

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд і технологій
(повна назва факультету)
Будівельної механіки
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Магістра

(назва освітнього ступеня)

на тему: Вплив яєчної шкаралупи на властивості будівельних матеріалів

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи МБ_{нм}-61
спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

Тучак І.Р.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Ковальчук Я.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Мещерякова О.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Ясній В.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент Бобик М.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет інженерії машин, споруд і технологій
(повна назва факультету)

Кафедра Будівельної механіки
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

« _____ » _____
(підпис) Ясній В.П.
(прізвище та ініціали)
2023 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня Магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія
(шифр і назва спеціальності)

студентці Тучак Ілоні Романівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Вплив яєчної шкаралупи на властивості будівельних матеріалів

Керівник роботи Ковальчук Ярослав Олексійович, к.т.н., доцент.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « _____ » _____ 2023 року № _____

2. Термін подання студентом завершеної роботи _____

3. Вихідні дані до роботи Натурні зразки яєчної шкаралупи,
стандартні методики дослідження властивостей будівельних матеріалів

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Огляд літературних джерел за темою роботи та аналіз отриманих результатів різними авторами; постановка задач для власних досліджень, методика проведення експериментальних досліджень для виявлення властивостей будівельних матеріалів зі шкаралупою; виконання експериментальних досліджень; аналіз отриманих результатів власних експериментальних досліджень; охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях; загальні висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Мультимедійна презентація за структурою роботи з демонстрацією Прилад для експериментального визначення коефіцієнта теплопровідності будівельних матеріалів; процес виготовлення зразків; металева опалубка для формування; натурні зразки; динаміка залежності проходження теплового потоку через зразки; гідравлічний прес.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Основний розділ	Ковальчук Я.О., к.т.н., доц.		
Охорона праці	Каспрук В.Б., к.т.н., доц.		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	Стручок В.С., ст.викл.		
Нормоконтроль	Мещерякова О.М., ст.викл.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури	09.10.2022	
2	Виготовлення зразків пустотного перерізу	12.10.2022	
3	Зняття опалубки	02.11.2022	
4	Тарування приладу	17.11.2022	
5	Дослідження теплопровідності	10.12.2022	
6	Аналіз отриманих результатів	28.03.2023	
7	Виготовлення зразка	02.03.2023	
8	Дослідження міцності	27.03.2023	
9	Обробка результатів	01.04.2023	
10	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	14.04.2023	
11	Загальні висновки	21.04.2023	

Студентка _____

(підпис)

Тучак І.Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____

(підпис)

Ковальчук Я.О.

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 РОЛЬ ЯЄЧНОЇ ШКАРАЛУПИ В БУДІВНИЦТВІ.....	8
1.1 Фізико-хімічні властивості яєчної шкаралупи.....	8
1.2 Історична довідка до використання яєчної шкаралупи в будівництві	10
1.3 Сучасні підходи до використання яєчної шкаралупи в будівництві	12
1.4 Потенціал яєчної шкаралупи для створення екологічних будівельних матеріалів	14
1.5 Узагальнення огляду щодо використання яєчної шкаралупи в будівництві і постановка задач для власних досліджень	19
1.6 Висновки за розділом 1	20
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	21
2.1 Вимоги нормативної документації для дослідження властивостей отриманих матеріалів	21
2.2 Обладнання і методика дослідження властивостей бетону.....	23
2.3 Методика дослідження впливу яєчної шкаралупи в якості заповнювача на міцність бетону.....	25
2.4 Методика дослідження впливу яєчної шкаралупи на теплопровідність будівельних матеріалів	29
2.5 Висновки за розділом 2	34
РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЯЄЧНОЇ ШКАРАЛУПИ НА ВЛАСТИВОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ	35
3.1 Дослідження властивостей вихідного матеріалу.....	35
3.1.1 Підготовка яєчної шкаралупи для експериментальних досліджень.....	35
3.2 Визначення насипної густини яєчної шкаралупи	36
3.2.2 Визначення дійсної густини яєчної шкаралупи.....	37
3.2.3 Водопоглинання яєчної шкаралупи	39
3.3 Дослідження впливу яєчної шкаралупи в якості заповнювача бетонів	40

	4
3.3.1 Міцність бетону без яєчної шкаралупи	40
3.3.2 Міцність бетону з різним вмістом яєчної шкаралупи	42
3.4 Дослідження впливу яєчної шкаралупи на теплопровідність будівельних матеріалів	48
3.4.1 Теплопровідність будівельних матеріалів без яєчної шкаралупи	48
3.4.2 Вплив яєчної шкаралупи на теплопровідність будівельних матеріалів.	50
3.5 Висновки за розділом 3	61
РОЗДІЛ 4 ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ	63
4.1 Використання яєчної шкаралупи для несучих конструкцій.....	63
4.2 Використання яєчної шкаралупи для теплоізоляції	64
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	66
5.1 Охорона праці	66
5.1.1 Законодавча та нормативна база України про охорону праці.....	66
5.1.2 Вимоги з техніки безпеки та охорони праці на виробництві при виготовленні будівельних матеріалів.....	67
5.1.3 Основні вимоги та правила техніки безпеки під час роботи в науково-випробувальній лабораторії будівельних матеріалів, виробів і конструкцій ТНТУ ім. І Пулюя.....	69
5.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях	70
5.2.2 Підвищення стійкості роботи будівельних підприємств у воєнний час	70
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	74
БІБЛІОГРАФІЯ.....	75

ВСТУП

Будівництво передбачає вирішення різноманітних технічних, естетичних і економічних завдань і зазнає постійного вдосконалення в процесі розвитку людського суспільства. Висуваються нові вимоги до будівельного виробництва, відкриваються перспективи для вдосконалення та оновлення матеріалів, виробів, конструкцій та технологій їх отримання й використання [1]. Плануючи нове будівництво, потрібно розуміти, що будь-яка будівля має не тільки відповідати функціональним і естетичним вимогам, але і не створювати негативних екологічних наслідків на навколишнє середовище [2].

Актуальність теми кваліфікаційної роботи обумовлена потребою в нових будівельних матеріалів з вищими фізико-механічними властивостями та показниками екологічності. Виконані дослідження, окрім цього, вирішать проблему утилізації ячної шкаралупи, яку приймають за відходи. Зараз близько 26,3 % відправляється на звалища, замість того, щоб використати в сучасному будівництві. Це значно зменшить вартість готового матеріалу, отриманого з екологічно чистого продукту.

Запропоновані інноваційні рішення з використання ячної шкаралупи в поєднанні з різними типами в'язучих речовин. Отримано бетони з більшою міцністю і з нижчою теплопровідністю, які можна використовувати для стінових матеріалів, забезпечивши вищу енергоефективність будівель, підвищивши їх конкурентоздатність на ринку будівельної продукції.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження проведено згідно тенденцій енергетичної стратегії України на період до 2030 року [3], згідно тематики науково-дослідних робіт кафедри будівельної механіки ТНТУ імені Івана Пулюя та для забезпечення потреб будівництва екологічними енергоефективними матеріалами.

Метою роботи є виявлення впливу ячної шкаралупи на механічні та теплотехнічні властивості будівельних матеріалів та формулювання рекомендацій щодо раціонального їх використання.

Задачі роботи. Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- запропонувати склад, структуру і технологію отримання різних варіантів будівельних матеріалів з додаванням яєчної шкаралупи;
- запропонувати конфігурацію та технологію виготовлення дослідних зразків для визначення міцності і теплопровідності отриманих будівельних матеріалів;
- запропонувати методику дослідження міцності і теплопровідності дослідних зразків будівельних матеріалів, виходячи з нормативних вимог і наявного устаткування;
- виготовити дослідні зразки для визначення границі міцності і коефіцієнта теплопровідності матеріалів;
- натурними експериментальними дослідженнями визначити міцність зразків на стиск для різного відсоткового вмісту яєчної шкаралупи в них;
- натурними експериментальними дослідженнями визначити коефіцієнт теплопровідності зразків;
- порівняти визначені властивості цих матеріалів з аналогічними властивостями відомих будівельних матеріалів;
- розробити рекомендації щодо практичного застосування будівельних матеріалів з додаванням яєчної шкаралупи.

Об'єктом дослідження є зразки будівельних матеріалів з різним відсотковим вмістом яєчної шкаралупи та з різними видами в'язучих речовин.

Предметом дослідження є процеси руйнування при стисканні будівельних матеріалів на основі яєчної шкаралупи та поширення тепла через них.

Методами дослідження є аналіз попередніх досліджень та нормативної бази щодо енергоефективності та міцності будівельних матеріалів, натурні експерименти з визначення границі міцності та коефіцієнта теплопровідності будівельних матеріалів з вмістом яєчної шкаралупи, апроксимація результатів експериментальних досліджень, їх порівняння та узагальнення.

Наукова новизна отриманих результатів:

- вперше виявлено залежність границі міцності бетону від вмісту в ньому яєчної шкаралупи в якості дрібного заповнювача;
- вперше отримано теплотехнічні характеристики матеріалів на основі яєчної шкаралупи з різними в'язучими матеріалами, а саме цементом, рідким склом та клеєм ПВА.

Практичне значення отриманих результатів полягає у підвищенні міцності та енергоефективності будівельних матеріалів з вмістом яєчної шкаралупи.

Апробація результатів магістерської роботи виконана на VI Міжнародній студентській науково-технічній конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання» [4].

Публікація результатів магістерської роботи здійснена у збірнику матеріалів Міжнародної студентської науково-технічної конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання» [4].

Ключові слова: яєчна шкаралупа, теплоізоляційні матеріали, міцність, коефіцієнт теплопровідності, бетон.

РОЗДІЛ 1

РОЛЬ ЯЄЧНОЇ ШКАРАЛУПИ В БУДІВНИЦТВІ

1.1 Фізико-хімічні властивості яєчної шкаралупи

Яєчна шкаралупа – тверда зовнішня оболонка яйця. Вона оточує яйце і захищає його. Шкаралупа знизу пов'язана з двошаровою підшкаралупною оболонкою, а зверху вкрита кутикулою – тонкою надшкаралупною оболонкою (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Яєчна шкаралупа як сировина для використання у будівництві [45]

Кутикула виконує захисну функцію, а саме захищає яйце від впливу зовнішнього середовища, її можна легко пошкодити при механічному впливі (миття щітками та ін.). Вона не є міцна. Основою оболонки є волокниста сітка колагеноподібного білка і проміжної неорганічної речовини, яка містить здебільшого вуглекислі та фосфорнокислі солі кальцію та магнію, що надає їй міцність і стійкість до механічних впливів [5].

Розглянуто фізико-хімічні властивості порошку яєчної шкаралупи, які описують його унікальні характеристики. Використання яєчної шкаралупи в різних будівельних матеріалах призвело до зміни їх фізико-механічних властивостей. Переглянуті роботи показують, що при включенні 5...30% порошку яєчної шкаралупи були розроблені екологічно чисті будівельні матеріали з властивостями,

які знаходяться в межах встановлених інженерних стандартів [6].

Товщина шкаралупи яйця залежить від мінерального складу корму. Товщина курячого яйця складає 0,34...0,40 мм. Структура шкаралупи ділиться на два шари. Зовнішній шар є губчастий і займає 2/3 загальної товщини. Яєчна шкаралупа має приблизно 7000 пор діаметром від 4 до 40 мкм. Тому вона є проникна для газів, води та водяної пари. Повітропроникність шкаралупи однакова в обох напрямках (зсередини і ззовні). Вода тече ззовні в середину в 2 рази повільніше, ніж зсередини на зовні. Шкаралупа більш проникна для вуглекислого газу, ніж для повітря, і навпаки.

Насипна густина шкаралупи приблизно 0,67...0,72 г/см³ [7]. Міцність оболонки часто залежить від величини яйця, як правило, чим менше яйце, тим тонше шкаралупа [8].

Підшкаралупна оболонка в основному складається з органічних сполук. Містить невелику кількість води та мінералів. Білок кератину міститься в оболонці, що розміщена під шкаралупою. Внутрішня оболонка, яка контактує з білками, утворена тонкими кератиновими і муциновими волокнами. Клітини волокнистого каркаса обох мембран заповнені проміжними речовинами білкового походження, такими як кератин і муцин.

До складу твердої оболонки яйця входять 92,8 % гідрокарбонату кальцію, 1,5% гідрокарбонату магнію, 0,8 % – кальцію і магнію фосфат, а 4,9 % – інші речовини [9].

Як видно з наведених вище даних, вміст кальцію в продукті перевищує дев'яносто відсотків. Слід також відзначити те, що це легко засвоювана людським організмом форма кальцію, тобто вже перетворена в органічну з неорганічної.

У таблиці 1.1 показано, що крім основних компонентів, яєчна шкаралупа містить близько тридцяти потрібних організму мікро – і макроелементів.

Основне забарвлення яєчної шкаралупи формується в утробі птиці за рахунок пігменту і залежить від місця проживання. Воно може змінюватись від білого до світло-коричневого.

Таблиця 1.1 – Вміст мікро – та макроелементів у яєчній шкаралупі

Назва мікро- та макроелементів	Кількість в 100 г
Калій	83,3 – 93,1 мг
Натрій	81,7 – 130,8 мг
Кальцій	33400 – 37300 мг
Магній	106,3 – 113,9 мг
Сірка	674 – 1260 мг
Фосфор	124 – 188 мг
Залізо	2800 і більше мкг
Йод	34 – 60 мкг
Кобальт	70 – 90 мкг
Марганець	40 – 110 мкг
Мідь	92 – 150 мкг
Молібден	28 – 36 мкг
Фтор	122 – 156 мкг
Хром	131 – 180 мкг
Цинк	400 – 670 мкг

1.2 Історична довідка до використання яєчної шкаралупи в будівництві

Людство займається будівництвом тисячі років і досягнуло у цій справі чимало висот. Особливо це помітно в еволюції будматеріалів – від стародавніх глини та дерева до цегли та піноблоків. Але як же будували, якщо цементу в сучасному розумінні цього слова не було аж до 1824 року, коли Джозеф Аспдін винайшов суміш портландцементу [10], яка разом з річковим піском, щебенем та водою давала бетон. Такий бетон чудово витримував стиск і володів необхідними характеристиками міцності. До цього часу на Русі (і не тільки) як в'язуча речовина використовували яйця. Це добре зв'язувало пісок з вапном і за кілька днів розчин

набирав достатньої міцність. Будівлі 15...19 століть, що стоять і сьогодні, – найкращі докази ефективності такого додавання в бетон.

Одним із прикладів є Карлів міст у Празі. За результатами аналізу, проведеного чеським хіміко-технологічним університетом (VŠCHT) [11] виявлено, що при додаванні в бетон і цементний розчин яєчної шкаралупи можна суттєво покращити міцність, щільність, зчеплення та водонепроникність будівельної суміші. Багато з тих будівель, які зводилися таким чином, стоять і досі, дивуючи своєю небувалою міцністю. Карлів міст – це, зрештою, один з найстаріших кам'яних мостів, який все ще стоїть сьогодні, незважаючи на руйнівні чинники, світові війни і повені [12].

