

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет будівництва, архітектури та дизайну

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра будівельного виробництва та управління проектами

(повне найменування кафедри)

## Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістра

(ступінь вищої освіти)

на ТЕМУ АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ  
ВИГОТОВЛЕННЯ ШТУЧНИХ СУХОПРЕСОВАНИХ СТІНОВИХ  
ВИРОБІВ

ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF IMPROVING THE  
MANUFACTURING TECHNOLOGIES OF ARTIFICIAL DRY-PRESSED  
WALL PRODUCTS

Виконав: студент(ка) 2 курсу, групи БАД-122М  
Спеціальності 192 Будівництво та цивільна  
інженерія

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Промислове та цивільне будівництво

Трошин Є.Г.

(прізвище та ініціали)

Керівник Кулік М.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»  
(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет ФБАД  
Кафедра будівельного виробництва та управління проектами  
Ступінь вищої освіти другий (магістерський)  
Спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія  
(код і найменування)  
Освітня програма (спеціалізація) Промислове та цивільне будівництво  
(назва освітньої програми (спеціалізації))

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри БВУП, к.т.н, доц.  
О.М. Назаренко  
“ ” 20 року

**ЗАВДАННЯ**

**НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)**

Трошин Євген Григорович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Аналіз можливості удосконалення технологій виготовлення штучних сухопресованих стінових виробів. Analysis of the possibility of improving the manufacturing technologies of artificial dry-pressed wall products

керівник проєкту (роботи) Кулік Михайло Валерійович, к.т.н., доцент,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвержені наказом закладу вищої освіти від “ ” 2023 року №

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 12 грудня 2023 року

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) рекомендована література, технічне завдання

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз технологій виготовлення безвипалювальних сухопресованих штучних стінових виробів. 2. Характеристика матеріалів. Методика проведення досліджень. 3. Дослідження параметрів технології виробництва та властивостей штучних сухопресованих стінових виробів.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Слайди презентації, графічний матеріал 9-10 аркушів А1 розруковані на А3 з титульним аркушем та зброшуровані

## 6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
Аналіз технологій виготовлення безвипалювальних сухопресованих штучних стінових виробів	Кулік М.В., доцент		
Характеристика матеріалів. Методика проведення досліджень	Кулік М.В., доцент		
Дослідження параметрів технології виробництва та властивостей штучних сухопресованих стінових виробів	Кулік М.В., доцент		
Нормоконтролер	Бобраков А.А., доцент		

7. Дата видачі завдання “ 12 ” жовтня 2023 року.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту ( роботи )	Примітка
1	Постановка завдань по роботі	1 тиждень	Завдання
2	Обробка літературних джерел	2–4 тижні	Розділ 1,2,3
3	Аналіз технологій виготовлення безвипалювальних сухопресованих штучних стінових виробів	5–6 тижні	Розділ 1
4	Характеристика матеріалів. Методика проведення досліджень	7-8 тиждень	Розділ 2
5	Дослідження параметрів технології виробництва та властивостей штучних сухопресованих стінових виробів	9–10 тижні	Розділ 3
6	Оформлення пояснювальної записки та документів до неї	11 тиждень	
7	Оформлення графічної частини	12-13 тиждень	
8	Нормоконтроль та рецензування	14–15 тижні	
9	Захист роботи.	16 тиждень	

Студент(ка)

\_\_\_\_\_  
( підпис )      Трошин Є.Г.  
( прізвище та ініціали )

Керівник проєкту (роботи)

\_\_\_\_\_  
( підпис )      Кулік М.В.  
( прізвище та ініціали )

## РЕФЕРАТ

**Структура та обсяг роботи.** Робота складається зі вступу, 3 розділів, висновків та списку використаних джерел з 55 найменувань.

Метою магістерської роботи є визначення ефективних складових формованих штучних стінових виробів для покращення технологічності процесу, підвищення фізико-механічних властивостей та зниження вартості продукції.

