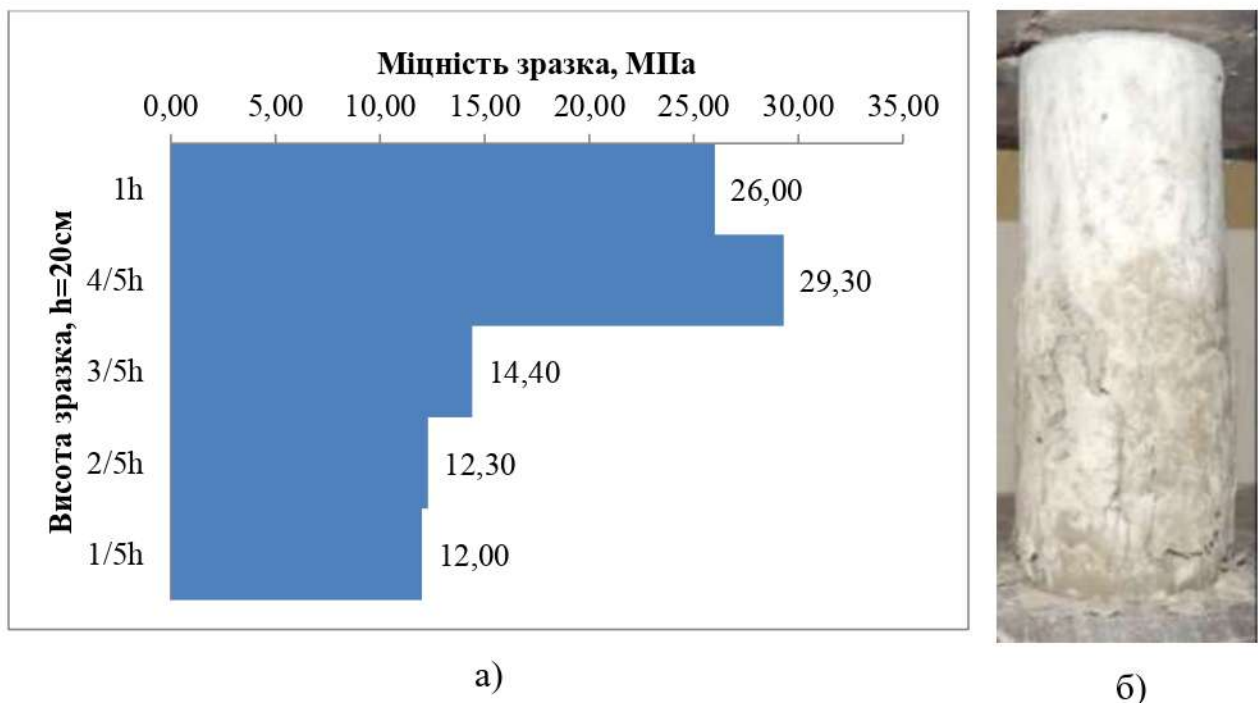
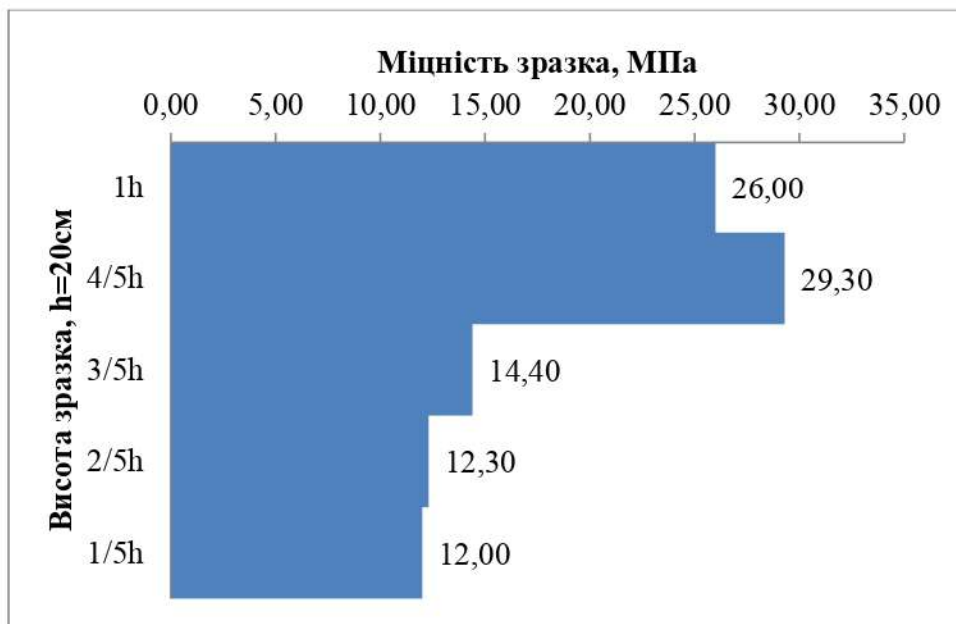


Рисунок 5.5. Характер руйнування зразків циліндрів серії 1.2.