Будівельники давних часів також перевіряли яєчну шкаралупу в розчині на інші властивості. Повітря в розчині повинне оптимально становити до 20%, що збільшує об'єм розчину, покращує морозостійкість, знижує потребу у воді, підвищує міцність. Розчин повинен одночасно протистояти розтріскуванню. Все, що було під рукою корисного, що збільшувало б міцність і захоплювало повітря, було випробувано ще в минулому. При потраплянні вологи в розчин, вона збирається в порах. Якщо пори дрібні, то волога, що є в стінах, заповнює їх повністю і при мінусових температурах, збільшуючись в об'ємі, розриває розчин. Якщо пори мають достатній об'єм, то волога, замерзаючи, вже не тріскає. Отже, бульбашки в розчині (повітря залучається в процесі замішування) потрібні, вони повинні бути невеликими і зберігатися протягом змішування, укладання та набору міцності. Крім того, повітряні бульбашки спрощують укладання розчину, роблячи його рухомим, пластичним навіть при зниженні частки води в розчині. З метою залучення повітря та збільшення пластичності при низьких водо-цементних співвідношеннях у сучасних бетонах використовують поверхнево-активні добавки, тоді ж це було яйце. Добавка яєчної шкаралупи продовжує термін життя розчину.

1.3 Сучасні підходи до використання яєчної шкаралупи в будівництві

Щороку люди викидають понад 8,5 мільйонів тон яєчної шкаралупи. Більшість цих відходів потрапляє на звалище. Яєчну шкаралупу часто вважають крихкою, проте вона багата на кальцій і стійка до УФ.

Дизайнери вирішили максимально використовувати ці переваги матеріалу. Дизайнерський бренд Nature Squared знайшов інше застосування цього матеріалу [6]. Пол Хув та Лей Кун Тан заснували у 2000 році дизайнерський бренд Nature Squared. Головна мета їх проекту – створення інноваційних екологічних поверхонь з використанням великої кількості природних матеріалів, таких як яєчна шкаралупа, насіння, кора та пір'я. У Nature Squared надходять матеріали з таких галузей, як сільське господарство та рибальство, перетворюючи відходи на стійкі будівельні матеріали. У 2020 році головний інноватор Nature Squared Елейн Ян Лінг представила Carrel – серію плиток на основі яєчної шкаралупи різноманітних кольорів та форм для ванної чи кухні (рис.1.2).

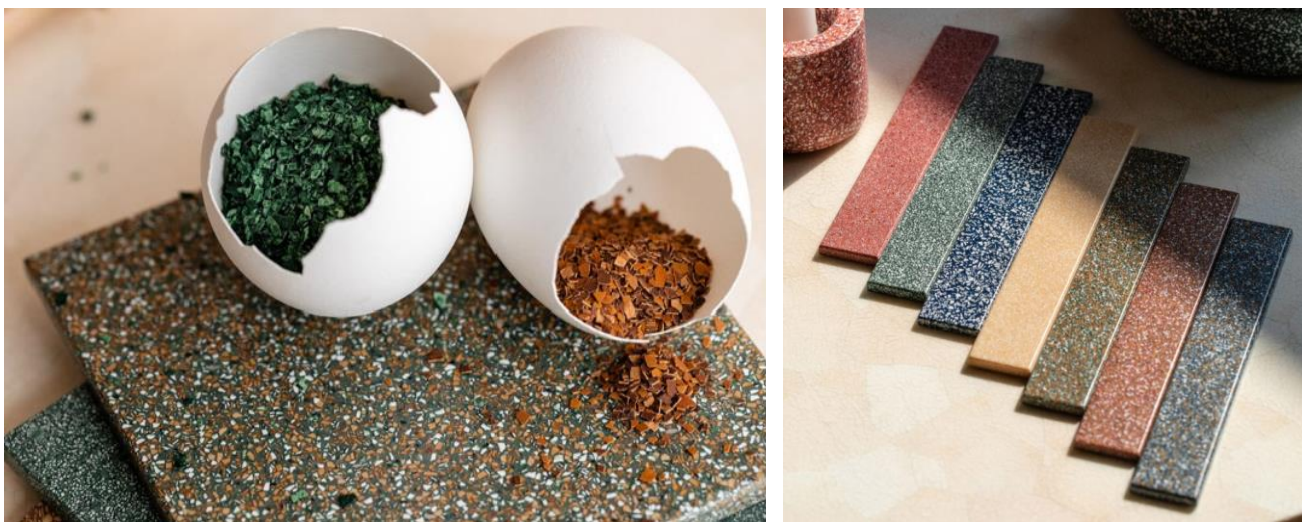


Рисунок 1.2 – Плитка з яєчної шкаралупи [6]

Екологічний тренд запобігає накопиченню біологічних відходів на звалищах. Ця плитка стала чудовим вибором для переробки білої яєчної шкаралупи, зібраної з місцевих пекарень та кухонь. Отриманий матеріал подрібнюють на шматки не більше 3 мм. Особливий спосіб виготовлення створює

вигляд, що схожий до тераццо. Плитку створюють у формі квадратиків, трикутників та прямокутників різних розмірів і залишають затвердіти за кімнатної температури. Щоб виготовити один квадратний метра плитки, потрібно 3000 яєчних шкаралуп. Звичайна яєчна шкаралупа на цінну природну сировину для оздоблювального матеріалу завдяки роботі Nature Squared. Плитка з яєчної шкаралупи володіє всіма перевагами керамічної плитки. Її просто доглядати, вона легко миється і підходить для укладання в приміщеннях з підвищеною вологістю.

Залежно від обробки колекція набуває різноманітних фарб. Яєчна шкаралупа також добре вбирає барвники. Таку плитку не важко мити, що спрощує догляд за простором.

Сучасний дизайн інтер'єру пропонує безліч цікавих рішень, як облаштувати простір та вдосконалити існуючу обстановку. Сьогодні існує кілька десятків варіацій красивого оформлення стін в будинку або квартирі. Саме один із них є мозаїка з використанням яєчної шкаралупи (рис 1.3).



Рисунок 1.3 – Мозаїка з яєчної шкаралупи [46]

Не лише мозаїкою одною можна оздоблювати помешкання, а ще й було створено вази з яєчної шкаралупи. Такі елементи декору додають затишку і є екологічними (рис.1.4).



Рисунок 1.4 – Ваза з яєчної шкаралупи [46]

Згідно з VIEIRA (2004), порошок карбонату кальцію, отриманий з яєчної шкаралупи, може діяти як реагент для видалення важких металів у водному середовищі, а також RODRIGUES та ін. (2015) надали можливість повторного використання яєчної шкаралупи як джерело CaCO_3 та CaO .

1.4 Потенціал яєчної шкаралупи для створення екологічних будівельних матеріалів

Через збільшення попиту на екологічність матеріалів виникла потреба у їх створенні і розширенні асортименту.

Важливим чинником технічного прогресу є створення нових ефективних екологічних матеріалів, де в процесі виробництва можна використовувати місцеві ресурси або відходи [13]. Теплоізоляційні матеріали повинні мати високий опір теплопередачі і форму збереження при експлуатаційних чи механічних

навантаженнях. Головною передумовою високої термостійкості є висока пористість (менша густина).

Одним із схожих за фізико-хімічними властивостями екологічних матеріалів, які були дослідженні, є раковини молюсків. Раковина молюска або черепашки — це вид морського побічного продукту, який можна використовувати для додавання в бетони.

У цьому дослідженні молоту черепашку використовували як часткову заміну цементу. Мелені мушлі готували шляхом спалювання та подрібнення. Досліджуваними механічними властивостями були міцність на стиск, міцність на розрив, міцність на вигин і модуль пружності черепашкового бетону. Ці властивості порівнювали з властивостями контрольного звичайного портландцементу. На основі пробних сумішей з використанням меленої черепашки з пропорцією 2, 4, 6 і 8% цементу оптимальна міцність на стиск була досягнута для суміші, яка замінила цемент на 4%. Бетон з додаванням ракушків дав меншу міцність на стиск і модуль пружності порівняно з портландцементом. Зазначається, що міцність на розрив і міцність на вигин були вищими, ніж у звичайного бетону, що є вигідним для збільшення властивості бетону на розтяг.

Черепашки різних молюсків, таких як устриці, молюски, мідії та морські гребінці, доступні у великій кількості вздовж узбережжя. Різноманітні фізичні, механічні та хімічні властивості черепашок, таких як молюск устриці, мідії, морські гребінці, та інші як заміна піску, часткова та повна заміна грубого заповнювача, наповнювача та заміна цементу у формі повного, подрібненого, меленого або порошку вивчені раніше. Як заміна піску, відходи раковин устриць заповнили пори матеріалу та підвищували міцність зі звичайною контрольованою бетонною сумішшю.

За результатами дослідження Сафі та ін. [14] виявлено, що змішування мушлі устриці не спричинило значного зниження міцності на стиск, а показало хорошу адгезію між черепашкою і цементним тістом. Подрібнена шкаралупа має кращі проникні властивості, ніж бетон без черепашок. Це частково тому, що форми та конфігурація в суміші можуть зменшити пористість в бетоні. Подрібнені

черепашки як заміна грубого заповнювача виробляли маломіцний і легкий бетон, тобто більше підходить для застосування з низькою міцністю, наприклад для бетонної бруківки [15].

Недавнє дослідження Cuadrado-Rica et al. [16] показало, що використання подрібненої черепашки може зменшити механічну складову і додати пористості через збільшення кількості повітря в бетоні. Нероздроблені черепашки могли частково замінити заповнювач до 20% із збільшенням міцності на стиск, ніж у звичайного бетону. Однак має низьку оброблюваність через розмір, форму та текстуру оболонок [17]. Використання мелених черепашок як часткової заміни цементу є менш вигідним у застосуванні, оскільки виробництво порошку шкаралупи вимагає інтенсивної енергії для спалювання та подрібнення у вигляді дрібнозернистого порошку.

В одному дослідженні цемент частково замінено меленим черепашками на 5-50%. Перетерті раковини в складі мають 95% Карбонат кальцію (CaCO_3), який підходить як наповнювач для бетону. Однак заміна понад 15% може знизити міцність, водопроникність і пористість бетону до 28 днів [18].

В якості основного в'язучого використовувався звичайний портландцемент. Дрібний заповнювач з питомою вагою 2,68, водопоглинання 1,24%, крупний заповнювач з питомою вагою 2,7, а водопоглинання 1,08% було включено як основний компонент бетону. Зібрані морські мушлі на узбережжі. Сировину очищали, сушили, обпалювали в цегельній печі, подрібнювали на дрібні шматочки за допомогою блендеру і просіювали через сито для отримання порошку черепашок.

Контрольна суміш складалася з цементу (505 кг), води (179,35 кг), дрібних заповнювачів (642,22 кг) і грубих заповнювачів. (969,52 кг). Очікувана міцність на стиск через 28 днів становить 35 МПа. Щоб отримати оптимальний результат цемент замінили на 2, 4, 6 і 8% по масі меленими морськими черепашками. Бетон з додаванням черепашків готували шляхом змішування сухих матеріалів і води в міксері. Сухі матеріали склалися з цементу, дрібних і крупних заповнювачів, мелених черепашок. Суміш безперервно перемішували, поки вона не стала

однорідною. Зразки були відлиті в циліндри 150x300 мм для міцності на стиск, міцність на розрив і на перевірку модуля пружності Юнга. Для міцності на вигин використовувалися зразки розміром 100x100x400 мм. Ракушковий бетон витримували протягом 28 днів у водоймі, а потім залишили сушитися на повітрі до дати тестування. Міцні властивості були визначається шляхом проведення випробувань на міцність на стиск (SNI 03-1973-1990), міцність на розрив (SNI 03-2491-2002), міцність на вигин (SNI 02-4431-1997) і модуль пружності Юнга (ASTM C469).

Як критерій оцінки пробних сумішей використовували міцність на стиск. Таблиця 1.2 відображає міцність на стиск сумішей із заміною цементу 2, 4, 6 і 8%. Запропонованою оптимальною сумішшю була суміш з вмістом черепашки 4%, вона має найвищу міцність 32,24 МПа через 28 днів. Суміш використовували для подальшого дослідження механічних властивостей черепашкового бетону.

Таблиця 1.2 – Міцність пробних сумішей з черепашками на стиск

Вміст черепашки, %	Міцність на стиск (МПа)
2	30,84
4	32,24
6	28,86
8	30,56

Спостерігалось збільшення міцності на стиск усіх зразків через 7, 28 і 91 день для обох типів бетону. Показники зразка звичайного бетону мають трохи вищу міцність, ніж у раковини. Вплив подрібненої черепашки на міцність при стиску може знизити початкову міцність бетону. Ймовірно, це сталося через зменшення вмісту цементу, який міг зменшити швидкість гідратації бетону в ранньому віці. Про подібні висновки повідомили Lertwarttanaruk et al. [19]. Черепашка має менший вміст кальцію (CaO), ніж цемент, що спричиняє повільну гідратацію через порушення процесу. Однак через 28 днів приріст міцності був досить значним для бетону з черепашками.

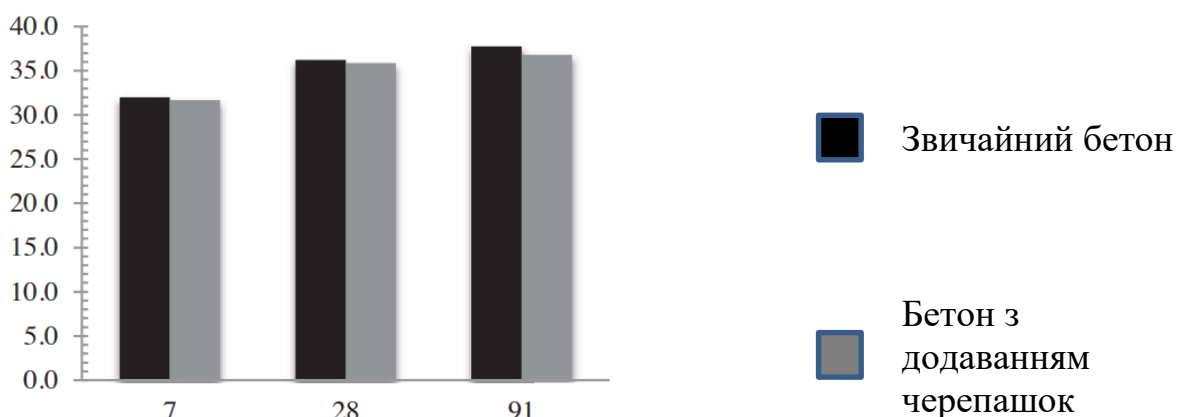


Рисунок 1.3 – Міцність на стиск бетону і з додавання черепашок через 7, 28 і 91 день

Спостерігалось поступове збільшення міцності на розтяг. Міцність бетону з черепашками була відносно вищою, ніж звичайного через 28 днів. Така висока міцність на розрив, ймовірно, була наслідком покращення склеювання на межі розділу цементного тіста та заповнювачів. Додавання меленої черепашки може збільшити щільність бетону.

Властивості ячної шкаралупи досить близькі до властивостей черепашки, тому варто виконати аналогічні дослідження для матеріалів з вмістом шкаралупи, оскільки вона є відходами харчового виробництва і її можна отримати у значно більших кількостях, ніж черепашок.