У вступі приводиться актуальність роботи, мета і завдання дослідження, об'єкт та предмет дослідження, практичне значення отриманих результатів, а також свідчення про апробацію результатів.

В першому розділі наведені результати аналізу літературних даних про сучасний стан технології виробництва штучних стінових виробів, дані про технологічні процеси, технологічні схеми та обладнання, відомості про мінерально-сировинну базу та відомі модифікуючі домішки.

У другому розділі наведені характеристики сухопресованих виробів, методики оцінки фізико-механічних властивостей штучних стінових виробів та оцінки сировинних матеріалів для їхнього виготовлення.

Третій розділ присвячений дослідженням раціональних параметрів технології виробництва а також дослідженню та визначенню гранулометричного складу сировинних матеріалів, виявлено залежності термінів твердіння виробів від модифікуючих домішок та визначено параметри технологічного процесу, оптимальний склад сировинних сумішей та експлуатаційні характеристики виготовленої продукції.

**Методи дослідження** - Вивчення літературних джерел по темі дослідження і різних хімічних добавок, їх властивостей, вплив на технологію та міцність штучних сухопресованих стінових виробів.

**Об'єкт дослідження** – Штучні, сухопресовані стінові вироби.

**Предмет дослідження** – Технологічні параметри виготовлення сухопресованих стінових виробів без їхнього теплового обробітку.

**Актуальність теми** у вітчизняній та світовій практиці усе більший розвиток мають технології виготовлення штучних виробів шляхом пресування при високому тиску без теплового обробітку. Виготовлення таких виробів потребує розширення сировинної бази для використання більш ефективних складових в тому числі за рахунок вторинних продуктів промислового виробництва та місцевих природних матеріалів.

Важливу роль можуть відіграти домішки, які зможуть покращити формовність виробів, а також прискорити процеси їхнього твердіння.

**Ключові слова:** сухе пресування, вібропрасування, литтьове виготовлення, цемент, шлаки, супісі, пластифікатори, прискорювачі твердіння.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ВИГОТОВЛЕННЯ БЕЗВИПАЛЮВАЛЬНИХ СУХОПРЕСОВАНИХ ШТУЧНИХ СТІНОВИХ ВИРОБІВ .....	9
1.1 Аналіз сучасного стану способів виробництва сухопресованих стінових виробів .....	9
1.2 Аналіз мінерально-сировинної бази та домішок для виготовлення сухопресованих виробів.....	14
1.3 Аналіз технологічних процесів виготовлення сухопресованих стінових виробів .....	27
1.4 Аналіз технологічного обладнання для виробництва сухопресованих безвипалювальних стінових виробів.....	41
РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ .....	52
2.1 Характеристика сухопресованих стінових виробів.....	52
2.2 Методика оцінки властивостей сировинних матеріалів для виготовлення штучних стінових виробів .....	56
2.3 Методика оцінки гранулометричного складу сировинних матеріалів для виготовлення штучних стінових виробів.....	63
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ ШТУЧНИХ СУХОПРЕСОВАНИХ СТІНОВИХ ВИРОБІВ	67
3.1 Дослідження гранулометричного складу заповнювача для виготовлення сухих будівельних сумішей .....	67
3.2 Дослідження залежності твердіння сухопресованої суміші від модифікуючих домішок.....	73
3.3 Дослідження технологічного процесу виготовлення та властивостей сухопресованих стінових виробів .....	85
ВИСНОВКИ .....	93
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	94

## ВСТУП

На сучасному етапі будівництва цивільних і громадських будівель необхідно використовувати ті промислові конструкції, які найбільше відповідають архітектурно-будівельним вимогам: можливість гнучкого планування в будівлях різного призначення та створення різноманітних фасадів за однією конструктивною схемою, складеною уніфікованих елементів. Дуже важливо, що ці конструкції прості у виготовленні та монтажі.

У багатьох випадках цим вимогам найкраще відповідає залізобетонний каркас з безбалковими перекриттями, що дозволяє створити універсальну конструкцію для будівель різної поверховості та призначення.