а) графік коливання міцності по висоті зразка; б) характер руйнування зразка після випробування на стиск.

Таблиця 5.8. Міцнісні характеристики зразків серії 1.1.

Висота досліджуваного шару зразка	Результати випробувань зразків неруйнівним методом, МПа		
	Зразок №1	Зразок №2	Середня міцність досліджуваного шару зразка
1	2	3	4
від 1 до 4 см	26,00	28	27,00
від 5 до 8 см	29,30	24	26,65
від 9 до 12 см	14,40	12,9	13,65
від 13 до 16 см	12,30	12,3	12,30
від 17 до 20 см	12,00	12,6	12,30
Середнє значення міцності зразків	18,80	17,96	



а)



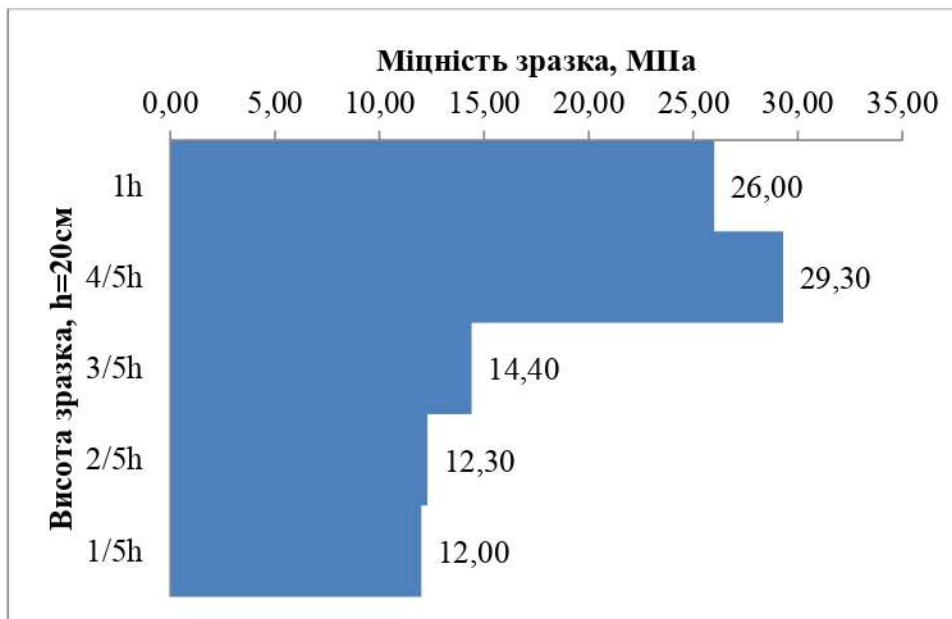
б)

Характер руйнування зразка очікуваний, адже зразок зруйнувався в місці штучного ослаблення та середнє значення несучої міцності бетону відповідає міцності контрольних однорідних зразків і дорівнює 11,04 МПа.

Розглянемо характер руйнування та результати випробувань зразків циліндрів серії 1.2., ослаблення міцності бетону знаходиться в верхній половині зразка, результати наведені в таблиця 5.9. та на рисунку 5.5.

Таблиця 5.9. Міцнісні характеристика зразків серії 1.2.

Висота досліджуваного шару зразка	Результати випробувань зразків неруйнівним методом, МПа		
	Зразок №1	Зразок №2	Середня міцність досліджуваного шару зразка
1	2	3	4
від 1 до 4 см	7,7	8,4	8,05
від 5 до 8 см	8,1	7,3	7,7
від 9 до 12 см	10,5	11,1	10,8
від 13 до 16 см	33,2	36,3	34,75
від 17 до 20 см	40,4	41,1	40,75
Середнє значення міцності зразків	19,98	20,84	



а)

б)

Рисунок 5.6. Характер руйнування зразків циліндрів серії 1.2.

а) графік коливання міцності по висоті зразка; б) характер руйнування зразка після випробування на стиск.

Характер руйнування зразка обернено пропорційний зразкам 1.1., але зразок зруйнувався в місці штучного ослаблення та середнє значення несучої міцності бетону мінімальне, та відмінне від міцності контрольних однорідних зразків і дорівнює 5,39 МПа.