Незважаючи на велику кількість сировини для виробництва гіпсу в промисловості, ідея повторного використання відходів як пропозиції щодо виробництва цього матеріалу стає значно привабливою альтернативою, тому використання ячної шкаралупи означає скорочення утилізації цих залишків із високим вмістом забруднювачів на звалищах. Оксид кальцію, який може бути отриманий шляхом кальцинації залишків ячної шкаралупи, є білим твердим низькорозчинним у воді при кімнатній температурі та генерує розчини з високою лужністю, рН близько 12,8. Так звана вапняна вода є насиченим розчином оксиду кальцію. У лакофарбової промисловості CaO в основному використовується у виробництві вапняної фарби, що зазвичай використовується для живопису, також відомої як білопад, використовується з давніх-давен для виправлення

недосконалості стін (MORAES et al, 2015). Використання липових фарб з СаО, що виробляються шляхом кальцинації залишків яєчної шкаралупи могло б забезпечити дешевші продукти і безпечні та екологічно чисті хімічні процеси (GIULIO, 2007).

1.5 Узагальнення огляду щодо використання яєчної шкаралупи в будівництві і постановка задач для власних досліджень

Проведеним літературним оглядом за тематикою магістерської кваліфікаційної роботи [20...23] виявлено, що вплив яєчної шкаралупи на будівельні матеріали в достатній мірі не вивчено. Найближчими до теми роботи є дослідження з раковинами молюсків. В розглянутих матеріалах заслуговує уваги поєднання природної сировини з різними в'язучими речовинами, які доцільно використати для власних досліджень.

Враховуючи велику кількість яєчної шкаралупи на сміттєзвалищах і вагому проблему її утилізації, прийнято рішення дослідити вплив її на будівельні матеріали, тобто пропозиції використання для теплоізоляційних матеріалів, які можливо використовувати для теплоізоляції конструкцій та перевірити міцність бетону із різним співвідношенням яєчної шкаралупи до піску.

Для цього необхідно розв'язати такі задачі:

- запропонувати склад, структуру і технологію отримання різних варіантів будівельних матеріалів з додаванням яєчної шкаралупи;
- запропонувати конфігурацію та технологію виготовлення дослідних зразків для визначення міцності і теплопровідності отриманих будівельних матеріалів;
- запропонувати методику дослідження міцності і теплопровідності дослідних зразків будівельних матеріалів, виходячи з нормативних вимог і наявного устаткування;
- виготовити дослідні зразки для визначення границі міцності і коефіцієнта теплопровідності матеріалів;
- натурними експериментальними дослідженнями визначити міцність

зразків на стиск для різного відсоткового вмісту яєчної шкаралупи в них;

- натурними експериментальними дослідженнями визначити коефіцієнт теплопровідності зразків;
- порівняти визначені властивості цих матеріалів з аналогічними властивостями відомих будівельних матеріалів;
- розробити рекомендації щодо практичного застосування будівельних матеріалів з додаванням яєчної шкаралупи.

1.6 Висновки за розділом 1

На основі огляду літератури та результатів досліджень, що були проведені іншими авторами виявлено:

- питання екологічності будівельних матеріалів;
- існує потреба в розробці нових екологічно чистих;
- перевірити вплив яєчної шкаралупи на міцність бетону;
- доцільність розроблення теплоізоляційних матеріалів на основі яєчної шкаралупи та проведення досліджень їх властивостей.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Вимоги нормативної документації для дослідження властивостей отриманих матеріалів

Існують певні норми та стандарти для дослідження нових будівельних матеріалів. Якість матеріалу оцінюється рядом різних числових показників технічних властивостей, отриманих під час дослідження відповідних зразків. Більшість матеріалів і продуктів мають стандарти, які визначають обов'язкові методи випробувань. Кожен будівельний матеріал повинен бути випробуваний в лабораторії, перш ніж він буде розглянутий для подальших розрахунків [24]. Тип матеріалу, його вологість, придатність до будівництва, а також їх хімічні та фізичні властивості впливають на конструкцію бетону. Бетон не є однорідним продуктом. Таким чином, кожен результат тесту не однаковий. Статистичні принципи використовуються для аналізу результатів дослідження для отримання інформації. Ця інформація використовується для оцінки приймання бетону.

Для визначення міцності бетону необхідно виміряти мінімальні зусилля, що призводять до руйнування контрольних зразків спеціально виготовленого бетону при навантаженні з постійною швидкістю зростання навантаження, а потім розрахувати напруження при цих зусиллях [25].

Форма і номінальні розміри зразка залежать від методу визначення міцності бетону і мають відповідати даним у таблиці 2.1.

Зразки у вигляді куба, призми або циліндра отримують у формах. Один такий зліпок називається одним екземпляром. Результати випробувань зразка повинні бути середнім значенням міцності трьох зразків. Індивідуальна варіація не повинна перевищувати $\pm 15\%$ від середнього. Якщо більше, то результати випробувань зразка недійсні.

Таблиця 2.1 – Форма і номінальні розміри зразків для визначення міцності бетону [25]

Метод	Форма зразка	Розміри зразка	
		Параметр розміру	Довжина ребра
Визначення міцності на стиск і на розтяг при розколюванні	Куб	Розмір, мм	100; 150; 200; 300
		Циліндр	100; 150; 200; 300
	Циліндр	Діаметр d	100; 150; 200; 300
		Висота h	$2d$
Визначення міцності на осьовий	Призма	Переріз $a \times a$	100×100; 150×150; 200×200
		Висота h	$4a$
	Циліндр	Діаметр d	100; 150; 200; 300
		Висота h	$2d$
Визначення міцності на розтяг при згині та розколюванні	Призма	Переріз $a \times a$	100×100; 150×150; 200×200
		Висота h	$4a$

Зразки зі свіжого бетону повинні бути взяті відповідно до IS 1199 [26], а куби повинні бути виготовлені, затверділі та випробувані через 28 днів відповідно до IS 516 [27]. Зразок бетону повинен бути розміром 100x100x100 мм. Якщо береться кілька проб однієї партії, вони дають різні результати. Ці результати відрізняються один від одного, але варіації їх сили і середньої сили показують майже схожість. Якщо береться та оцінюється більше зразків, вони надають більше цифр для оцінки, і рівень впевненості для їх прийняття зростає.

Статистика надає необхідну допомогу для виходу на критерій, який може бути корисним для використання, і розробки критеріїв прийнятності конкретних результатів випробувань.

Стандартне відхилення – це число, яке використовується для визначення того, як вимірювання для групи розподіляються від середнього або очікуваного значення. Низьке стандартне відхилення означає, що більшість цифр близькі до середнього. Високе стандартне відхилення означає, що цифри більше відрізняються [28].

Перед початком дослідження зразки візуально перевіряють для виявлення дефектів у вигляді сколу ребер, раковин та чужорідних включень. Зразки з тріщинами, сколами ребер глибиною більше 10 мм, ознаками розшарування та недоуцільненням бетонної суміші, не перевіряють.

Відкладення бетону на краю опорної поверхні необхідно видалити за допомогою напилка або абразивного каменя. Результати випробувань заносяться в протокол випробувань.

Під час випробування на стиск зразок центрують на нижній плиті преса (або випробувальної машини) в одній із вибраних площин за допомогою лінії, проведеної на плиті, або спеціального центруючого пристрою. Додаткові несучі сталеві пластини також можуть бути розміщені між плитою преса та опорною поверхнею зразка.

Багато будівельних матеріалів певною мірою є пористими, тобто вони містять частку пор, які можна заповнити повітрям (або іншими газами), рідиною. Це значною мірою впливає на щільність матеріалу, а також на його теплопровідність [29]. Будівельні матеріали з високою щільністю мають більшу теплопровідність, ніж будівельні матеріали з меншою щільністю.

Для того, щоб перевірити теплопровідність будівельних матеріалів виготовляють зразок у вигляді прямокутного паралелепіпеда зі сторонами, рівними сторонам робочих поверхонь плит приладу.

Висушений зразок насипного матеріалу слід поміщати у ящик з тонкими металевими пластинами та кришкою. Габарити ящика мають бути рівними відповідним розмірам робочої поверхні пластини апарата, а глибина - товщині зразка. При розрахунку теплофізичних параметрів зразка і щільності стаціонарного теплового потоку в розрахункові формули підставляють після визначення середнього арифметичного значення п'яти вимірів сигналу від датчика температури і сигналу тепломіра або електричної потужності в стаціонарний тепловий потік через досліджувальний зразок [30].

2.2 Обладнання і методика дослідження властивостей бетону

Дослідження бетону проводяться різними методами, і який метод вибрати залежить від наявних потужностей, умов експлуатації, віку заливки, вихідних даних і очікуваних результатів.

Основні методи випробування бетону на міцність:

1. Випробування зразків бетону, які отримують в умовах лабораторії – з суміші створюють циліндри або куби, потім перевіряють з використанням преса.
2. Перевірка випиляних зразків з уже готового моноліту - зазвичай висвердлюються алмазною коронкою, керн надсилається в лабораторію, де на пресі вимірюється міцність.
3. Неруйнівні методи - із використання обладнання / інструментів, які дозволяють визначити властивості моноліту без розміщення їх в спеціальному обладнанні чи умовах. Застосовують ультразвуковий, ударно-імпульсний метод і т. д. [47].

Попри появу безлічі сучасних приладів і різних методів, все ж таки найефективнішим є випробування зразків бетону під пресом (на стиск) кубиків, циліндрів з бетону, одержаних в умовах лабораторії або випиляних з уже готового моноліту (що може позначитися на міцності всієї конструкції). Зразку бетону надають зростаюче навантаження, поки не вдасться зафіксувати руйнування [31].

Використовуються різні методики визначення коефіцієнту теплопровідності, але по факту всі технології вимірювання об'єднані двома групами методів:

- режим стаціонарних вимірювань.
- режим нестаціонарних вимірювань.

Методика визначення коефіцієнту теплопровідності в режимі стаціонарних вимірювань передбачає роботу з параметрами, що не змінюються з плином часу або змінюються в незначній мірі. Ця технологія, судячи з практичним застосуванням, забезпечує точніші результати і допускає проводити визначення коефіцієнта теплопровідності в широкому температурному діапазоні – 20...700 °С. Але разом з тим, стаціонарна технологія вважається трудомісткою і складною методикою, що вимагає великої кількості часу на виконання [32]. Доцільність її застосування зумовлена вищою достовірністю отриманих результатів.

2.3 Методика дослідження впливу яєчної шкаралупи в якості заповнювача на міцність бетону

Бетонні заповнювачі – це природні або штучні сипучі матеріали, які змішують з в'язучою речовиною і водою (іноді без неї) для утворення бетону. До складу заповнювачів входить природний кварцовий і подрібнений пісок, гравій, щебінь, аглопорити, керамзити, спучені вермикуліт і перліт, паливний шлак і зола тощо [33].

Яєчна шкаралупа буде замінити повністю або частково дрібний заповнювач у розчині.

Дрібні заповнювачі підвищують щільності та пластичність суміші, зменшують водовідділення і розшарування суміші, кількість тріщин у виробі надають більш гладку поверхню. Проте надлишок дрібного заповнювача є шкідливим, а особливо його складової у вигляді пилоподібних частинок, знижується міцність бетону [34].

Дрібний заповнювач впливає на формування мікроструктури бетону внаслідок того, що він при взаємодії з цементним тістом змінює величину водоцементного відношення бетонної суміші. Крім того, дрібний заповнювач сприяє формуванню макроструктури цементного каменю.

Для отримання дослідних зразків виконано просушування шкаралупи і її подрібнення (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Поетапна підготовка сировини для отримання дослідних зразків

Для того, щоб перевірити вплив яєчної шкаралупи в якості заповнювача бетону, було створено зразки із різною кількістю досліджуваного матеріалу. Зразок №1 складався з цементу, яєчної шкаралупи (100%) та води. До зразку №2 додавався ще пісок, в якості дрібного заповнювача у співвідношенні 1:1 яєчної шкаралупи. У зразку №3 відсотковий вміст досліджуваного матеріалу складав лише 10 % від піску. Щоб отримати натурні зразки, було використано опалубку (рис. 2.2).



а

б

а) – до завантаження сумішшю; б) – після завантаження сумішшю.

Рисунок 2.2 – Опалубка для приготування дослідних зразків

Готову бетону суміш укладали в опалубку. Коли зразки затвердіють, їх досягають з розбірної опалубки і залишають досягати проектної міцності до 28 діб у сухому місці [35] (рис. 2.3).

Дослідження міцності буде проведено на гідравлічному пресі П-50 (рис. 2.4, табл. 2.2). Цей прес призначений для випробувань зразків будівельних матеріалів на стиск за стандартною методикою [36]. Прес П-50 оснащено динамометром. Відображення навантаження, що діє на зразок, виводиться на аналоговий циферблат.



Рисунок 2.3 – Готові натурні зразки для випробувань на міцність



Рисунок 2.4 – Прес гідравлічний П-50

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики гідравлічного преса П-50

Назва параметрів і їх розмірність	Значення параметрів
Допустима похибка вимірювання навантаження, %	2
Швидкість переміщення штока, м/с	0,0008
Робочий хід поршня, не менше, мм	50
Розміри плит стиснення, мм	320x320
Висота робочого простору, не менше, мм	630
Габаритні розміри (ДхШхВ), мм	1120x690x2230
Діапазон навантажень, кН	від 0 до 500
Відображення даних випробування	аналоговий циферблат

Навантажуючий модуль преса оснащений двома вертикальними колонами, за допомогою центрального гвинта вручну переміщається рухома траверса в налагоджувальному режимі до контакту затискних елементів зі зразком. Робочі переміщення штока відбуваються за рахунок подачі індустриальної оливи під тиском від гідростанції в гідроциліндр.

Перед випробуваннями зразки кубиків обстежують візуально, встановлюючи наявність дефектів. Зразки, які мають тріщини відколювання понад 10 мм, випробуванню не підлягають. На зразках повинні вибрати і позначити грані, де потрібно прикладати зусилля під час навантажування так, щоб боковою була та грань кубика, яка під час його бетонування була зверху. Лінійні розміри зразків вимірюють з похибкою не більше 1 %. Щоб визначити середню густину зразки перед випробуванням варто зважити [37].

З опорних плит пресу видаляють частинки бетону, що залишились від попереднього випробування. Шкалу преса обирають так, щоб бажане значення руйнівного навантаження було в межах від 20% до 80% максимального значення на шкалі. При випробуванні на стиск зразки-куби встановлюють таким чином, щоб одна з вибраних граней на нижній опорній плиті преса була центрована відносно його поздовжньої осі за допомогою ліній, які нанесені на плиті преса. Потім верхня

плита преса поєднується з верхньою опорною гранню зразка так, щоб їх площини повністю примикали. Далі починається процес навантажування. Зразки безперервно навантажують зі швидкістю, яка гарантує збільшення розрахункового напруження в зразку до повного руйнування в межах $0,6 \pm 0,4$ МПа/с.

Зусилля, яке було максимальне досягнуте під час дослідження, вважається руйнівним. Визначається максимальне навантаження за показами фіксуючої стрілки на циферблаті. Зруйнований зразок піддається візуальному огляду для виявлення характеру руйнування, наявності закритих дефектів в місці руйнування.

2.4 Методика дослідження впливу яєчної шкаралупи на теплопровідність будівельних матеріалів

Для отримання теплоізоляційних матеріалів на основі яєчної шкаралупи проведені дослідження по підборі складів, досліджено основні фізико-механічні характеристики отриманих зразків. У якості в'язучої речовини було використано рідке скло, цемент та клей ПВА.

На початку роботи була виготовлена металева опалубка розмірами $250 \times 120 \times 65$ мм для виготовлення зразків пустотного перерізу (пустоти розмірами 80×80 мм) (рис. 2.5).