Поряд з розвитком виробництва будівельних конструкцій і готових виробів набуло поширення будівництво будівель і споруд з монолітного залізобетону.

Практика підтвердила техніко-економічні переваги будівництва житлових і громадських будівель, окремих елементів і конструкцій з використанням монолітного та збірно-монолітного будівництва. Монолітне будівництво дозволяє використовувати його ресурсозберігаючі можливості для підвищення якості та довговічності житла, а також виразності архітектури окремих будівель і міських комплексів.

Масове монолітне домобудування змінюється від кустарних технологій і мізерних об'ємів до сучасних методів будівництва та поточного будівництва. Безперечно, в умовах ринкових відносин та відсутності в Україні житла та об'єктів соціально-культурного призначення цей ефективний спосіб житлового будівництва має великі перспективи.

### **Мета і задачі дослідження**

дослідження організаційно-технологічних систем проектування та зведення монолітних будівель з безбалковим перекриттям, розробка пропозицій щодо удосконалення та поліпшення параметрів операцій за допомогою алгоритмізації та автоматизації їх розрахунків.

**Об'єкт дослідження** – безбалкові монолітні перекриття, засоби оптимізації та автоматизації виконання проектної документації та виробництва робіт.

**Предмет дослідження** – засоби оптимізації виконання проектної документації для конструктивних елементів безбалкових монолітних перекриттів та виробництва на їх основі будівельних робіт.

**Актуальність теми** обумовлена необхідністю забезпечення удосконалення організаційно-технологічних процесів монолітного будівництва, що теоретично повинно зменшити витрати часу робітників та оптимізувати капітальні вкладення на будівництво.

**Методи дослідження:**

робота являє собою теоретичне дослідження, яке виконано за допомогою комп'ютерних технологій та програмного забезпечення, операційних досліджень, когнітивної структуризації знань та методів лінійного та нелінійного програмування.

**Наукова новизна одержаних результатів:**

Запропоновані пропозиції для конструктивних елементів безбалкових монолітних перекриттів та виробництва на їх основі будівельних робіт. Обґрунтована можливість удосконалення організаційно-технологічних процесів при зведенні елементів безбалкових монолітних перекриттів.



# РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ВИГОТОВЛЕННЯ БЕЗВИПАЛЮВАЛЬНИХ СУХОПРЕСОВАНИХ ШТУЧНИХ СТІНОВИХ ВИРОБІВ

## 1.1 Аналіз сучасного стану способів виробництва сухопресованих стінових виробів

Сучасні умови ресурсе- та енергозбереження ставлять перед будівельної індустрії проблему розробки ефективних стінових матеріалів. Традиційні стінові матеріали відрізняються високою вартістю, зумовленої значними витратами на термічну і тепловолугу обробку.

Тому важливо в технологіях виробництва будівельних матеріалів віддавати перевагу безвипалювальним продуктам на основі місцевої сировини. Перспективним напрямом вирішення цієї проблеми при виробництві штучних стінових матеріалів представляється розробка технологій з використанням високого тиску пресування.

У зв'язку з цим, виробництво за технологією напівсухого пресування до нинішнього часу являло собою недостатньо вирішену технічну проблему, а підвищення міцності виробів одразу після формування та прискорення їх природного твердіння - недостатньо вивчену наукову проблему.

Знизити енерговитрати на “виготовлення даних виробів дозволяє їхнє виготовлення з сухопресованих мінеральних сумішей на основі портландцементу. Зниження енерговитрат досягається застосуванням виробів природного твердіння, прискореного добавками-прискорювачами, замість їхнього випалу або автоклавування.

Відомо, що в СНД і за кордоном існує обладнання (вібраційне, безвібраційне) для формування різних будівельних виробів. В Західній Європі широко поширені високопродуктивні, повністю автоматизовані технологічні лінії з виробництва дрібноштучних виробів широкої номенклатури. При виготовленні виробів досягається оптимальна витрата вихідних матеріалів

внаслідок раціональної пустотності виробів, використання напівсухих сумішей з мінімальним водоцементним відношенням, що дозволяє максимально використовувати тепловиділення твердіюого матеріалу (як правило, обходиться без витрат тепла на термообробку) і отримувати високі фізико-механічні властивості готового виробу.