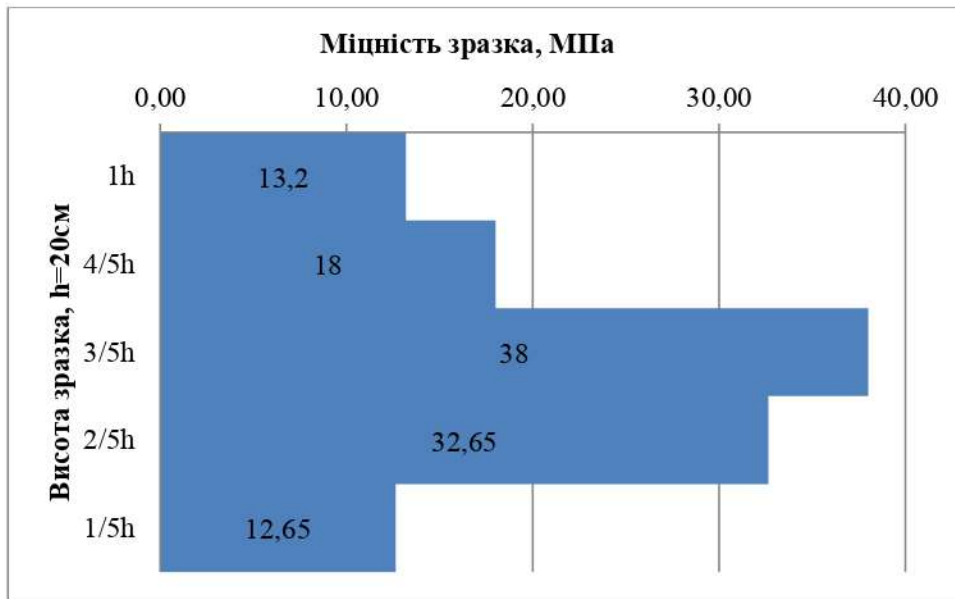
Результати випробувань зразків циліндрів серії 1.3., з ослаблення міцності бетону у верхній та нижній частині зразка на $1/4 h$ зразка, характер руйнування та результати наведені в таблиця 5.10. та на рисунку 5.7.

Таблиця 5.10. Міцнісні характеристика зразків серії 1.3.

Висота досліджуваного шару зразка	Результати випробувань зразків неруйнівним методом, МПа		
	Зразок №1	Зразок №2	Середня міцність досліджуваного шару зразка
1	2	3	4
від 1 до 4 см	12,7	13,7	13,2
від 5 до 8 см	17,6	18,4	18
від 9 до 12 см	37,7	38,3	38
від 13 до 16 см	34,7	30,6	32,65
від 17 до 20 см	14,1	11,2	12,65
Середнє значення міцності зразків	23,36	22,44	

Зразок 1.3 зруйнувався зверху, в місці штучного ослаблення, та середнє значення несучої міцності бетону максимальне в порівнянні з міцнісними характеристиками всієї серії і дорівнює 11,91 МПа.

Результати випробувань зразків циліндрів останніх в серії з послабленням міцності по висоті 1.4., з слабша якість бетону висотою $1/2 h$, що розташована всередині зразка, характер руйнування та результати наведені в таблиця 5.11. та на рисунку 5.7.



а)

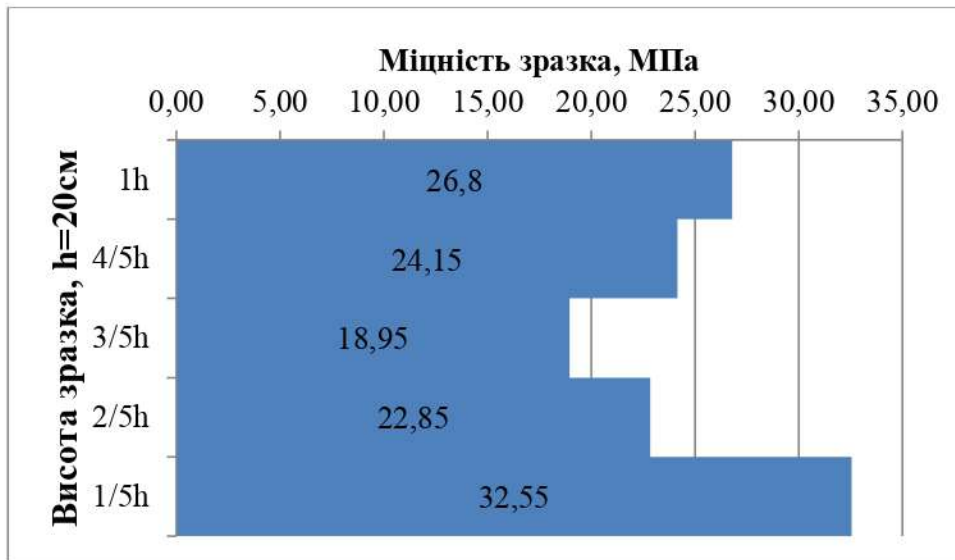
б)

Рисунок 5.7. Характер руйнування зразків циліндрів серії 1.3.

а) графік коливання міцності по висоті зразка; б) характер руйнування зразка після випробування на стиск.

Таблиця 5.11. Міцнісні характеристики зразків серії 1.4.

Висота досліджуваного шару зразка	Результати випробувань зразків неруйнівним методом, МПа		
	Зразок №1	Зразок №2	Середня міцність досліджуваного шару зразка
1	2	3	4
від 1 до 4 см	25,1	28,5	26,8
від 5 до 8 см	21,7	26,6	24,15
від 9 до 12 см	19,4	18,5	18,95
від 13 до 16 см	24,3	21,4	22,85
від 17 до 20 см	31,5	33,6	32,55
Середнє значення міцності зразків	24,4	25,72	



а)

б)

Рисунок 5.8. Характер руйнування зразків циліндрів серії 1.4.