Щоб не виникло адгезії зі в'язучого матеріалу зі стінками форму потрібно змастити маслом.

Для приготування сумішей з вмістом яєчної шкаралупи з в'язучим компонентом було використана окрема тара. При заповненні опалубки створювали вібрування постукуванням по ній гумовим молотком для забезпечення кращого ущільнення.

Зразки витримували в опалубці добу, після висушували при кімнатних умовах впродовж 28 днів.



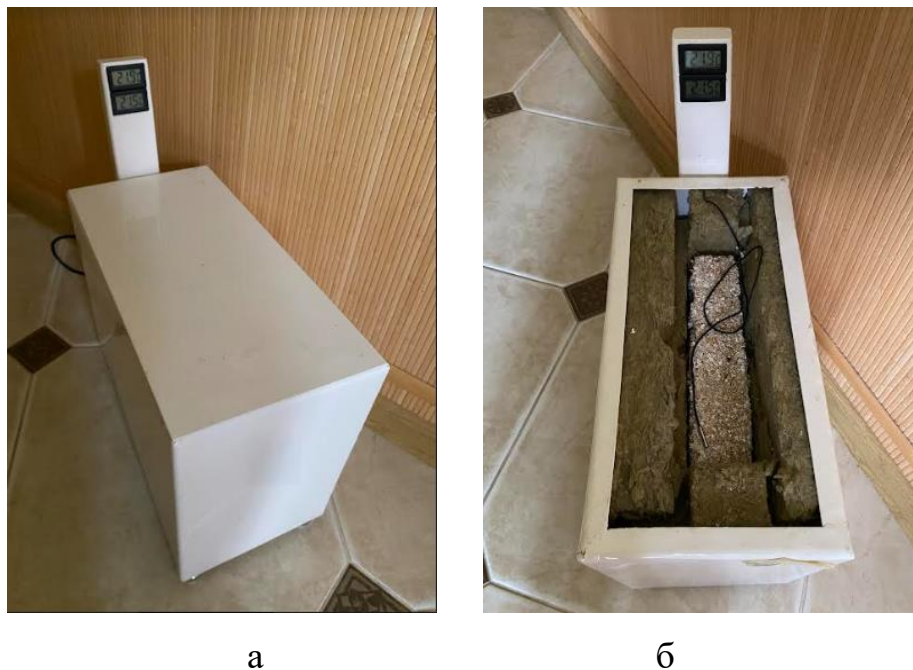
Рисунок 2.5 – Металева опалубка для формування зразків, які досліджуватимуть на теплопровідність

Принцип дії приладу для визначення теплопровідності будівельних матеріалів створений на базі основних принципів дослідження коефіцієнта теплопровідності нерухомим методом пластини з урахуванням діючих нормативних документів [38].

Конструкція приладу (рис. 2.6) розроблена з урахуванням конструктивних особливостей вимірювача теплопровідності ИТМ - МГ4 [38]. Прилад використовується для визначення швидкості теплопередачі будівельних матеріалів. Стандартний розмір досліджуваного зразка має розміри стандартної керамічної цегли (250 x 120 x 65 мм). За допомогою цього приладу можна досліджувати будь-які будівельні матеріали за умови дотримання форми із відповідними розмірами. Достовірність проведених випробувань забезпечується контрольованим вимірюванням коефіцієнту теплопровідності сухої керамічної цегли суцільного перерізу з давно відомими її теплотехнічними характеристиками, вимірними на сертифікованому обладнанні.

Схема приладу для вимірювання теплопровідності складається із металевого коробчастого корпуса, внутрішня частина покрита мінеральною ватою. Щоб дослідити зразок необхідно розмістити його ложковою стороною на розмежувальній пластині. Під пластиною знаходиться нагрівник, а на пластині –

нижній термодатчик. На верхній сторони зразка встановлюється верхній термодатчик і притискається до зразка листовим куском мінеральної вати. На верхню частину корпусу приладу встановлюють кришку.



а) – у процесі дослідження; б) – зі знятою кришкою і без дослідного зразка.

Рисунок 2.6 – Обладнання для дослідження коефіцієнта теплопровідності будівельних матеріалів

Для контролю параметрів вимірювань в установці є два прилади для показу температур від нижнього термодатчика та верхнього термодатчика. Щоб фіксувати часові проміжки використовують таймер.

Перед проведенням дослідів потрібно перевірити справність приладу, роботу нагрівника. У вихідному стані перед експериментом теплодатчики повинні показувати однакову температуру. Будь-які пошкодження конструктивних елементів чи електричних провідників не допускаються.

Перед початком роботи необхідно визначити температурно-вологісний стан у приміщенні та порівняти отримані дані до нормативних вимог. Метрологічні показники умов обов'язкових для виконання досліджень наведено в таблиці 2.4, а нормативні – в таблиці 2.3 [39].

Таблиця 2.3 – Нормативні показники для умов випробування

Назва показника	Характеристика показника
Діапазоні температур	(-40...+200)°C
Тепловий потік	стаціонарний
Температура повітря	(21±6)°C
Відносна вологість повітря	(60±10)%
Досліджувальна форма	прямокутний паралелепіпед
Відхилення від рівності граней зразка	до 1 мм
Форма лицьових граней зразка	площина
Зовнішні розміри зразка	250x120x65 мм

Таблиця 2.4 – Метрологічні показники для умов випробувань

Назва показника	Характеристика показника
Штангенциркуль ШЦ-I-125x0,1	Діапазон 0...125 мм, точність 0,1 мм
Штангенциркуль ШЦ-II -250x0,05	Діапазон 0...250 мм, точність 0,05 мм
Лінійка стальна	Діапазон 0...1000 мм, точність 0,5 мм
Ваги	Діапазон 0...5 кг, точність 1 г
Сушильна шафа електрична	Нагрівання до 110°C, похибка до 5°C

Для дослідження теплотехнічних характеристик зразків потрібно визначити густину теплового потоку приладу, тобто кількість теплоти, що проходить через одиницю поверхні зразка за одиницю часу. Для визначення густини теплового потоку, використовується еталонний зразок з відомим коефіцієнтом теплопередачі. Використовують рівняння (2.1)

$$q = \frac{\lambda}{\delta}(\tau_{si} - \tau_{se}), \text{ Вт/м}^2, \quad (2.1)$$

де q – густина теплового потоку, Вт/м²;

λ – коефіцієнт теплопровідності Вт/(м²·град);

δ – товщина зразка, м;

Еталонний зразок встановлюють у прилад та вмикають нагрівання. Показання нижнього та верхнього термометра фіксують через 300 секунд до встановлення сталого теплового потоку, поки різниця показань буде відрізнятися не більш ніж на 1% після кількох послідовних перевірок без різких стрибків температур.

Після встановлення фіксованого теплового потоку з урахуванням температури за показаннями датчиків, визначають густина теплового потоку [40]. За таким самим принципом виконують випробування зразків з невідомими теплотехнічними характеристиками.

Коефіцієнт теплопровідності λ для усіх наступних випробувань визначають за залежність, отриманою з (2.1):

$$\lambda = q \frac{\delta}{\tau_{si} - \tau_{se}}, \text{ Вт/м}\cdot\text{град.} \quad (2.2)$$

Термічний опір досліджуваного зразка визначається за залежністю (2.3):

$$R_k = \frac{\delta}{\lambda}, \text{ м}^2\cdot\text{град/ Вт.} \quad (2.3)$$

Значення геометричних розмірів зразка визначали за допомогою штангенциркуля та лінійки, за допомогою ваги отримали значення маси, і серед інших характеристик були внесені у протокол експериментальних досліджень. На основі отриманих даних побудовано графік динаміки теплового потоку, що проходить через зразок для стаціонарного теплового режиму [41].

2.5 Висновки за розділом 2

Беручи до уваги діючі вимоги нормативно-технічної документації, вибрано методику виконання натурних досліджень для розкриття теми кваліфікаційної роботи щодо впливу яєчної шкаралупи на властивості будівельних матеріалів. Запропонований методичний підхід дає змогу отримати достовірні результати та порівняти їх з відомими будівельними матеріалами.

За допомогою приладу для визначення теплопровідності матеріалів виконано дослідження зразків. Калібрування приладу проводиться за еталонним зразком суцільної керамічної цегли, яка попередньо пройшла дослідження сертифікованим приладом з визначенням коефіцієнта теплопровідності та термостійкості. Це дає можливість з високою достовірністю отримати теплотехнічні властивості власних зразків і порівняти їх з відповідними параметрами відомих будівельних матеріалів.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЯЄЧНОЇ ШКАРАЛУПИ НА ВЛАСТИВОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

3.1 Дослідження властивостей вихідного матеріалу

3.1.1 Підготовка яєчної шкаралупи для експериментальних досліджень

Підготовка яєчної шкаралупи для експериментальних досліджень полягала в її збиранні в достатній для експерименту кількості, висушуванні природним шляхом впродовж 30 днів при кімнатних умовах та її подрібнення (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Подрібнення яєчної шкаралупи

Для отримання однорідної дисперсності виконано пересіювання подрібненої шкаралупи на каліброваних ситах (рис. 3.2).

Таким чином для виконання натурального експерименту підготовлено 5 літрів яєчної шкаралупи з дисперсністю 1...3 мм.



Рисунок 3.2 – Пересіювання яєчної шкаралупи

3.2 Визначення насипної густини яєчної шкаралупи

Насипною густиною є маса одиниці об'єму сипучої сировини разом з порожнинами.

Для її знаходження, зважується мірний циліндр з похибкою ± 1 г (рис. 3.3, а). Потім в циліндр насипається досліджуваний матеріал. Дерев'яною або металевою лінійкою забирають надлишки матеріалу від центру до боків по рівень з краями циліндра. Циліндр з матеріалом зважують з похибкою ± 1 г (рис. 3.3, б).

Насипну густину визначають за формулою:

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad (3.1)$$

де m_1 – маса мірного циліндра, кг;

m_2 – маса мірного циліндра з матеріалом, кг;

V – об'єм мірного циліндра, м³.



a



б

a – мірний циліндр без шкаралупи; *б* – мірний циліндр зі шкаралупою.

Рисунок 3.3 – Визначення насипної густини яєчної шкаралупи

За показами ваги виконують розрахунки згідно (3.1)

$$\rho_{\text{н}} = \frac{0,28 - 0,142}{2 \cdot 10^{-4}} = 690 \text{ кг/м}^3$$

Отже, насипна густина яєчної шкаралупи $\rho_{\text{н}} = 690 \text{ кг/м}^3$.

3.2.2 Визначення дійсної густини яєчної шкаралупи

Відношення маси матеріалу до його об'єму без пор і пустот V_a (тобто в абсолютно щільному стані) є дійсна густина [36].

Для її визначення потрібно взяти мірний циліндр, насипати шкаралупи до повного об'єму, зважити (рис. 3.4, а). Потім залити водою до країв циліндра. Вода заповнить всі порожнини. Знову зважити (рис. 3.4, б).

Різниця ваги дасть вагу води в грамах. Визначити об'єм води. Від об'єму мірного циліндра відняти об'єм води. То буде чистий об'єм шкаралупи. Маючи її масу розділити на цей об'єм, в кінцевому результаті буде отримана дійсна густина шкаралупи.



a



б

a – мірний циліндр зі шкаралупою без води; *б* – мірний циліндр зі шкаралупою та водою.

Рисунок 3.4 – Визначення дійсної густини ячної шкаралупи

Визнати дійсну густину шкаралупи можна за формулою [36]:

$$\rho_d = \frac{m}{V_a}, \quad (3.2)$$

де $m = 0,28 - 0,142 = 0,138$ – чиста маса шкарлупи (див. п. 3.1), кг

V_a – чистий об'єм шкаралупи, м³.

Чистий об'єм шкаралупи визначають як різниця всього об'єму мірного циліндра і об'єму води в ньому. Об'єм води V_v в ньому визначають за масою води в мірному циліндрі. Масу води m_B в мірному циліндрі визначають за різницею показів зважувань на рис. 3.4.

$$m_B = 398 - 316 = 82 \text{ г}$$

$$V_v = 82 \times 1 = 82 \text{ мл},$$

де 1 – густина води, г/мл.

$$V_a = 200 - 82 = 118 \text{ мл} = 118 \times 10^{-3} \text{ м}^3$$

Обчислення дійсної густини яєчної шкаралупи:

$$\rho_d = \frac{138 \cdot 10^{-3}}{118 \cdot 10^{-3}} = 1,17 \text{ г/см}^3$$

Отже, дійсна густина яєчної шкаралупи становить $1,17 \text{ г/см}^3$

3.2.3 Водопоглинання яєчної шкаралупи

Водопоглинання – це здатність матеріалу вбирати і утримувати в порах воду [36]. Його визначають шляхом повного насичення водою попередньо висушеного зразка. Водопоглинання виражають ступенем заповнення обсягу матеріалу водою (водопоглинання за об'ємом W_o) або відношенням кількості поглиненої води до маси сухого матеріалу. Водопоглинання по масі - це маса поглиненої матеріалом води, віднесена до маси сухого матеріалу, вимірюється у % [36].

Для визначення водопоглинання сухий зразок матеріалу потрібно зважити, після чого витримати його у воді впродовж 12 годин. Далі розраховується різниця у вазі насиченого водою і сухого зразка матеріалу і виражається у відсотках маси сухого матеріалу (водопоглинання за масою) або у відсотках об'єму зразка (об'ємне водопоглинання). Водопоглинання будівельних матеріалів коливається в широкому діапазоні. Вагове водопоглинання граніту коливається близько 0,5%, важкого бетону - 3%, глиняної цегли - 8% і більше. Водопоглинання дозволяє оцінити пористість матеріалу, яка багато в чому визначає його теплопровідність і морозостійкість. Від точного визначення ступеня водопоглинання залежить безпека і тривалість експлуатації споруди. При будівництві з матеріалів, невідповідних для певного середовища, вкрай ймовірне виникнення різних дефектів структури цегли або блоку і поступове його руйнування. Тому точне визначення водопоглинання цегли і блоків по своїй важливості займає перші місця серед інших типів лабораторних випробувань будівельних матеріалів.

Формула для обчислення водопоглинання:

$$W_m = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \cdot 100\%, \quad (3.3)$$

де m_1 – маса сухого зразка;

m_2 – маса насиченого водою зразка.

Водопоглинання яєчної шкаралупи:

$$W_m = \frac{139,8 - 138}{138} \cdot 100\% = 1,30 \%$$

Отже, водопоглинання яєчної шкаралупи становить 1,30%

3.3 Дослідження впливу яєчної шкаралупи в якості заповнювача бетонів

3.3.1 Міцність бетону без яєчної шкаралупи

Міцність - властивість твердого матеріалу сприймати навантаження механічного характеру, не руйнуючись при цьому [36]. При експлуатації конструкції піддаються стисненню і розтягненню, а також іншим впливам.

Руйнівним методом досліджено зразок з бетону без вмісту яєчної шкаралупи (рис. 3.1).

Дослідження було проведено згідно пункту 2.4. У таблиці 3.1 подані результати.