Сьогодні часто зустрічається вібраційний спосіб, так і спосіб вібропресування для формування бетонних виробів, суть першого полягає в ущільненні бетонної суміші під дією однієї вібрації, а другого вібрації і пресуючого тиску плити-пуансона. Метод вібрації в основному застосовується при виробництві дрібноштучних бетонних виробів. Однак, як показав аналіз, кожен з них має ряд недоліків. Так, при вібраційному способі для витримування виробів до стадії розпалубочної міцності необхідна велика кількість збірно-розбірних форм, що характеризує, як малоекономічне застосування зазначеного способу для формування малорозмірних блоків. При формуванні блоків способом вібропресування мають місце високий рівень шуму і вібрації, мала структурна міцність свіжоформованного блоку. Для отримання виробів необхідної якості потрібно кондиційний заповнювач. Крім того, цей спосіб не дозволяє формувати блоки пазогребневої конструкції. Формування методом лиття, за рахунок якого можна було б обійтися без будь-яких зовнішніх впливів, не можна застосовувати при терміновій розпалубці; даний спосіб пов'язаний зі збільшенням термінів теплової обробки виробів і зниженням в ряді випадків якості бетону через їхнє розшарування. Спосіб пресування дає можливість виключити вищенаведені недоліки і забезпечує отримання високої міцності сирцю, що дозволяє здійснювати негайне розпалублення блоків, а також значно поліпшити умови роботи обслуговуючого персоналу.

Технологія пресування високоточних пазогребневих пустотілих бетонних блоків з заповнювачами на основі промислових відходів має також актуальний напрямок.

У свій час ще на початку 90-х років були виконані пошуково-експериментальні розробки по формуванню способом пресування пустотілих піноблоків високої точності з місцевих матеріалів і промислових відходів. У проведених дослідженнях [1] виявилися невирішеними важливі питання, пов'язані з відпрацюванням раціональних режимів виготовлення блоків і параметрів технологічного обладнання, доцільних схем організації виробництва, з оцінкою економічної ефективності технологічних ліній, а також визначенням якісних показників блоків і кладок з них. Дослідження комплексу цих проблем дозволяє вирішити актуальну задачу - створення ефективної технології виготовлення малорозмірних пустотілих піноблоків підвищеної точності з використанням місцевих заповнювачів і промислових відходів.

Запропоновано ефективну технологію виготовлення способом пресування малорозмірних пустотілих піноблоків підвищеної точності, що забезпечує отримання виробів високої якості з мінімальними допусками, великою міцністю при відносно невеликих витратах цементу, що дозволяє застосовувати місцеві матеріали і промислові відходи.

Виконано проекти технологічного обладнання (роторних пресів, прес-форм, теплових агрегатів і ін.), Що забезпечує комфортні умови на робочих місцях (відсутність шуму і вібрації)

На основі розробок автора [1] розроблено технічну і методична документація включає технологічні регламенти, рекомендації та інструкції по застосуванню способу пресування бетонних блоків.

У виробництві радіальних бетонних виробів добре зарекомендував себе метод радіального пресування, який дозволяє формувати радіальні сухопресовані вироби в замкнених прес-формах з низьким водоцементним відношенням, що дозволяє отримувати високу якість готової продукції. На даному етапі розвитку виробництва сухопресованих бетонних виробів вищеописані технології виготовлення є ефективними як в економічному, так і в технологічному аспектах [1].