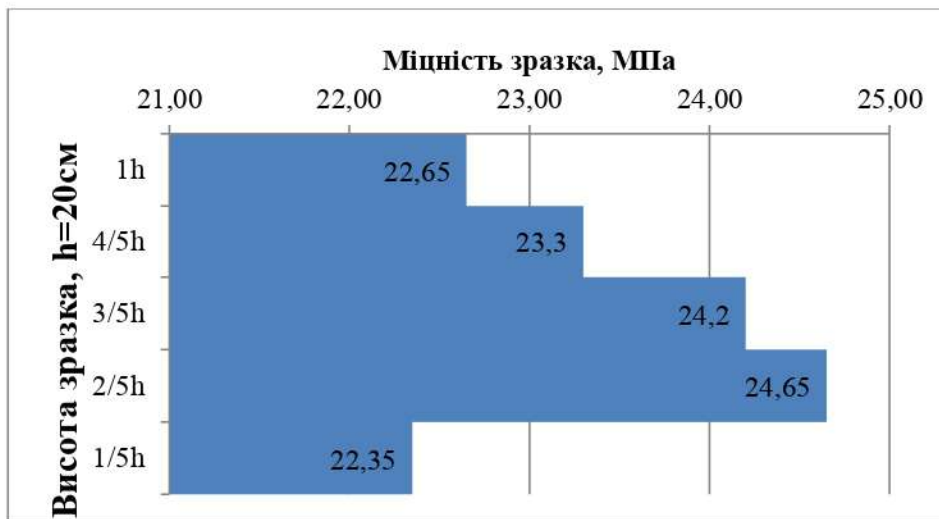
а) графік коливання міцності по висоті зразка; б) характер руйнування зразка після випробування на стиск.

Зразок 1.4 втратив несучу здатність при навантаженні 11,91 МПа, зразок не зруйнувався повністю, лише в місці штучного ослаблення утворилась раковина.

Результати випробувань контрольних зразків циліндрів 1.5., з однорідною міцністю по висоті зразка, наведені в таблиця 5.12. та на рисунку 5.8.

Таблиця 5.12. Міцнісні характеристики зразків серії 1.4.

Висота досліджуваного шару зразка	Результати випробувань зразків неруйнівним методом, МПа		
	Зразок №1	Зразок №2	Середня міцність досліджуваного шару зразка
1	2	3	4
від 1 до 4 см	23,1	22,2	22,65
від 5 до 8 см	22,9	23,7	23,3
від 9 до 12 см	23,8	24,6	24,2
від 13 до 16 см	24,1	25,2	24,65
від 17 до 20 см	22,6	22,1	22,35
Середнє значення міцності зразків	23,3	23,56	



а)

б)

Рисунок 5.9. Характер руйнування зразків циліндрів серії 1.4.

а) графік коливання міцності по висоті зразка; б) характер руйнування зразка після випробування на стиск.

Зразок 1.5. втратив несучу здатність при навантаженні 11,07 МПа, зразок не зруйнувався повністю, утворилась тріщина косою зрізу.

5.2.2. Результати експериментальних досліджень зразків-кубиків з довжиною ребра 150 мм

Дослідження проводились на серії зразках-кубиках з важкого бетону розмірами 150×150×150 мм, рис. 5.9.



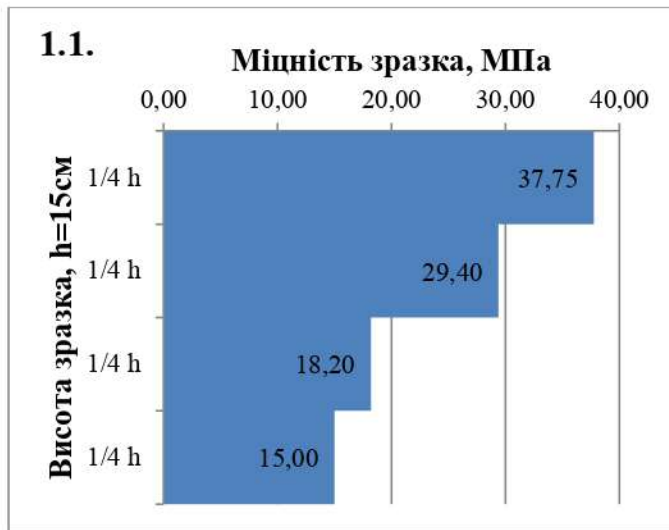
Рис. 5.10. Серія експериментальних зразків-кубиків з довжиною ребра 150 мм

Для визначення міцності по висоті зразка, неруйнівним методом, виготовлено по 2 зразки кожного виду, досліджено та знайдено середнє значення. Розглянемо характер руйнування та результати випробувань зразків кубів в таблиці 5.13.