Рисунок 3.1 – Зразок без додавання яєчної шкаралупи до випробування

Таблиця 3.1 – Дослідження міцності бетону без яєчної шкаралупи

Досліджуваний матеріал	Взірець кубика бетону					
Умови середовища в лабораторії	Температура повітря, °С	19,4	Вологість повітря, %	64		
Характеристика зразка						
Тип зразка	Куб					
Метрологічні показники зразка						
Розміри зразка	Замір 1	Замір 2	Замір 3	Замір 4	Середнє	Інструмент
Товщина зразка δ , мм	69,9	69,8	69,4	69,3	69,6	ШЦ-III
Довжина зразка, a , мм	69,1	69,3	69,5	69,2	ШЦ-III	
Ширина зразка, b , мм	69,5	69,8	69,1	69,5	ШЦ-III	
Маса зразка, m , кг	0,63				Вага	
Вік зразка, діб	28					
Розрахункові показники зразка						
Об'єм зразка, V , м ³	$33,48 \cdot 10^{-4}$	Об'ємна вага матеріалу ρ , кг/м ³		1882	Середня робоча площа A , мм ²	4811,1

Продовження таблиці 3.1

Результати дослідження		
Руйнівне навантаження зразка, F _{max} , кН	82,75	
Границя міцності зразка, МПа	17,2	
Дослід виконала	(підпис)	Гучак І.Р.

3.3.2 Міцність бетону з різним вмістом яєчної шкаралупи

Згідно норм та вимог, описаних у п.2.1, досліджено міцність бетону, отримано із 100 % вмістом яєчної шкаралупи в якості дрібного заповнювача (замість піску) (рис. 3.2). Перед початком дослідження кубик зважили та обміряли.



a



б

a – до випробування; *б* – після випробування

Рисунок 3.2 – Зразок з додаванням яєчної шкаралупи 100%

Результати дослідження відображено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Дослідження міцності бетону з додаванням яєчної шкаралупи 100 %

Досліджуваний матеріал	Взірець кубика бетону з додаванням яєчної шкаралупи 100 %					
Умови середовища в лабораторії	Температура повітря, °С	19,6	Вологість повітря, %	63		
Характеристика зразка						
Тип зразка	Куб					
Метрологічні показники зразка						
Розміри зразка	Замір 1	Замір 2	Замір 3	Замір 4	Серед-не	Інструмент
Товщина зразка δ , мм	70,2	69,9	70,1	69,7	70,0	ШЦ-III
Довжина зразка, a , мм	70,1	69,8	69,3	69,5	69,7	ШЦ-III
Ширина зразка, b , мм	70	69,7	70,2	69,6	69,9	ШЦ-III
Маса зразка, m , кг	0,468					Вага
Вік зразка, діб	28					
Розрахункові показники зразка						
Об'єм зразка, V , м ³	$34,07 \cdot 10^{-4}$	Об'ємна вага матеріалу ρ , кг/м ³		1374	Середня робоча площа A , мм ²	4869
Результати дослідження						
Руйнівне навантаження зразка, F_{max} , кН				67,36		
Границя міцності зразка, МПа				14,0		
Дослід виконала				(підпис)		Тучак І.Р.

За аналогічною методикою досліджено зразок із 50 % вмістом яєчної шкаралупи в якості дрібного заповнювача замість піску (рис. 3.3).



а



б

а – до випробування; б – після випробування

Рисунок 3.3 – Зразок з додаванням яєчної шкаралупи 50 %

Результати та розрахунки дослідження наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Дослідження міцності бетону з додаванням яєчної шкаралупи 50 %

Досліджуваний матеріал	Взірець кубика бетону з додаванням яєчної шкаралупи 50 %					
Умови середовища в лабораторії	Температура повітря, °С	19,2	Вологість повітря, %	65		
Характеристика зразка						
Тип зразка	Куб					
Метрологічні показники зразка						
Розміри зразка	Замір 1	Замір 2	Замір 3	Замір 4	Серед-не	Інструмент
Товщина зразка δ , мм	70,3	69,8	69,5	70,1	69,9	ШЦ-III
Довжина зразка, a , мм	70	70,2	69,9	69,7	70	ШЦ-III
Ширина зразка, b , мм	70,6	70,3	69,8	70,1	70,2	ШЦ-III

Продовження таблиці 3.3

Маса зразка, m , кг	0,51			Вага	
Вік зразка, діб	28				
Розрахункові показники зразка					
Об'єм зразка, V , m^3	$34,33 \cdot 10^{-4}$	Об'ємна вага матеріалу ρ , kg/m^3	1485	Середня робоча площа A , mm^2	4910
Результати дослідження					
Руйнівне навантаження зразка, F_{max} , кН	85,4				
Границя міцності зразка, МПа	17,75				
Дослід виконала	(підпис)			Тучак І.Р.	

До зразка №3 було додано 10 % ячної шкаралупи.



a



b

a – до випробування; *b* – після випробування

Рисунок 3.4 – Зразок з додаванням 10 % ячної шкаралупи

Усі результати подано в таблиці 3.4

Таблиця 3.4 – Дослідження міцності бетону з додаванням яєчної шкаралупи 10 %

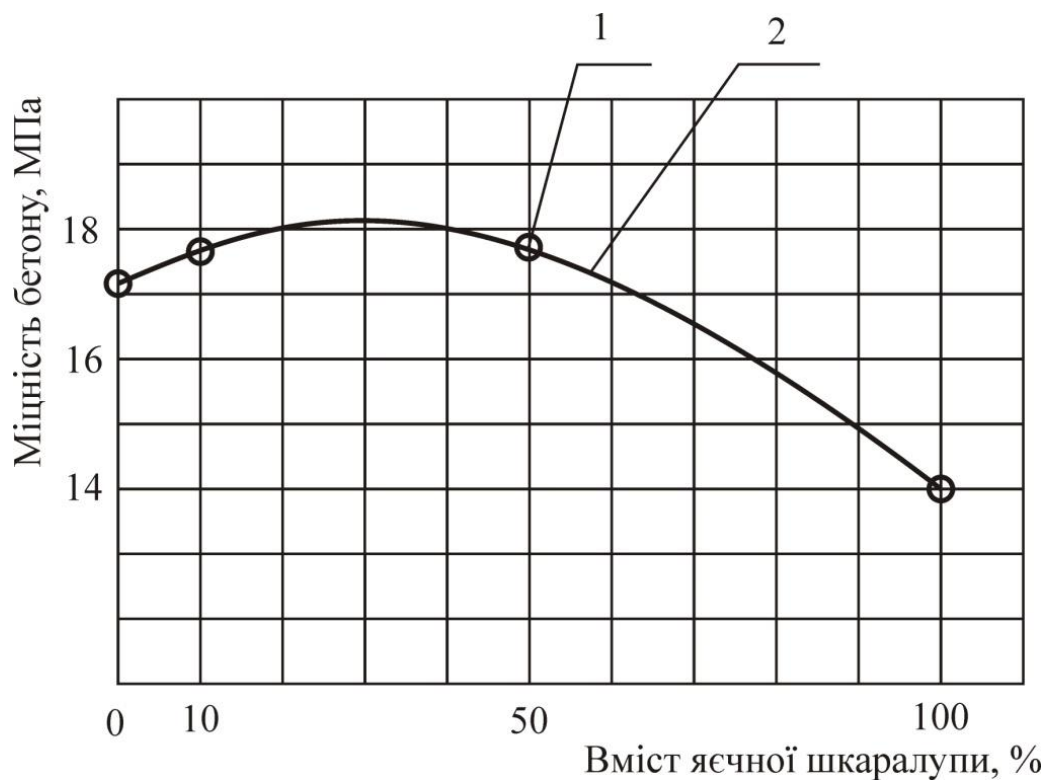
Досліджуваний матеріал	Взірець кубика бетону з додаванням яєчної шкаралупи 10 %					
Умови середовища в лабораторії	Температура повітря, °С	19,3	Вологість повітря, %	62		
Характеристика зразка						
Тип зразка	Куб					
Метрологічні показники зразка						
Розміри зразка	Замір 1	Замір 2	Замір 3	Замір 4	Серед-не	Інструмент
Товщина зразка δ , мм	70,0	69,9	70,1	69,7	69,9	ШЦ-III
Довжина зразка, a , мм	70,6	70,3	69,8	69,6	69,3	ШЦ-III
Ширина зразка, b , мм	70,8	70,5	69,7	70,2	70,3	ШЦ-III
Маса зразка, m , кг	0,5					Вага
Вік зразка, діб	28					
Розрахункові показники зразка						
Об'єм зразка, V , м ³	$32,58 \cdot 10^{-4}$	Об'ємна вага матеріалу ρ , кг/м ³	1535	Середня робоча площа A , мм ²	4916	
Результати дослідження						
Руйнівне навантаження зразка, F_{max} , кН				84,98		
Границя міцності зразка, МПа				17,66		
Дослід виконала				(підпис)		Тучак І.Р.

Отримані результати дослідження міцності зведено в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Вплив вмісту яєчної шкаралупи на міцність бетону

Показники	Вміст яєчної шкаралупи в бетоні, %			
	0	10	50	100
Руйнівне навантаження, кН	82,75	84,98	85,40	67,36
Границя міцності, МПа	17,20	17,66	17,75	14,02
Відносне значення міцності	1	1,027	1,032	0,814

Виконано візуалізацію отриманих результатів границі міцності бетону з різним вмістом яєчної шкаралупи (рис. 3.5).



1 – експериментальні точки, 2 – лінійна апроксимація експериментальних результатів

Рисунок 3.6 – Вплив вмісту яєчної шкаралупи на міцність бетону

3.4 Дослідження впливу яєчної шкаралупи на теплопровідність будівельних матеріалів

3.4.1 Теплопровідність будівельних матеріалів без яєчної шкаралупи

Щоб дослідити теплопровідність та термічний опір було обрано керамічну цеглу з круглими пустотами згідно чинних нормативних вимог [47].



Рисунок 3.7 – Керамічна цегла з круглими пустотами

Результати подано у вигляді Протоколу №5. Для дослідження було обрано керамічну цеглу стандартного розміру з пустотами. Раніше зразок було досліджено Тернопільським регіональним центром метрології та стандартизації на сертифікованому обладнанні ИТП-МГ4. Перед дослідженням теплових властивостей зразок висушили до припинення втрати маси. Згідно результатів коефіцієнт теплопровідності становить $\lambda = 0,425$ Вт/мхград.

Коли температура стабілізується, буде отримано значення згідно останніх послідовних вимірювань:

- верхній тепловдатчик $\tau_{si} = 66,3$ °С;
- нижній тепловдатчик $\tau_{se} = 47,7$ °С;
- різниця температур $\Delta\tau = 18,6$ °С.

Визначено густину теплового потоку q за середньою товщиною зразка δ та отриманим значенням коефіцієнта теплопровідності λ , з використанням залежності (2.1):

$$q = \frac{0,425}{119,9 \cdot 10^{-3}} (66,3 - 47,7) = 65,9 \text{ Вт/м}^2$$

Із залежності (2.2) з урахуванням отриманих вище значень розраховується термічний опір зразка:

$$R_k = \frac{119,9 \cdot 10^{-3}}{0,425} = 0,282 \text{ м}^2 \cdot \text{град/Вт}$$

Результати досліджень та розрахунків відображено у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Дослідження теплопровідності керамічної цегли з круглими порами

Досліджуваний матеріал	Еталонний зразок висушеної керамічної цегли з круглими порами					
Умови середовища в лабораторії	Температура повітря, °С	19,4	Вологість повітря, %	64		
Характеристика приладів						
Тепловий потік		Стаціонарний				
Густина теплового потоку, Вт/м ²		65,9				
Характеристика зразка						
Тип зразка	Прямокутний паралелепіпед					
Метрологічні показники зразка						
Розміри зразка	Замір 1	Замір 2	Замір 3	Замір 4	Середнє	Інструмент
Товщина зразка δ, мм	120,2	119,8	119,4	120,1	119,9	ШЦ-III
Довжина зразка, а, мм	250	249	249,5	249,8	249,6	ШЦ-III
Ширина зразка, в, мм	65	64	63	64	64	ШЦ-III
Маса зразка, m, кг	2,750					Вага
Розрахункові показники зразка						
Об'єм зразка, V, м ³	1,915·10 ⁻³	Об'ємна вага матеріалу ρ, кг/м ³	1436	Вологість матеріалу, %	0	

Продовження таблиці 3.6

Динаміка проходження теплового потоку через матеріал								
Час, z, хв.	Температура $\tau_{se}, ^\circ\text{C}$	Температура $\tau_{si}, ^\circ\text{C}$	Час, z, хв.	Температура $\tau_{se}, ^\circ\text{C}$	Температура $\tau_{si}, ^\circ\text{C}$	Час, z, хв.	Температура $\tau_{se}, ^\circ\text{C}$	Температура, $\tau_{si}, ^\circ\text{C}$
1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	19,2	19,3	20	19,2	24,3	40	19,6	27,6
60	20,2	32,2	80	21,8	38,3	100	22,7	44,8
120	23,1	47,7	140	24,3	50,4	160	25,6	52,3
180	26,3	53,1	200	27,1	54,2	220	27,9	56,4
240	28,5	57,1	260	29,3	57,8	280	30,8	58,2
300	32,4	60,3	320	35,4	61,1	340	36,9	61,7
360	38,5	62,5	380	39,5	62,8	400	41,7	63,1
420	42,4	64,9	63,2	43,2	63,9	460	44,6	64,5
480	45,2	65,1	500	47,4	66,0	520	47,3	65,9
540	47,7	66,3						
Результати дослідження								
Характеристика стаціонарного теплового потоку				$\tau_{se}, ^\circ\text{C}$	$\tau_{si}, ^\circ\text{C}$	Температурний градієнт $\Delta\tau, ^\circ\text{C}$		18,6
				47,7	66,3			
Густина теплового потоку q , Вт/м ²				65,9	Термічний опір зразка R_k , м ² ·град/Вт		0,282	
Дослід виконала				(підпис)		Тучак І.Р.		

3.4.2 Вплив яєчної шкаралупи на теплопровідність будівельних матеріалів

Зразок для дослідження було отримано з яєчної шкаралупи та рідкого скла. Основною перевагою матеріалу є негорючість [48] та відсутність хімічного виділення при високих температурах, що негативно впливають на здоров'я. З мінусів виявлено дорожчу вартість в'язучого компонента.