Виконані до теперішнього часу дослідження і розробки стосувалися до пресування суцільних, порівняно невисоких виробів простої геометричної форми (силікатні цеглини, повнотілі дрібні бетонні блоки і камені на важких міцних заповнювачах, тротуарні плитки і т. П.). Досліджень, присвячених пресування таких виробів, як тонкостінні пустотілі пазогребневі блоки значною (до 200 мм) висоти, до теперішнього часу не проводилося. Тому одним з основних завдань даного дослідження ставилося пошук оптимального поєднання технологічних параметрів процесу пресування таких виробів. При цьому основними технологічними параметрами, які визначають процес пресування піноблоків слід вважати: зміну обсягу бетонної суміші при пресуванні; вибір оптимального значення питомої тиску і режиму пресування; визначення необхідних розпалубочних ухилів стінок прес-форми, пазів і гребенів блоків, що забезпечують їх бездефектну розпалубку; вивчення зчеплення виробу зі стінками прес-форми і визначення зусилля пресування.

За останні роки на території України виробництво штучних стінових виробів методом сухого пресування набуло широкого поширення.

Ця прогресивна технологія прийшла до нас з Європи. Суть цієї методики говорить сама за себе - на цеглу здійснюється підвищений тиск, внаслідок чого, пресується матеріал (суміш подрібненого вапняку, цементу і барвників). Методом напівсухого гіперпресування сьогодні виготовляють в основному облицювальну цеглу.

Сухопресовані штучні вироби випускаються в різних модифікаціях і розмірах. Пропоновані стінові вироби можуть використовуватися у будівництві малоповерхових будівель (бетонні стінові блоки) а саме у будівництві і облицюванні фасадів, облаштування міжкімнатних перегородок, ними декорують зовнішні стіни, огорожі, фундаменти і так далі. Технологічний процес виробництва таких будівельних матеріалів постійно вдосконалюється, випускається високотехнологічне механічне обладнання, яке дозволяє підвищити рівень автоматизації та механізації виробничого процесу. Ведуться різні дослідження в області підбору сировинних компонентів. Розробляються

нові технології формування виробів і їх обробки. Все це обумовлено постійним розвитком будівельної індустрії, яка незмінно крокує в ногу з часом.

Готова продукція відрізняється відносно високими експлуатаційними характеристиками, має такі необхідні у будівництві фізико-механичними властивості, як морозостійкість, оптимальний коефіцієнт водопоглинання, високий рівень міцності. Виготовлення сухопресованих безвипалювальних виробів на сучасному устаткуванні по унікальних технологіях дозволяє отримати продукцію з точними геометричними параметрами. Перед тим, як потрапити до споживача, продукція проходить контроль якості на виробництві і при упаковці. Заходи по перевірці експлуатаційних і зовнішніх характеристик бетонних виробів забезпечують їх високу якість і довгий термін служби.

Готова поверхня має жорстку структуру, низький відсоток водоцементного співвідношення забезпечує мінімальну пористість поверхні сухопресованих стінових виробів. Висока міцність і стійкість до мінусових температур також досягається завдяки унікальному методу виробництва. Новітнє обладнання, автоматизація виробничих процесів надає швидкі темпи виробництва і якість одержуваної продукції. Інгредієнти суміші, використовуваної у сухопресуванні, підбираються ретельно, адже від їх якості безпосередньо залежать експлуатаційні характеристики готових будматеріалів.

На ринку виробників з мінеральної цегли в Україні відсутня чітко виражена консолідація виробничих підприємств. Розподіл цегляних заводів за обсягом виробництва і займаній частці ринку носить плавний характер, і виділення групи лідируючих підприємств досить ускладнене.

Зважаючи на те, що транспортування цегли на великі відстані досить складний процес, як з технічної, так із економічної точок зору, і достатньо велика більшість даного будівельного матеріалу перевозиться автомобільним транспортом, підприємства - виробники будівельної і інших видів цеглини розташовуються практично у кожному регіоні України. Така організація географічною структури ринку цегли обумовлює те, що споживачі, як правило, придбавають продукцію свого або сусідніх регіонів. Зазвичай при

міжрегіональних постачаннях і постачаннях на далекі відстані (більше 50-70 км) вартість цегли істотно збільшується.

Проте, до найбільш великих можна віднести декілька заводів - виробників штучної стінової продукції, на частку яких припадає близько 70% від загального обсягу виробництва цегли в Україні - ТМ "ФАГОТ", ТМ "СИЛАР", ТМ "ЛИТОС".