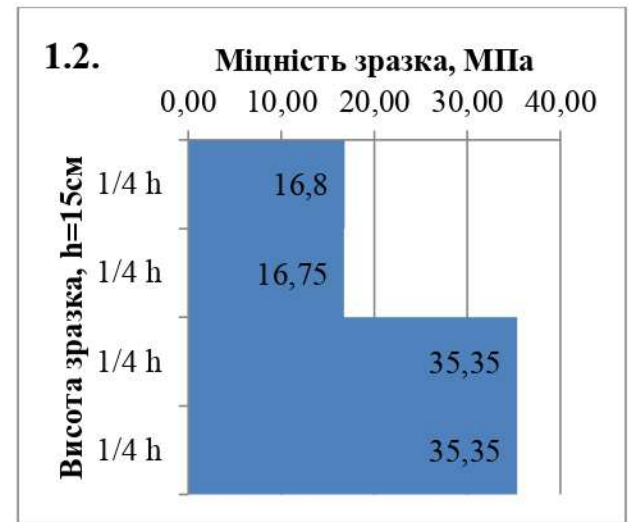
Таблиця 5.13. Мінливість міцності по висоті зразків серії.

Висота досліджуваного шару зразка	Результати випробувань зразків неруйнівним методом, МПа		
	Зразок №1	Зразок №2	Середня міцність досліджуваного шару зразка
1	2	3	4
Серія 1.1.			
1/4 h	37,40	38,10	37,75
1/4 h	29,10	29,70	29,40
1/4 h	17,30	19,10	18,20
1/4 h	15,60	14,40	15,00
Серія 1.2.			
1/4 h	17,2	16,40	16,8
1/4 h	16,1	17,40	16,75
1/4 h	34,9	35,80	35,35
1/4 h	34,8	35,90	35,35
Серія 1.3.			
1/4 h	14,5	15,60	15,05
1/4 h	29,3	28,40	28,85
1/4 h	37,9	39,80	38,85
1/4 h	14,2	14,80	14,5
Серія 1.4.			
1/4 h	38,4	37,40	37,9
1/4 h	16,8	29,10	22,95
1/4 h	19	17,30	18,15
1/4 h	36,4	35,60	36
Серія 1.5.			
1/4 h	26,2	23,10	24,65
1/4 h	20,5	24,40	22,45
1/4 h	22,7	26,10	24,4
1/4 h	26,10	27,80	26,95

Зразки кубу по висоті були розбиті на чотири рівні частини, в залежності від висоти заформованого зразка. За результатами випробувань зразків побудовано графіки міцності по висоті зразків. Характер руйнування зразків серій 1.1. та 1.2. зображено на рисунку 5.10.



а)



б)

Рисунок 5.11. Характер руйнування зразків серій 1.1. та 1.2.

а) графік коливання міцності по висоті зразка серії 1.1.; б) графік коливання міцності по висоті зразка серії 1.2.

За графіком спостерігається залежність міцності від способу формування, але практично не впливає на несучу здатність зразків, та має однаковий характер руйнування, що відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-214:2009, рисунок 5.12.



Рисунок 5.12. Зразки кубу після випробувань

Характер руйнування зразків серій 1.3. та 1.4. зображено на рисунку 5.13.

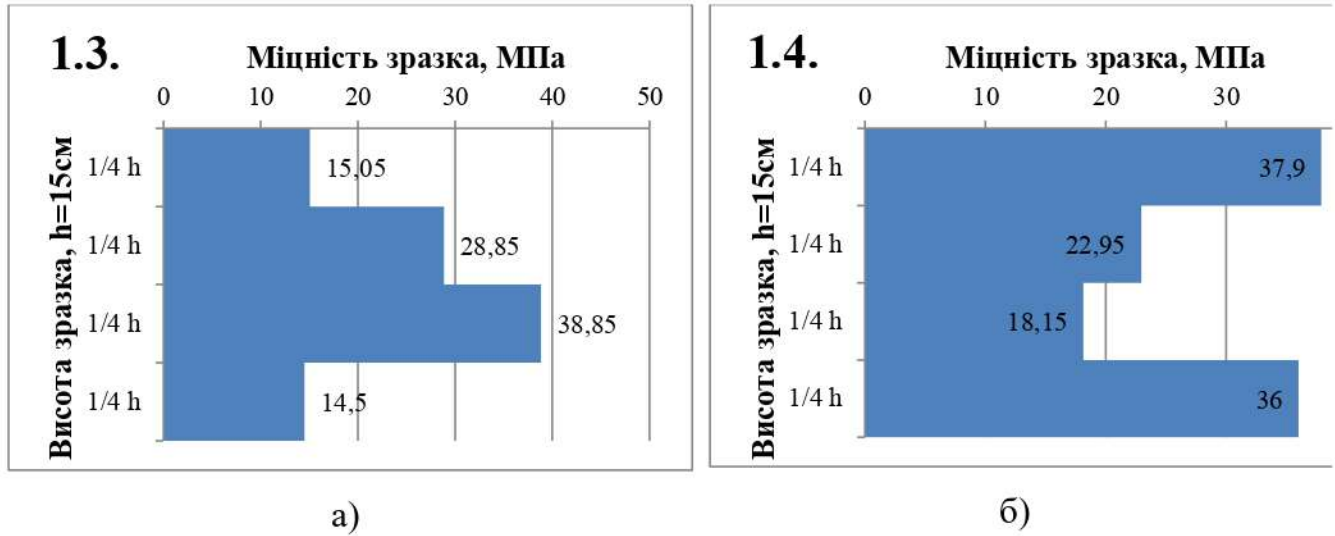


Рисунок 5.13. Характер руйнування зразків серій 1.3. та 1.4.