Рисунок 3.8 – Зразок для дослідження на основі яєчної шкаралупи з рідким СКЛОМ

За результатами експериментальних досліджень розраховано теплові властивості зразка, а саме

- коефіцієнт теплопровідності, відповідно до залежності (2.2):

$$\lambda = q \frac{\delta}{\tau_{se} - \tau_{si}} = 65,9 \frac{120,9 \cdot 10^{-3}}{74,2 - 53,2} = 0,379 \text{ Вт/м}\cdot\text{С}^\circ$$

- термічний опір зразка визначається за формулою (2.3):

$$R_k = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{120,9 \cdot 10^{-3}}{0,379} = 0,319, \text{ м}^2\cdot\text{град/ Вт.}$$

Результати досліджень та розрахунків відображено у таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Дослідження теплотехнічних характеристик зразка на основі яєчної шкаралупи у поєднанні з рідким склом

Досліджуваний матеріал	Зразок на основі яєчної шкаралупи у поєднанні з рідким склом					
Умови середовища в лабораторії	Температура повітря, °С	20,5	Вологість повітря, %	64		
Характеристика приладів						
Тепловий потік			Стаціонарний			
Густина теплового потоку, Вт/м ²			65,9			
Характеристика зразка						
Тип зразка	Прямокутний паралелепіпед					
Метрологічні показники зразка						
Розміри зразка	Замір 1	Замір 2	Замір 3	Замір 4	Середнє	Інструмент
Товщина зразка цегли δ , мм	121,1	120,3	121,4	120,8	120,9	ШЦ-III
Довжина зразка цегли a , мм	246,1	247,9	245,6	249,2	247,2	ШЦ-III
Ширина зразка цегли b , мм	56,7	57,7	56,3	56,5	56,8	ШЦ-III
Маса зразка, m , кг	0,888				Вага	
Розрахункові показники зразка						
Об'єм зразка, V , м ³	1118·10 ⁻³	Густина матеріалу ρ , кг/м ³	0,794	Вологість матеріалу, %	0	

Продовження таблиці 3.7

Динаміка проходження теплового потоку через матеріал								
Час, z, хв.	Температура $\tau_{se}, ^\circ\text{C}$	Температура $\tau_{si}, ^\circ\text{C}$	Час, z, хв.	Температура $\tau_{se}, ^\circ\text{C}$	Температура $\tau_{si}, ^\circ\text{C}$	Час, z, хв.	Температура $\tau_{se}, ^\circ\text{C}$	Температура, $\tau_{si}, ^\circ\text{C}$
1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	20,5	20,5	30	22,3	37,2	60	27,6	46,7
90	32,5	52,5	120	36,3	56,4	150	37,2	57,8
180	39,2	60,1	210	40,7	62,3	240	41,5	63,7
270	42,3	64,0	330	44,9	66,6	390	47,0	68,4
450	48,8	69,8	510	49,7	70,4	570	50,9	71,4
630	51,0	71,5	650	51,3	71,9	750	51,5	72,2
810	52,2	73,2	930	52,8	73,4	1050	52,9	73,8
1170	53,0	73,9	1290	53,1	74,1	1320	53,2	74,2
Результати дослідження								
Характеристика стаціонарного теплового потоку				$\tau_{se}, ^\circ\text{C}$	$\tau_{si}, ^\circ\text{C}$	Температурний градієнт $\Delta\tau, ^\circ\text{C}$		21
				53,2	74,2			
Коефіцієнт теплопровідності $\lambda,$ Вт/м· $^\circ\text{C}$				0,379	Термічний опір зразка $R_k,$ м ² ·град/Вт			0,319
Дослід виконала				(підпис)		Тучак І.Р.		

За результатами випробувань зразка ячної шкаралупи у поєднанні з рідким склом отримано графік, що візуалізує динаміку проходження теплового потоку (рис. 3.9).

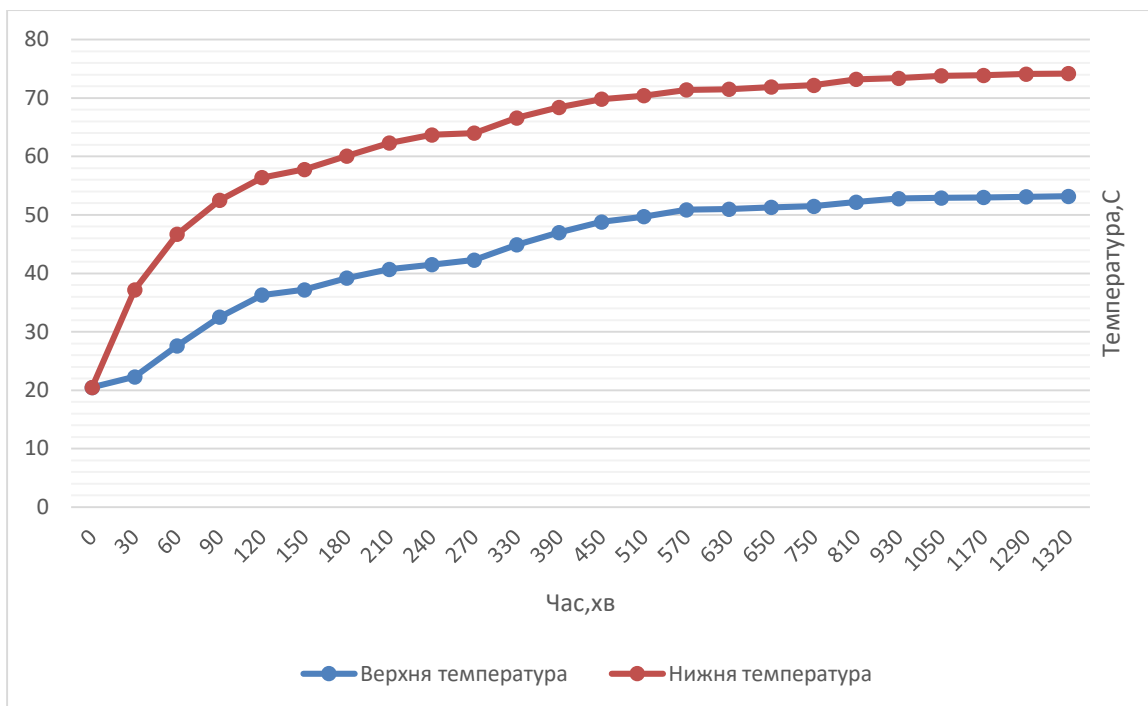


Рисунок 3.9 – Динаміка залежності проходження теплового потоку через зразок із рідкого скла на основі яєчної шкаралупи

Інший зразок виготовлено з додаванням клею ПВА (рис. 3.10). Таким чином, було досягнуто швидкого склеювання. Зразок набув водовідштовхувальних властивостей, за рахунок плівки, яка утворилася по всьому периметру. Це дозволяє зекономити на додаткових затратах.



Рисунок 3.10 – Зразок для дослідження на основі яєчної шкаралупи з клеєм ПВА

За отриманими результатами експериментальних досліджень зразка на основі яєчної шкаралупи з додаванням клею ПВА було розраховані його теплотехнічні властивості, а саме:

- коефіцієнт теплопровідності згідно залежності (2.2):

$$\lambda = q \frac{\delta}{\tau_{se} - \tau_{si}} = 65,9 \frac{122,7 \cdot 10^{-3}}{69,4 - 47,8} = 0,374 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}$$

- термічний опір зразка за формулою (2.3):

$$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{122,7 \cdot 10^{-3}}{0,374} = 0,328 \text{ м}^2 \cdot \text{град/Вт}$$

У таблиці 3.8 відображено результати досліджень та розрахунків.

Таблиця 3.8 – Дослідження теплотехнічних характеристик зразка на основі яєчної шкаралупи у поєднанні з клеєм ПВА

Досліджуваний матеріал	Зразок основі яєчної шкаралупи у поєднанні з клеєм ПВА			
Умови середовища в лабораторії	Температура повітря, °C	22,0	Вологість повітря, %	64
Характеристика приладів				
Тепловий потік		Стаціонарний		
Густина теплового потоку, Вт/м ²		65,9		
Характеристика зразка				
Тип зразка	Прямокутний паралелепіпед			
Метрологічні показники зразка				

Продовження таблиці 3.8

Розміри зразка	Замір 1	Замір 2	Замір 3	Замір 4	Серед не	Інстру- мент		
Товщина зразка цегли δ , мм	123,2	121,9	122,4	123,3	122,7	ШЦ-III		
Довжина зразка цегли, a , мм	250,1	249,8	249,3	250,9	250,0	ШЦ-III		
Ширина зразка цегли, b , мм	61,3	61,8	62,4	62,1	61,9	ШЦ-III		
Маса зразка, m , кг	1,265				Вага			
Розрахункові показники зразка								
Об'єм зразка, V , м ³	1118·10 ⁻³	Густина матеріалур, кг/м ³		1,13	Вологість матеріалу, %	0		
Динаміка проходження теплового потоку через матеріал								
Час, z , хв.	Темпе- ратура τ_{se} , °C	Темпе- ратура τ_{si} , °C	Час, z , хв.	Темпе- ратура τ_{se} , °C	Темпе- ратура τ_{si} , °C	Час, z , хв.	Темпе- ратура τ_{se} , °C	Темпе- ратура, τ_{si} °C
1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	22,0	22,1	30	22,9	36,6	60	24,9	43,9
120	31,5	54,0	180	33,8	56,2	240	35,7	58,0
300	38,7	60,5	360	41,4	63,0	420	42,8	64,2
480	43,7	64,9	540	44,3	65,2	600	44,5	65,3
660	44,9	65,9	720	45,3	67,1	840	45,9	67,8
900	46,5	68,0	940	47,8	69,4			
Результати дослідження								
Характеристика стаціонарного теплового потоку			τ_{se} , °C	τ_{si} , °C	Температурний градієнт $\Delta\tau$, °C		21,6	
			47,8	69,4				
Коефіцієнт теплопровідності λ , Вт/м·°C			0,374	Термічний опір зразка R_k , м ² ·град/Вт			0,328	
Дослід виконала			(підпис)			Тучак І.Р.		

У результаті експерименту отримано графік, де наочно динаміку проходження теплового потоку через зразок з клеєм ПВА на основі листя дерев (рис. 3.11).

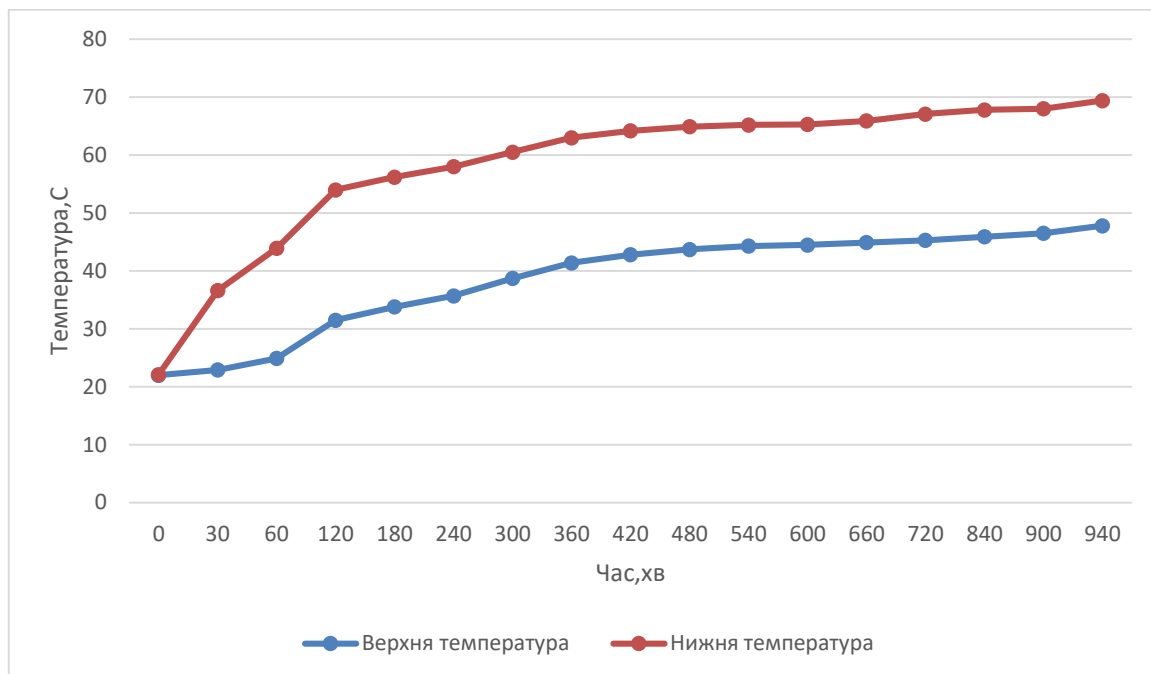


Рисунок 3.11 – Динаміка залежності проходження теплового потоку через пустотілий зразок із ячної шкаралупи та клею ПВА

У якості третього в'язучого було використано цемент. Перевагою цього зразка є значна міцність. Недоліком є велика вага у порівнянні з іншими.



Рисунок 3.12 – Зразок для дослідження на основі ячної шкаралупи у поєднанні з цементом

За результатами експериментальних випробувань розраховано теплові властивості зразка, а саме:

- коефіцієнт теплопровідності, згідно залежності (2.2):

$$\lambda = q \frac{\delta}{\tau_{se} - \tau_{si}} = 65,9 \frac{120,1 \cdot 10^{-3}}{69,9 - 49,5} = 0,388 \text{ Вт/м} \cdot \text{°С}$$

- термічний опір зразка за формулою (2.3):

$$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{120,1 \cdot 10^{-3}}{0,388} = 0,309 \text{ м}^2 \cdot \text{град/Вт}$$

Результати досліджень та розрахунку теплотехнічних характеристик для зразка на основі яєчної шкаралупи змішаної з цементом показано у таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 – Дослідження теплотехнічних характеристик зразка на основі яєчної шкаралупи у поєднанні з цементом

Досліджуваний матеріал	Зразок на основі яєчної шкаралупи з цементом					
Умови середовища в лабораторії	Температура повітря, °С	20,5	Вологість повітря, %	65		
Характеристика приладів						
Тепловий потік	Стаціонарний					
Густина теплового потоку, Вт/м ²	65,9					
Характеристика зразка						
Тип зразка	Прямокутний паралелепіпед					
Метрологічні показники зразка						
Розміри зразка	Замір 1	Замір 2	Замір 3	Замір 4	Серед-не	Інстру-мент
Товщина зразка цегли δ , мм	120,2	119,7	119,9	120,5	120,1	ШЦ-III

Продовження таблиці 3.9

Довжина зразка цегли, a , мм	249,1	250,0	249,6	250,2	249,7	ШЦ-III			
Ширина зразка цегли, b , мм	64,3	64,8	64,1	65,2	64,6	ШЦ-III			
Маса зразка, m , кг	1,580					Вага			
Розрахункові показники зразка									
Об'єм зразка, V , м ³	1118·10 ⁻³		Густина Матеріалу ρ , кг/м ³		1,413		Вологість матеріалу, %		0
Динаміка проходження теплового потоку через матеріал									
Час, z , хв.	Темпе- ратура τ_{se} , °C	Темпе- ратура τ_{si} , °C	Час, z , хв.	Темпе- ратура τ_{se} , °C	Темпе- ратура τ_{si} , °C	Час, z , хв.	Темпе- ратура τ_{se} , °C	Темпе- ратура, τ_{si} °C	
1	2	3	1	2	3	1	2	3	
0	20,5	20,6	30	20,9	32,7	60	23,2	41,5	
120	29,5	52,1	180	34,9	57,4	240	38,7	60,7	
300	41,2	62,3	360	42,9	63,7	420	44,2	64,8	
480	44,9	65,6	540	45,3	66,1	600	45,8	66,8	
660	46,0	67,1	720	46,6	67,6	780	47,0	68,1	
840	47,3	68,5	900	47,7	69,1	960	48,1	69,3	
1020	48,7	69,7	1080	69,7	48,8	1140	49,2	69,8	
1200	49,4	69,8	1290	49,5	69,9				
Результати дослідження									
Характеристика стаціонарного теплового потоку			τ_{se} , °C		τ_{si} , °C		Температурний градієнт Δt , °C		20,4
			49,5		69,9				
Коефіцієнт теплопровідності λ , Вт/м·°C			0,388		Термічний опір зразка R_k , м ² ·град/Вт			0,309	
Дослід виконала			(підпис)			Тучак І.Р.			

Графік візуалізації динаміки проходження теплового потоку, побудованого за результатами випробувань (рис. 3.13).