## **1.2 Аналіз мінерально-сировинної бази та домішок для виготовлення сухопресованих виробів**

Сировинна база для виготовлення пресованих матеріалів різноманітна і доступна. Їхня технологія екологічно активно чиста, так як не утворює ні твердих, ні рідких, та газоподібних відходів, а в якості власної потрібної сировини, використовує відходи від інших виробництв: кам'яних кар'єрів, великих цегельних заводів і заводів по виробництву керамзиту, збагачувальних і металургійних комбінатів, теплових електростанцій на вугіллі і багатьох інших підприємств.

На сьогодні в Україні в значних обсягах ведеться видобування каоліну, бромур, вохри, нерудної металургійної сировини (кварцитів, флюсових вапняків і доломітів), хімічної сировини, облицювального каменю (гранітів, габро, лабрадоритів), скляного піску тощо, з видобутком яких пов'язані потенційні можливості нарощування виробничого потенціалу підприємств, що виготовляють будівельні матеріали на території нашої держави.

Варто так само зазначити, що нині, коли більшість родовищ, які лежали "на поверхні", відпрацьовані, надзвичайно актуальним питанням є підвищення ролі геологічної науки, оскільки відкриття нових родовищ потребує залучення комплексу найсучасніших, науково обґрунтованих методів пошуку, розроблення досконаліших технічних засобів, а підвищення ефективності геологорозвідувальних робіт (ГРР) потребує наукового супроводу всіх стадій цих робіт. Водночас фінансування наукового супроводження

геологорозвідувальних робіт за останні роки скоротилося в 10 разів і призвело до знищення наукових підрозділів і відповідних напрямів галузевої геологічної науки [2].

У вітчизняному житлово-цивільному будівництві все більше застосування отримують штучні вироби, такі як ніздрюватобетонні і легкобетонні пустотілі блоки. Ці блоки дозволяють при їх використанні в несучих, самонесучих і навісних стінах знизити їх матеріаломісткість, масу і вартість.

Однак виготовлені дрібнорозмірних виробів характеризуються невисокою якістю і вимагають для їх виготовлення щодо дорогих кондиційних заповнювачів. Тому актуальним є розробка ефективної технології на заводах виробничих підприємств, які забезпечать отримання високоякісної продукції з недорогих місцевих матеріалів і промислових відходів. Сировиною для цих заводів є первинні та/або вторинні продукти переробки самого каменю - мінеральні відходи. Під первинними продуктами розуміються продукти механічної переробки каменю, наприклад: пиляні блоки, щебінь та відсів - відходи від дроблення каменю. Під вторинними продуктами, розуміються продукти механічної та хімічної (горіння) переробки каменю, наприклад, шлаки, цемент.

Сировинною базою для виробництв пресованих матеріалів є відсіви кам'яних кар'єрів. Вони наявні, там, де розробляються в кам'яних кар'єрах (виробництво - розпилування кам'яних блоків, плит і щебеню), та існують у вигляді відсіву, тобто маються в достатку, як основна сировина для пресування. Як правило (за винятком виробництва доломітового і вапняної муки), відсіви не використовуються і утворюють пилові гори, що забруднюють навколишнє середовище, особливо, в період засух і рясних дощів. Екологія кам'яних кар'єрів завжди залишає бажати кращого.

Керамічний бій, що утворюється в процесі виробництва керамічної цегли супроводжується великою кількістю неякісної цегли, яка накопичується у вигляді керамічного дріб'язку, а виробництво керамзиту - великими

кількостями відсівів. Бетонні відходи при реконструкції мікрорайонів або після важких руйнувань також можуть використовуватися у складі сухопресованих виробів, коли гостро постає питання про використання завалів будівель і споруд.

Тверді золошлакові відходи від згорання вугілля на ТЕЦ теж потребують утилізації, аби не забруднювати викидаючи їх на родючі землі.