а) графік коливання міцності по висоті зразка серії 1.3.; б) графік коливання міцності по висоті зразка серії 1.4.

Характер руйнування зразків відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-214:2009, адже зразок зруйнувався не в місці штучного ослаблення, а середнє значення несучої міцності бетону відрізняється відповідно до характеру бетонування.

В результаті проведених випробувань зразків даної серії можна зробити висновок, що найвищу міцність мають зразки серії 1.4.

5.2.2. Результати експериментальних досліджень зразків-кубиків з довжиною ребра 100 мм

Дослідження проводились на серії зразках-кубиках з важкого бетону розмірами 100×100×100 мм, рис. 5.14.



Рис. 5.14. Серія експериментальних зразків-кубиків з довжиною ребра 150 мм

Для визначення міцності по висоті зразка, неруйнівним методом, виготовлено по 2 зразки кожної серії, досліджено та знайдено середнє значення. Розглянемо міцнісні характеристик та результати випробувань зразків кубів в таблиці 5.14.

Таблиця 5.14. Міцність по висоті зразків серії.

Висота досліджуваного шару зразка	Результати випробувань зразків неруйнівним методом, МПа		
	Зразок №1	Зразок №2	Середня міцність досліджуваного шару зразка
1	2	3	4
Серія 1.1.			
1/3h	42,80	33,6	38,20
1/3h	16,10	28,1	22,10
1/3h	14,20	15,1	14,65
Серія 1.2.			
1/3h	15,3	12,1	13,7
1/3h	28,2	22,4	25,3
1/3h	31,2	36,9	34,05
Серія 1.3.			
1/3h	20,1	19,2	19,65
1/3h	36,6	33,8	35,2
1/3h	16,1	18,4	17,25

1	2	3	4
Серія 1.4.			
1/3h	38,5	39,4	38,95
1/3h	14,9	18,6	16,75
1/3h	39	36,9	37,95
Серія 1.5.			
1/3h	24,1	21,1	22,6
1/3h	22,4	20,4	21,4
1/3h	22	25,6	23,8

Зразки кубу по висоті були розбиті на три рівні частини, в залежності від висоти заформованого зразка. За результатами випробувань зразків побудовано графіки міцності по висоті зразків. Характер руйнування зразків серій зображено на рисунку 5.15.



Рисунок 5.15. Графік коливання середньої міцності по висоті зразків серії

З графіка спостерігається залежність міцності від способу формування, спостерігається широкий діапазон коливань міцності серед зразків серії. Так за неруйнівним методом випробувань зразки серії 1.5. мають мінімальне середнє значення міцності, не беручи до уваги однорідність міцності бетону по висоті. Характер руйнування важкого бетону, що відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-214:2009, рисунок 5.16.



Рисунок 5.16. Зразки кубу після випробувань

В результаті проведених випробувань зразків даної серії можна зробити висновок, що так як і зразки кубу з довжиною ребра 150 мм найвищу міцність мають зразки серії 1.4.

РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

6.1. Бетонні роботи

Під час виконання робіт з приготування, транспортування, укладання та догляду за бетоном і будівельними розчинами, а також при заготівлі, монтажі арматурних конструкцій та встановленні чи демонтажі опалубних систем, необхідно передбачати заходи з мінімізації ризиків для персоналу від впливу виробничих факторів підвищеної небезпеки та шкідливості [30, 46]. До переліку цих ризиків відносяться:

- розташування робочих зон поблизу перепадів висоти, що перевищують 1,3 м [46];
- рух технологічного обладнання та операції з переміщення вантажів [6];
- потенційна загроза обвалення елементів будівельних конструкцій та опалубки [30];
- екстремально підвищена температура арматури під час робіт з попереднім термонапруженням [7];
- підвищений рівень шуму, вібрації та незадовільне освітлення робочих просторів [6];
- несприятливі кліматичні умови [30];
- імовірність ураження персоналу електричним струмом через підвищену напругу в електромережі [6].

Гарантування безпеки при здійсненні бетонних робіт повинно бути забезпечено відповідно до положень проектної та технологічної документації [30, 46].

При цьому обов'язково передбачити:

- ідентифікацію небезпечних зон та методику їх маркування (наприклад, шляхом огородження) [46];

- безпечні та ефективні способи механізації процесів приготування, транспортування, подачі та укладання бетонної суміші [6];
- параметри несучої здатності, міцності та стійкості опалубних систем, а також регламент їхнього монтажу та демонтажу [30];
- оптимальну послідовність монтажу арматурних конструкцій [7];
- комплекс заходів та засобів безпеки при виконанні робіт на висоті [46];
- організацію безпечного догляду за бетоном впродовж усього календарного року [30].