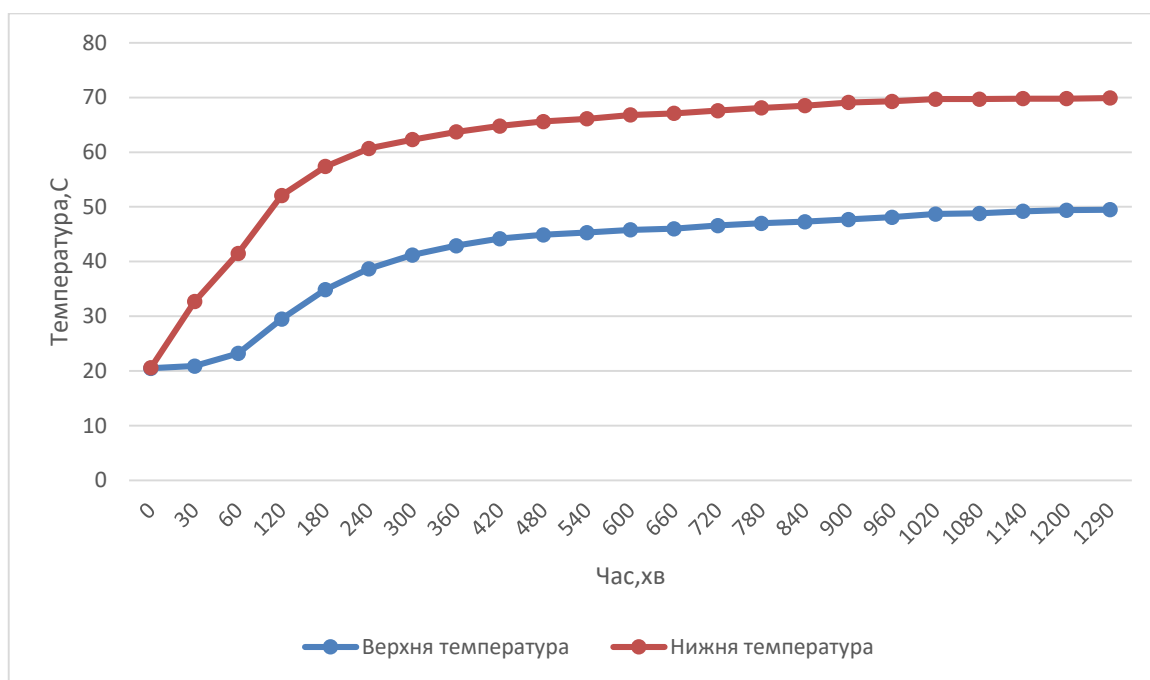


Рисунок 3.13 – Динаміка проходження теплового потоку через повнотілий зразок із яєчної шкаралупи та цементу

Порівняння теплотехнічних характеристик матеріалів за результатами дослідження та відомих будівельних матеріалів подано в таблиці 3.10.

Таблиця 3.10 – Теплотехнічні характеристики матеріалів за результатами дослідження та відомих будівельних матеріалів

№	Матеріал	Густина матеріалу ρ , кг/м ³	Коефіцієнт теплопровідності λ , Вт/м×С°	Термічний опір зразка R_k , м ² ·град/Вт
1	2	3	4	5
1	Пінополістирол	150	0,05	0,21
2	Мінеральна вата	200	0,07	0,49
3	Піноскло	400	0,11	0,46

Продовження таблиці 3.10

1	2	3	4	5
4	Зразок на основі яєчної шкаралупи з рідким склом	662,7	0,379	0,319
5	Зразок на основі яєчної шкаралупи з клеєм ПВА	821,4	0,374	0,328
6	Зразок на основі яєчної шкаралупи з цементом	1067,6	0,388	0,309
7	Цегла керамічна з круглими пустотами	1450	0,425	0,282

3.5 Висновки за розділом 3

Будівельні матеріали, які використовують для стін, повинні поєднувати в собі механічні, теплотехнічні, гідроізоляційні характеристики. Поєднати всі перераховані характеристики в одному матеріалі важко, тому варто визначити пріоритетні вимоги. Тому кращим напрямком в будівництві на сьогоднішній день є використання високоміцних матеріалів для створення силової схеми конструкції, і покриття таких огорожуючих конструкцій утеплювачем.

Під час виконання кваліфікаційної роботи було розроблено три види теплоізоляційного матеріалу та три види огорожувального, де в основі є яєчна шкаралупа у комбінації з різними типами в'язучої речовини. Виявлено теплотехнічні властивості отриманих зразків, зокрема міцність, опір теплопередачі та коефіцієнт теплопровідності.

За результатами дослідження встановлено, що найвищі теплоізоляційні характеристики має зразок на основі яєчної шкаралупи у поєднанні з рідким склом. Попри те, що ці властивості поступаються найпопулярнішим утеплювачам

(мінеральна вата, пінопласт та інші), розроблений матеріал є екологічний та значно дешевший від них.

Надано рекомендації щодо практичного застосування як при початку будівництва, так і для покращення утеплення існуючого фонду.

РОЗДІЛ 4

ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1 Використання яєчної шкаралупи для несучих конструкцій

Несучі конструкції - елементи, які сприймають навантаження, що діють на будівлі або споруди. Залежно від того, яке планування несучих елементів вибирається для будівництва будівлі, їх можна розділити на кілька видів. Перший тип - коли в якості несучих елементів використовуються тільки стіни; в даному випадку несучі стіни можуть розташовуватися вздовж і поперек будівлі, а іноді використовується змішаний тип. Стіни, які беруть на себе навантаження від перекриттів і даху будинку та передають навантаження на фундамент називають несучими. Несучі стіни є найбільш важливими з точки зору конструкцій — переміщення їх в більшості випадків неможливо [48].

Такий розрахунок несучих конструкцій часто використовується в проектуванні житлових будинків, оскільки, крім виконання функції несучого елемента, стіни служать також перегородками між різними кімнатами. Якщо мова йде про промислові будівлі, то в якості несучих конструкцій часто використовуються колони. А от якщо до промислової будівлі потрібна прибудова адміністративного призначення, нерідко використовується комбінований тип планування: колони і несучі стіни. У будь-якому випадку несучі та огорожувальні конструкції підбираються залежно від призначення будівлі.

Якщо мова йде про каркасну схему будівлі з несучими колонами, то можуть використовуватися як залізобетонні, так і металеві елементи. Тоді в якості огорожувальних конструкцій застосовуються залізобетонні стінові панелі, цегляна кладка, залізобетонні та піноблоки. Крім цього, можуть використовуватися й інші матеріали - дерево, профнастил, сендвіч-панелі тощо. Для будівництва житлових будинків з безкаркасним остовом використовуються, як правило, залізобетон, цегла, природний камінь. Якщо прийнято рішення застосовувати залізобетон, то замовляються панелі, плити і блоки необхідних розмірів. Цегла кладеться в один-два ряди. Товщина стіни вибирається залежно від того, що

потрібно звести - несучі і огорожувальні конструкції, або ж мова йде про перегородки, які можуть бути на порядок тоншими. Ще до огорожувальних конструкцій відносяться плити перекриття, які розділяють будівлю в горизонтальній площині.

При дослідженні міцності кубиків з додаванням яєчної шкаралупи було виявлено, що такий будівельний матеріал можна використовувати для несучих конструкцій. Саме додавання такої сировини збільшує міцність на 10 %. Яєчну шкаралупу варто використовувати в якості дрібного заповнювача.

Переглянувши результати дослідження, можна побачити, що співвідношення 1:1 яєчної шкаралупи до піску є найбільш оптимальним.

4.2 Використання яєчної шкаралупи для теплоізоляції

Теплоізоляція – це технологія теплозбереження, яка передбачає раціональне використання ресурсів тепла в сучасних житлових і виробничих будівлях і приміщеннях. Теплоізоляційні елементи зменшують передачу тепла. Застосування теплоізоляційних матеріалів в будівництві дозволяє зменшити товщину і масу стін і інших конструкцій, підвищити ступінь індустріалізації будівництва, зменшити матеріаломісткість будівництва за рахунок зниження витрати основних конструкційних матеріалів, скоротити втрати тепла в опалювальних будівлях, зменшити витрату палива, зменшити використання опалювальних приладів і водночас знизити ціну будівництва [49].

Величина теплопровідності утеплювача залежить від щільності матеріалу, його виду, розміру, розташування пор і т.д. Температура і вологість також сильно впливають на теплопровідність. Крім того, іншими важливими характеристиками теплоізоляційних матеріалів є – міцність на стиск, водопоглинання, морозостійкість та вогнестійкість.

Зрозуміло, що серед усіх розроблених варіантів найкращий результат був у зразка з яєчної шкаралупи у поєднанні з цементом, у вигляді в'язучого. За оптимальним співвідношенням його механічних та теплотехнічних характеристик,

вартості та екологічності він може знайти місце серед будівельних матеріалів. Щодо подальшого використання в практиці, потрібно допрацювати технологію його застосування.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Охорона праці

5.1.1 Законодавча та нормативна база України про охорону праці

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та лікувально-профілактичних заходів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці [44]. Охорона праці є невід'ємною частиною виробничого процесу.

Основоположним документом в галузі охорони праці є Закон України «Про охорону праці», який визначає основні положення щодо реалізації конституційного права працівників на охорону їх життя і здоров'я у процесі трудової діяльності, на належні, безпечні і здорові умови праці, регулює за участю відповідних державних органів відносини між роботодавцем і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації охорони праці.

Окремо питання правового регулювання охорони праці містяться в багатьох інших законодавчих актах України.

Ось деякі з них:

- Закони України «Про охорону здоров'я»;
- Закони України «Про використання ядерної енергії та радіаційний захист»;
- Закони України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення» ;
- Кодекс законів про працю України.

Також є велика кількість державних міжгалузевих та галузевих нормативних актів про охорону праці (норми, правила, положення, інструкції, переліки тощо).

До нормативно-правових актів, що діють, наприклад, в будівництві, включають:

- нормативно-правові акти, що поширюються на декілька видів

економічної діяльності;

- нормативно-правові акти, що поширюються на будівництво;
- нормативно-правові акти, що поширюються на вироблення електроенергії, газу, тепла;
- охорона надр.

Окрім цих нормативно-правових актів охорона праці в будівництві регламентована державними будівельними нормами – ДБН, основними з яких є:

- ДБН А.3.1-5-2016. Організація будівельного виробництва;
- ДБН А.3.2-2-2009. ССБТ. Охорона праці та промислова безпека у будівництві. Основні положення;
- ДБН В.1.2-12-2008. Будівництво в умовах ущільненої забудови.

5.1.2 Вимоги з техніки безпеки та охорони праці на виробництві при виготовленні будівельних матеріалів

Основним документом що регламентує правила техніки безпеки, охорони праці та санітарії підприємств по виготовленню будівельних матеріалів є НПАОП 0.00-1.64-13 «Правила техніки безпеки і виробничої санітарії в промисловості будівельних матеріалів». Важливо дотримуватися правил цього стандарту для всіх підприємств промисловості будівельних матеріалів. Необхідно дотримуватися правил цього стандарту для всіх підприємств в будівельній промисловості для виготовлення будівельних матеріалів.

У тексті цих правил під «підприємствами» розуміються виробничі, науково-виробничі, науково-дослідні, проектні, проектно-конструкторські, пусканалагоджувальні, ремонтні та інші підприємства, фірми, організації, установи, інститути, комбінати, будівельно-монтажні трести, виробничі об'єднання та інші види підприємств і організацій промисловості теплоізоляційних матеріалів.

Особливу увагу приділяють засобам індивідуального захисту при роботі з різними в'язучими матеріалами. Працівники, що працюють зі шкідливими та небезпечними умовами праці, а також на роботах, що виконуються в

несприятливих температурних умовах або пов'язаних із забрудненням, повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту (спеціальним одягом, спеціальним взуттям, рукавицями, касками, респіраторами, протишумними навушниками, захисними окулярами, запобіжними поясами, діелектричними рукавичками та ін.). Захисні дерматологічні засоби (мазі, пасти, креми) повинні видаватися за погодження з органами державного санітарного нагляду. Зберігання, прання, дезінфекція, дезактивація, перевірка, випробування та ремонт засобів індивідуального захисту повинні проводитись з урахуванням вимог Інструкції про порядок забезпечення робітників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту, затвердженого комітетом.

Типи засобів індивідуального захисту органів дихання (протигазів, респіраторів, пневмошоломів, пневмокасок) повинні призначатися залежно від видів, фізико-хімічних властивостей та концентрацій шкідливих речовин у повітрі робочої зони з урахуванням особливостей технологічного та трудового процесів (температури та вологості навколишнього середовища, часу роботи у несприятливих умовах тощо).

Засоби індивідуального захисту, що видаються в користування, повинні підходити за розмірами робітникам та відповідати вимогам державних стандартів або затвердженим в установленому порядку технічним умовам. Забороняється видача та використання засобів індивідуального захисту із закінченим терміном придатності. Перед видачею засоби індивідуального захисту мають бути перевірені, а робітники проінструктовані за правилами користування ними. Забороняється виконання робіт без використання засобів індивідуального захисту, передбачені типовими галузевими нормами. Контроль за забезпеченням та використанням працюючих засобів індивідуального захисту доручається інженеру з охорони праці. Заявки на засоби індивідуального захисту складаються начальником цеху та затверджуються керівником підприємства.

Склади ПММ, аміачної води та бітуму повинні бути обладнані блискавковідводами і заземлюючими пристроями відповідно до вимог ПУЕ. У складських і виробничих приміщеннях, небезпечних по раптовому (аварійному)

виділенню в повітря шкідливих речовин (склади фенолоспиртів і аміачної води, виробничі приміщення, в яких виготовляється і використовується синтетичне в'язуче), робітники повинні бути забезпечені фільтруючими промисловими проти газами першого ступеня захисту з шоломом маскою без аерозольного фільтра.

В цеху по виготовленню будівельних матеріалів все встановлене обладнання, що експлуатується повинно відповідати вимогам ДСТУ 2296, ДСТУ 2807, ДСТУ EN 292-2 .

Встановлення та експлуатація виробничого обладнання та технологічних ліній повинні здійснюватися відповідно до вимог інструкції з експлуатації заводу виготовлювача.

5.1.3 Основні вимоги та правила техніки безпеки під час роботи в науково-випробувальній лабораторії будівельних матеріалів, виробів і конструкцій ГНТУ ім. І Пулюя

Правила техніки безпеки та з охорони праці тісно пов'язані з роботою в лабораторії та направлені, щоб попередити небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Основні вимоги під час роботи в лабораторії та правила техніки безпеки:

- до роботи допускаються лише ті студенти, які пройшли інструктаж з техніки безпеки, що підтверджується їх підписом і викладача, що проводив інструктаж в спеціальному журналі. Студенти, які пройшли інструктаж повинні строго дотримуватися правил техніки безпеки;
- робота студентів в лабораторії дозволяється в години, відведені за розкладом, а також в додатковий час, узгоджений з викладачем під наглядом викладача;
- працювати в лабораторії потрібно тільки в халатах та рукавицях. Без спецодягу працювати студенту не дозволяється;
- в приміщенні лабораторії зберігати порядок та чистоту;
- не допускається загроможувати вхід (вихід) будь-якими предметами,

матеріалами чи обладнанням;

- не дозволяється покидати робоче місце під час проведення досліду та залишати без нагляду увімкненні прилади та обладнання;

- ручний інструмент (молотки, гайкові ключі, плоскогубці, викрутки) використовувати тільки за призначенням;

- при роботі з приладом для визначення теплопровідності : перед початком роботи обов'язково перевірити справність приладу, нагрівника, теплодатчиків; після закінчення роботи прилад відключити від електромережі, та очистити від залишків досліджуваного матеріалу.