На сьогодні також розглядається вирішення питання зі скупченням доменних шлаків на території металургійних комбінатів, що часто виростає в справжню проблему, та вимагає адекватного та економічно вигідного рішення.

Основна маса відходів металургійного виробництва утворюється у вигляді шлаків [3]. Згідно з [4], шлаки - це продукти високотемпературної взаємодії палива, руди, плавнів та газового середовища. Металургійні шлаки є сировинним матеріалом для будівельної промисловості.

На Україні в кінці 80-х років ступінь переробки та використання шлаків у будівництві досягала 60-65% від їхнього поточного виходу. При цьому перероблення доменних шлаків досягала 100%, в той час як переробка сталеплавильних і феросплавних шлаків не перевищувала 30-40%, що викликало подальше утворювання і необхідність утримання шлакових відвалів [7].

Проте для розробки технологічних рішень з переробки металургійних шлаків і отримання на їх основі якісних будівельних матеріалів необхідне чітке визначення і розуміння процесів формування шлакових розплавів і структуроутворення шлаків.

Вивчення механізмів структуроутворення як самих шлаків, так і матеріалів на їх основі, дозволить управляти процесами структуроутворення і одержувати будівельні матеріали із заданими властивостями.

За даними хімічного аналізу [3], основними шлакоутворювальними оксидами є оксиди шести елементів - CaO та ін. Типовий хімічний склад металургійних шлаків представлений у [5-8] таблиця 1.1



Таблиця 1.1 - Типовий хімічний склад доменного шлаку

Вид шлаку	Вміст компонентів, %						
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MnO	MgO	S	FeO+Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Доменний	37,3-41,2	6,9-7,8	43-46	0,6-4,6	5,5-7,8	1,5-2,5	1,2-4
Конверторний	16,5-18,5	1,5-2,5	44-46	5,3-5,5	4,8-5,3	0,7-0,8	13-15
Мартенівський	20-29	1,5-6	30-47	6-12	7-17	0,05- 0,2	10-14
Доменний феромарганець	29-32	6-9	40-45	6-10	7-10	2,5-2,7	0,7-0,9
Силікомарганець	45-50	6-9	12-19	13-18	2-5	0,8-1,3	0,4-0,7

Хімічний склад металургійних шлаків та їх структура можуть змінюватися залежно від складу порожньої породи, виду металу, який виплавляється, особливостей самого металургійного процесу, умов охолодження та деяких інших.

Загалом металургійні шлаки підрозділяють на шлаки чорної та кольорової металургії. Шлаки чорної металургії залежно від процесу й типу печей ділять на доменні, сталеплавильні (мартенівські, електропаливні, конверторні), вагранкові та шлаки виробництва феросплавів. З вище на приведених видів найбільший вихід мають доменні шлаки, в яких на 1 т чавуну вихід складає 0,6 - 0,7 т, при виплавці сталі мартенівським способом - 0,2 - 0,3 т, а в електропечах - 0,1 - 0,04 т [4].

За своєю природою шлаки відіграють одну з важливих ролей у фізико-хімічних процесах металургійного виробництва. Вони захищають метал від шкідливої дії газового середовища та очищають від небажаних домішок [9].

Відомо [4, 10, 11], що на фізичні властивості шлакових розплавів значно впливає їх хімічний склад. Це впливає й на структуру та властивості вже затверділих шлаків. Так, наприклад, якщо збільшувати вміст оксиду кальцію, отримаємо підвищення температури плавлення шлаків та зниження текучості.

А при вмісті певної кількості MgO, MnO, FeO, SiO<sub>2</sub> в'язкість шлакового розплаву зменшується. До збільшення в'язкості шлакових розплавів призводять підвищення вмісту в них кремнезему вище 40 %, а також алюмінію Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [1].

Металургійні шлаки широко використовуються як сировина для будівельних матеріалів.