Зберігання цементу необхідно організовувати в закритих резервуарах (силосах, бункерах, ларях або інших відповідних ємностях) з метою запобігання розпиленню матеріалу під час завантажувально-розвантажувальних операцій [49]. Завантажувальні прорізи слід оснащувати захисними ґратами, що блокуються за допомогою замків [6].

При застосуванні парового обігріву заповнювачів у бункерах або інших спеціалізованих ємностях, слід унеможливити проникнення пари до робочих приміщень [6]. Допуск персоналу до парових камер допускається виключно після повного припинення подачі пари, а також охолодження камери та розміщених у ній матеріалів до температури, що не перевищує +40 °С [6].

6.2. Виконання будівельних робіт

Підготовчий етап та обов'язки керівника До того як приступити до бетонування, відповідальна особа має переконатися у безпеці майданчика [96, 97]. Інспекція конструкцій: Перевірити надійність та цілісність опалубки, стійкість риштувань та наявність захисних бар'єрів на робочих рівнях [96].

Справність техніки: Проконтролювати робочий стан бетононасосів, маніпуляторів, а також цілісність тари й бункерів [98]. Екіпірування: Видати персоналу необхідні засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) [97].

Експлуатація змішувального обладнання.

Під час роботи з бетонозмішувачами діють суворі правила очищення [98]: Пряжки дозволяється чистити лише за умови, що ківш надійно зафіксований [97]. Будь-які маніпуляції всередині барабанів чи корит можливі тільки після повної зупинки агрегату та знеструмлення мережі [99].

Робота з арматурою Для безпечної заготівлі та монтажу металевих елементів необхідно [96, 97]:

Зонування: Огороджувати ділянки, де розмотують бухти або вирівнюють пруту [100]. Захист від уламків: Під час нарізання дрібних деталей (менше 30 см) використовувати спеціальні захисні пристрої [97]. Безпека на верстатах: Відокремлювати робочі зони двобічних верстатів сіткою (від 1 м заввишки) та ізолювати виступаючі частини стержнів [96]. Логістика: Зберігати арматуру виключно у визначених зонах, а в місцях проходів (шириною понад 1 м) обов'язково закривати торці прутів [97]. Транспортування: Кріплення та підйом арматурних конструкцій краном мають здійснювати лише кваліфіковані стропальники [101].

Монтаж та висотні роботи.

Робочі зони: Встановлення каркасів для стін чи колон проводиться з огорожених помостів (ширина $\geq 0,8$ м), розташованих із кроком по висоті не більше 2 м [100].
Страхування: При роботі висоті робоче повинно бути огороженим. Якщо це неможливо або поверхня має ухил понад 20° , обов'язковим є використання страхувальних поясів і канатів, закріплених згідно з техкартою [97, 100].

Спеціальні умови та завершення монтажу Зварювання: У приміщеннях де проводять зварювальні роботи, робочі місця повинні бути захищені вогнетривкими перегородками [102]. Фіксація: Арматурні блоки формують у пакети, зручні для підйому та перевезення [101]. Заборона доступу: Поки арматурні блоки не будуть остаточно закріплені, перебувати на них або поблизу них суворо заборонено [97].

Пересування територією, де покладена арматура, дозволяється винятково по спеціально змонтованих міцних настилах завширшки від 0,6 метра, які мають бути надійно зафіксовані на самому каркасі [100]. Для запобігання випадковим травмам усі арматурні випуски з плит, що підіймаються над бетоном на висоту до одного метра, обов'язково захищаються м'якими трубками або іншими пристосуваннями [97]. Під час встановлення фіксаторів чи підкладок під арматурні сітки слід використовувати спеціальні подовжувачі, що гарантує стабільність конструкції та безпеку працівника [96].

Процес зведення монолітних споруд планується таким чином, щоб монтаж сходових кліток не відставав від основних робіт більше ніж на один поверх [96]. Усі шляхи підйому персоналу на робочі яруси мають бути чітко прописані у Проекті виконання робіт [96]. При цьому опалубка для вертикальних елементів обладнується надійними площадками та драбинами для зручного доступу, а алгоритми захисту від падіння людей чи елементів конструкцій під час їх монтажу та демонтажу детально фіксуються в технологічних картах [96, 97].

Робота з бетонною сумішшю також вимагає суворої дисципліни: переміщувати бункери в будь-якому стані можна лише з щільно закритим затвором [101]. Під час вивантаження суміші важливо тримати край бункера на відстані не більше одного метра від поверхні, якщо інше не обумовлено проектною документацією [96]. Експлуатація бетононасосів дозволяється лише за умови справної сигналізації та після перевірки міцності всіх замкових з'єднань системи [98].

Підготовчий етап та обов'язки керівника До того як приступити до бетонування, відповідальна особа має переконатися у безпеці майданчика [96, 97]. Інспекція конструкцій: Перевірити надійність та цілісність опалубки, стійкість риштувань та наявність захисних бар'єрів на робочих рівнях [96]. Справність техніки: Проконтролювати робочий стан бетононасосів, маніпуляторів, а також цілісність тарих бункерів [98]. Екіпірування: Видати персоналу необхідні засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) [97].