- при роботі з гідравлічним пресом потрібно очистити установку від попереднього досліду і перевірити справність приладу;

- після роботи розкласти всі інструменти та прилади по своїх місцях, виключити все електрообладнання, прибрати робоче місце, очистити від пилу та бруду спецодяг та винести будівельне сміття.

Дотримання даних правил дозволить без втрати працездатності виконувати певний об'єм робіт в науковій лабораторії.

5.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

5.2.2 Підвищення стійкості роботи будівельних підприємств у воєнний час

Приділяючи велику увагу зміцненню обороноздатності нашої країни, урядом неодноразово підкреслювалося, що оборонна міць держави складається не

тільки з високої готовності й оснащення Збройних сил, а й нерозривно пов'язана з високим рівнем економічного розвитку країни, підготовкою населення й об'єктів народного господарства до захисту від зброї масового ураження. Велику роль у цьому важливому питанні відіграє цивільний захист країни, що будучи системою загальнодержавних оборонних заходів, покликаний не тільки забезпечити захист населення в надзвичайних ситуаціях, але і здійснювати заходи, спрямовані на забезпечення стабільної роботи підприємств господарювання країни в таких умовах.

Під стійкістю роботи промислового об'єкта розуміють здатність його в умовах надзвичайних ситуацій мирного і воєнного часу випускати продукцію в запланованому обсязі й номенклатурі, а при одержанні слабких і середніх руйнувань, порушенні зв'язків по кооперації і постачанням відновлювати виробництво в мінімальний термін.

Здатність об'єкта будівельного господарства випускати продукцію залежить від захисту і нормального функціонування чотирьох основних елементів сучасного виробництва, якими є:

- виробничий персонал (робітники та службовці);
- будинки і споруди з технологічним устаткуванням;
- система постачання енергією, водою, паливом, устаткуванням і ремонтною базою;
- система виробничих і кооперативних зв'язків з іншими об'єктами.

Тому стійкість роботи об'єктів і галузі народного господарства в цілому в умовах надзвичайних ситуацій визначається наступними факторами:

- надійністю захисту робітників та службовців від усіх вражаючих факторів зброї масового ураження;
- здатністю інженерно-технічного комплексу (ІТК) об'єкта протистояти вражаючим факторам ядерного вибуху;
- надійністю системи постачання об'єкта всім необхідним для виробництва продукції (сировиною, паливом, що комплектують виробами, електроенергією, водою, газом тощо.);
- захищеності об'єкта від вторинних вражаючих факторів (пожеж, вибухів, затоплень, зараження місцевості отруйними і сильнодіючими отруйними речовинами);
- стійкістю і безперервністю керування виробництвом і цивільною обороною;
- підготовленість об'єкта до проведення рятувальних та інших невідкладних робіт і робіт з відновленням порушеного виробництва.
- Перераховані фактори визначають собою й основні, загальні для всіх

об'єктів господарювання, шляхи підвищення стійкості роботи в надзвичайних ситуаціях, а саме:

- забезпечення надійного захисту робітників та службовців від вражаючих факторів зброї масового ураження;
- захист основних виробничих фондів від вражаючих факторів, у тому числі й від вторинних;
- підвищення надійності й оперативності керування виробництвом;
- забезпечення стійкості постачання всім необхідним для випуску запланованої на час надзвичайних ситуацій продукцією;
- підготовка до відновлення порушеного виробництва.

Військові конфлікти супроводжуються руйнуванням будинків, споруджень і знищенням основної продуктивної сили – працюючого населення. Тому серед усіх задач по підвищенню стійкості роботи об'єктів народного господарства основною є задача завчасного вживання заходів по забезпеченню захисту робітників та службовців і членів їхніх родин. Захист робітників та службовців від зброї масової поразки в сучасних умовах здійснюється трьома основними способами:

- укриття людей у захисних спорудженнях (сховищах, протирадіаційних укриттях);
- проведення евакуації робітників, службовців і членів їхніх родин;
- використання засобів індивідуального захисту, а також проведенням заходів щодо протирадіаційного, протихімічного і протибактеріологічного захисту з урахуванням конкретних обставин.

Зросло значення економіки в забезпеченні обороноздатності країни. Реальна загроза руйнування її з використанням сучасних засобів нападу висувають у число основних задач підвищення стабільної роботи об'єктів господарювання у воєнний час.

Виконання цієї задачі покладається на сили цивільної захисту. Підвищення стійкості роботи досягається проведенням ряду організаційних та інженерно-технічних заходів, що враховують вимоги ЦЗ та БЖД. Результати оцінки стійкості роботи об'єкта і спрямованих на забезпечення безперебійності виробничого

процесу в надзвичайній ситуації допомагають досягти максимального зниження можливих втрат і руйнувань.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано серію натурних досліджень і виявлено вплив яєчної шкаралупи на властивості будівельних матеріалів.

В процесі виконання роботи:

1. Запропоновано склад, структуру і технологію отримання різних варіантів будівельних матеріалів з додаванням яєчної шкаралупи;
2. Запропоновано конфігурацію та технологію виготовлення дослідних зразків для визначення міцності і теплопровідності отриманих будівельних матеріалів;
3. Запропоновано методику дослідження міцності і теплопровідності дослідних зразків будівельних матеріалів, виходячи з нормативних вимог і наявного устаткування;
4. Виготовлено дослідні зразки для визначення границі міцності і коефіцієнта теплопровідності матеріалів;
5. Натурними експериментальними дослідженнями визначено міцність зразків на стиск для різного відсоткового вмісту яєчної шкаралупи в них;
6. Натурними експериментальними дослідженнями визначено коефіцієнт теплопровідності зразків;
7. Виконано порівняння визначених властивостей цих матеріалів з аналогічними властивостями відомих будівельних матеріалів;
8. Розроблено рекомендації щодо практичного застосування будівельних матеріалів з додаванням яєчної шкаралупи.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Якименко О. В. Проектування підприємств з виробництва будівельної кераміки : конспект лекцій для студентів 6 курсу денної форми навчання освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр-науковець» галузі знань 19 – Архітектура та будівництво, спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія / О.В.Якименко; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва. ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 122 с.
2. Ковальчук Я.О. Методичний посібник для виконання кваліфікаційної роботи магістра за спеціальністю 192 “Будівництво та цивільна інженерія”// Ковальчук Я.О., Крамар Г.М., Мещерякова О.М., Тернопіль, 2020. – 56 с.
3. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність»: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. №605-р. Урядовий кур’єр. 2017. 73с.
4. Тучак І. Вплив яєчної шкаралупи на властивості будівельних матеріалів / Ілона Тучак // Матеріали IV Міжнародній студентській науково-технічній конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання, 27-28 квітня 2023. — Т. : ТНТУ, 2023. — С. 260.
5. Хімічний склад шкаралупи яєць. Яйця та яєчні продукти: веб-сайт. URL: <https://buklib.net/books/35015/>.
6. Sathiparan N. Utilization prospects of eggshell powder in sustainable construction material – A review. Construction and Building Materials. 2021. Vol. 293. P. 123465. URL: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123465>.
7. Pliya P., Cree D. Limestone derived eggshell powder as a replacement in Portland cement mortar. Construction and Building Materials. 2015. Vol. 95. P. 1–9. URL: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.103>.
8. Яєчна шкаралупа: користь і шкоду для організму людини, як і в якому вигляді приймати: веб-сайт. URL: <https://poradum.com.ua/the-hands/doglyad-zatvarinami/79677-yayechna-shkaralupa-korist-i-shkodu-dlya-organizmu-lyudini-yak-i-v-yakomu-viglyadi-prijmati.html>.

9. King`ori A. M. A Review of the Uses of Poultry Eggshells and Shell Membranes. International Journal of Poultry Science. 2011. Vol. 10, no. 11. P. 908–912. URL: <https://doi.org/10.3923/ijps.2011.908.912>.

10. Портландцемент: що це таке, склад і властивості, різновиди та марки по гост, сульфатостойкий пуццолановий портландцемент: веб-сайт. URL: <https://toolbox-site.com/99451>.

11. VŠCHT Praha. Věda a výzkum: website. URL: <https://www.vscht.cz/veda-a-vyzkum>.

12. Пластифікатор – навіщо він потрібен?: веб-сайт. URL: <https://isu.org.ua/plastyfikator-navishho-vin-potriben/>.

13. Visockis E., Pleiksnis S., Gross U., Noviks G.. Use of tree leaves-lime mixture for building insulation // Latvia University of Agriculture. Riga – 2016. – С. 86.

14. Safi B., Saidi M., Daoui A., Bellal A, Mechekak A.. The use of seashells as a fine aggregate (by sand substitution) in self-compacting mortar (SCM). Construction and Building Materials. 2015. Vol. 78. P. 430–438. URL: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.01.009>.

15. Nguyen D. H., Boutouil M., Sebaibi N., Leleyter L.. Valorization of seashell by-products in pervious concrete pavers. Construction and Building Materials. 2013. Vol. 49. P. 151–160. URL: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.08.017>.

16. Rica H. C., Sebaibi N., Boutouil M., Boudart B.. Properties of ordinary concretes incorporating crushed queen scallop shells. Materials and Structures. 2015. Vol. 49, no. 5. P. 1805–1816. URL: <https://doi.org/10.1617/s11527-015-0613-7> (дата звернення: 11.05.2023).

17. Muthusamy K., Sabri N. A.. Cockle shell: a potential partial coarse aggregate replacement in concrete. International Journal of Science. Enviroment and Technology. 1 (2012), pp. 260-267

18. Othman N. H., Bakar B. H. A., Don M. M., Johari M. A. M. . Cockle shell ash replacement for cement and filler in concrete. Malaysian Journal of Civil Engineering. 25 (2013), pp. 201-211

19. Lertwattanakul P., Makul N., Siripattaraprat C.. Utilization of ground waste seashells in cement mortars for masonry and plastering, *Journal of Environmental Management*, 111 (2012), pp. 133-141
20. Лобанова А. В. Підвищення фізико-механічних характеристик стінових бетонних блоків на основі органічних заповнювачів: дис. канд. техн. наук: 05.23.05 / Харків. нац. ун-т буд-ва та архітектури. Харків. 2017. 171 с.
21. Ashour T. The use of renewable agricultural by-Products as building materials / Ph.D thesis / Moshtohor Zagazig University, Toukh, Kaliobia, 2003. 348 p.
22. Petkova-Slipets R., Zlateva P. Thermal Insulating Properties of Straw-Filled Environmentally Friendly Building Materials. *Civil and Environmental Engineering*. 2017. Vol. 13, no. 1. P. 52–57. URL: <https://doi.org/10.1515/cee-2017-0006>.
23. Lin Lu, Li Jiang, Qing Feng, He Ping Wang. The Prediction of Thermal Conductivity of Agricultural Residues from Straw for Biomass Energy. *Advanced Materials Research*. 2013. Vol. 779-780. P. 1419–1422. URL: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.779-780.1419>.
24. Requirements for concrete mix design: website. URL: <https://theconstructor.org/concrete/requirements-for-concrete-mix-design/10674/>.
25. ДСТУ Б В.2.7-214:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками. [Чинний від 2010-09-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 43 с.
26. IS 1199: Methods of sampling and analysis of concrete. Bureau of Indian Standards (BIS). New Delhi, 1959. 49 p.
27. IS 516: Method of Tests for Strength of Concrete. Bureau of Indian Standards (BIS). New Delhi, 1959. 30 p.
28. Understanding Acceptance Criteria of concrete. URL: <http://surl.li/gyvku>.
29. Johra H. Thermal properties of building materials - Review and database. Department of the Built Environment, Aalborg University, 2021. URL: <https://doi.org/10.54337/aau456230861>.

30. ДСТУ Б В.2.7-126:2011 Будівельні матеріали. Суміші будівельні сухі модифіковані. Загальні технічні умови. [Чинний від 2011-06-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. 63 с.

31. Випробування зразків (кубиків) бетону на міцність, лабораторні дослідження: веб-сайт. URL: <https://1beton.in.ua/vyrobnytstvo/36-viprobuvannya-betonu-na-mitsnist.html>.

32. Коефіцієнт теплопровідності будівельних матеріалів: що це таке + таблиця значень: веб-сайт. URL: <https://remontu.com.ua/koeficiyent-teploprovidnosti-budivelnix-materialiv-shho-ce-take-tablicya-znachen>.

33. Р.А.Шмиг, В.М.Боярчук, І.М.Добрянський, В.М.Барабаш. Термінологічний словник-довідник з будівництва та архітектури / за заг. ред. Р.А.Шмига. – Львів, 2010. – 96 с.

34. Електронний ресурс – Режим доступу: <https://chemtech-bayern.com.ua/uk/statti/10783.html>

35. ДБН В.2.6-98:2009 Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. [Чинний від 2011-06-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. 75 с.

36. ДСТУ Б EN 13791:2013 Оцінка міцності бетону на стиск в конструкціях і збірних бетонних елементах [Чинний від 2013-07-10]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2013, 39 с.

37. ДСТУ Б В.2.7-239:2010. Будівельні матеріали. Розчини будівельні. Методи випробувань [Чинний від 2010-15-11]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. – 33 с.

38. ДСТУ-Н Б В.2.6-101:2010 Конструкції будинків і споруд. Метод визначення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій. [Чинний від 2010-10-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. – 84 с.

39. ДСТУ Б В.2.7-105-2000 Матеріали і вироби будівельні. Метод визначення теплопровідності і термічного опору при стаціонарному тепловому режимі (ГОСТ 7076-99). [Чинний від 2010-10-01]. Вид. офіц. Київ: Держбуд України, 2001. – 21 с.

40. Пістун Є.П., Васильківський І.С., Юсик Я.П. Аналіз впливу контактних

теплових опорів на точність вимірювання теплопровідності матеріалів. - Н.-т журнал “Методи та прилади контролю якості”, вип.2, Івано-Франківськ: Вид-во “Простір-М”, 1998, с. 50-53.

41. Іванова Г. П., Пашко А. М.. Будівельне матеріалознавство. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт студентами напрямів підготовки 6.060101 Будівництво, 6.050301 Гірництво – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – 3 с

42. ДСТУ Б В.2.7-61:2008 Будівельні матеріали. Цегла та камені керамічні рядові і лицьові. Технічні умови, 2008. – 21 с.

43. Обґрунтувати застосування теплоізоляційних матеріалів в будівництві. веб-сайт. URL: <http://surl.li/gyvqc> .

44. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці. Підруч. для студ. вищих навч. закладів. За ред. М. П. Гандзюка. — К.: Каравела, 2004. — 408 с. — ISBN 966-8019-01-6.

45. Стокові фотографії. веб-сайт. URL: <https://ua.depositphotos.com/stock-photos/eggshells.html>

46. Вироби з ячної шкаралупи. веб-сайт. URL: <http://allforchildren.com.ua/egg06.php-page=1&rows=.htm>

47. Дослідження міцності бетону неруйнівними методами контролю / П. В. Ясній, О. П. Конончук, О. М. Якубишин // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. - 2016. - Вип. 32. - С. 296-303.