Експлуатація змішувального обладнання

Під час роботи з бетонозмішувачами діють суворі правила очищення [98]:

Прямки дозволяється чистити лише за умови, що ківш надійно зафіксований [97]. Будь-які маніпуляції всередині барабанів чи корит можливі тільки після повної зупинки агрегату та знеструмлення мережі [99].

Робота з арматурою Для безпечної заготівлі та монтажу металевих елементів необхідно [96, 97]: Зонування: Огороджувати ділянки, де розмотують бухти або вирівнюють пруту [100]. Захист від уламків: Під час нарізання дрібних деталей (менше 30 см) використовувати спеціальні захисні пристрої [97]. Безпека на верстатах: Відокремлювати робочі зони двобічних верстатів сіткою (від 1 м заввишки) та ізолювати виступаючі частини стержнів [96].

Логістика: Зберігати арматуру виключно у визначених зонах, а в місцях проходів (шириною понад 1 м) обов'язково закривати торці прутів [97]. Транспортування: Кріплення та підйом арматурних конструкцій краном мають здійснювати лише кваліфіковані стропальники [101].

Монтаж та висотні роботи

Робочі зони: Встановлення каркасів для стін чи колон проводиться з огорожених помостів (ширина $\geq 0,8$ м), розташованих із кроком по висоті не більше 2 м [100]. Страхування: При роботі висоті робоче повинно бути огороженим. Якщо це неможливо або поверхня має ухил понад 20° , обов'язковим є використання страхувальних поясів і канатів, закріплених згідно з техкартою [97, 100].

Спеціальні умови та завершення монтажу Зварювання: У приміщеннях де проводять зварювальні роботи, робочі місця повинні бути захищені вогнетривкими перегородками [102]. Фіксація: Арматурні блоки формують у пакети, зручні для підйому та перевезення [101]. Заборона доступу: Поки арматурні блоки не будуть остаточно закріплені, перебувати на них або поблизу них суворо заборонено [97].

Пересування територією, де покладена арматура, дозволяється винятково по спеціально змонтованих міцних настилах завширшки від 0,6 метра, які мають бути надійно зафіксовані на самому каркасі [100]. Для запобігання випадковим травмам усі арматурні випуски з плит, що підіймаються над бетоном на висоту до одного метра, обов'язково захищаються м'якими трубками або іншими пристосуваннями [97]. Під час встановлення фіксаторів чи підкладок під арматурні сітки слід використовувати спеціальні подовжувачі, що гарантує стабільність конструкції та безпеку працівника [96].

Процес зведення монолітних споруд планується таким чином, щоб монтаж сходових кліток не відставав від основних робіт більше ніж на один поверх [96]. Усі шляхи підйому персоналу на робочі яруси мають бути чітко прописані у Проекті виконання робіт [96]. При цьому опалубка для вертикальних елементів обладнується надійними площадками та драбинами для зручного доступу, а алгоритми захисту від падіння людей чи елементів конструкцій під час їх монтажу та демонтажу детально фіксуються в технологічних картах [96, 97].

Робота з бетонною сумішшю також вимагає суворої дисципліни: переміщувати бункери в будь-якому стані можна лише з щільно закритим затвором [101]. Під час вивантаження суміші важливо тримати край бункера на відстані не більше одного метра від поверхні, якщо інше не обумовлено проектною документацією [96]. Експлуатація бетононасосів дозволяється лише за умови справної сигналізації та після перевірки міцності всіх замкових з'єднань системи [98].

6.3. Вимоги до робочих місць

При бетонуванні перекриттів обов'язковою умовою є встановлення захисних огорожень по всьому периметру опалубки [103]. Будь-які технологічні отвори в настилі мають бути щільно закриті щитами, а ті, що потребують постійного доступу повітря чи світла – міцними ґратами [104]. Зони,

де розташовані опорні стійки опалубки, позначаються заборонними знаками, а доступ сторонніх осіб до них суворо обмежується [103].

Якщо монтаж стін, колон або ригелів вимагає перебування працівника поза основною підлогою, необхідно заздалегідь облаштувати робочі помости шириною від 0,8 м [105]. Такі конструкції повинні мати суцільне огороження та бути розрахованими на навантаження, визначені проєктною документацією [104]. При роботі з ковзною опалубкою необхідно захищати торцеві сторони після демонтажу її частин, а для безпеки людей на підвісних риштуваннях – встановлювати захисні козирки [106].

Усі процеси, пов'язані з переміщенням вантажів, використанням строп та тари для бетону, мають відповідати чинним державним нормам безпеки [107]. На ділянках натягування арматури встановлюються захисні бар'єри висотою не менше 1,8 м, а обладнання оснащується сигналізацією [108]. Під час термічного нагріву стержнів заборонено наближатися до них ближче ніж на 1 м [108].

Збирання великих арматурних каркасів здійснюється на спеціально підготовлених майданчиках [103]. При застосуванні хімічних добавок персонал зобов'язаний використовувати захисні окуляри та рукавички [109]. Під час очищення кузовів автосамоскидів від залишків бетону перебування працівників у кузові або на ньому суворо заборонено [107].