При цьому важливою характеристикою їх хімічного складу є співвідношення в них кислих та основних оксидів - модуль основності (M<sub>o</sub>), який обчислюється за формулою:

$$M_o = \frac{(CaO + MgO)}{(SiO_2 + Al_2O_3)} \quad (1.1)$$

Відомо [4,10], що при M<sub>o</sub> > 1 шлаки належать до основних, а при M<sub>o</sub> < 1 — до кислих.

Іншим критерієм є модуль активності (M<sub>a</sub>), який виражає співвідношення глинозему та кремнезему (%) [4,12]:

$$M_a = \frac{Al_2O_3}{SiO_2} \quad (1.2)$$

З підвищенням модуля основності та модуля активності у більшості випадків зростає гідравлічна активність [4,12].

Про активність шлаку судять [12, 13] за так званим коефіцієнтом якості (K), який запропонував П. П. Будников [14]. Цей коефіцієнт відображає вміст компонентів шлаку, що є найбільш істотним. Він залежить від вмісту (%) оксидів кальцію, алюмінію, магнію та двооксидів кремнію, титану [12]. Він виражає собою відношення суми оксидів кальцію, магнію та глинозему до суми кремнезему, оксиду титану та марганцю. При вмісті MgO до 10 % коефіцієнт якості встановлюють за формулою:

$$K = \frac{CaO + Al_2O_3 + MgO}{SiO_2 + TiO_2} \quad (1.3)$$

При вмісті ж MgO більше 10 % - за формулою:

$$K = \frac{CaO + Al_2O_3 + 10}{SiO_2 + TiO_2 + (MgO - 10)} \quad (1.4)$$

Авторами [16] було розглянуто класифікацію з урахуванням впливу окремих компонентів на гідравлічну активність доменних шлаків. Тут уводяться такі поняття як «носій» та «збудник» активності. Носіями активності у шлаках є силікати та алюмосилікати кальцію. їх гідратація зумовлює твердіння шлакових в'язучих. Але, як правило, носії активності в шлаках самі по собі інертні і для активації процесу їх гідратації необхідні збудники.

У ролі збудників у більшості випадків виступає сульфід кальцію, кількість якого залежить від загального вмісту сірки в шлаці та від наявності в ньому активніших до сірки катіонів марганцю і заліза. Ця класифікація враховує те, що гідравлічна активність шлаку при одному і тому ж хімічному складі шлаку буде різко відрізнятися залежно від умов охолодження (грануляція або повільне охолодження) та віку («старіння» шлаку).

Шлакові розплави - це, в основному, сплави силікатів та алюмосилікатів кальцію [15]. Саме тому вони є цінним сировинним матеріалом для виробництва будівельних матеріалів.

Встановлено [15, 17], що для розробки технологічних рішень для переробки металургійних шлаків, а також для виробництва якісних будівельних матеріалів на їх основі необхідне визначення та розуміння процесів формування шлакових розплавів, структуроутворення з них твердих шлаків. Саме вивчення механізмів структуроутворення шлаків та матеріалів на їх основі дозволить управляти процесами утворення структури та отримувати будівельні матеріали з необхідними властивостями.

Для застосування шлаків у будівництві та при виробництві будівельних матеріалів необхідно звернути увагу, що залежно від галузі застосування, треба використовувати шлаки, які різняться за своїм мінералогічним складом, стійкістю та гідравлічною активністю.

Структура шлаків - визначальна характеристика якості будь-яких будівельних матеріалів (а саме механічної міцності та довговічності). При схожому хімічному складі металургійних шлаків механічна міцність будівельних матеріалів, які отримують на їх основі, може змінюватися залежно від характеру кристалічних новоутворень та самої структури виробів.

Однак структура штучного каменю, який утворюється зі шлакових розплавів, визначається комплексом чинників [4, 15]: природою окремих структуротвірних мінералів, ступенем закристалізованості, розмірами і формою кристалів, наявністю склофази, співвідношенням і просторовим розподілом кристалічної склофази.

Механічна міцність та хімічна стійкість матеріалів залежать в основному від повноти закристалізованості маси, густини структури, які визначаються розмірами, формою та взаємним зчепленням кристалів зі склофазою.

Розроблені авторами [18] мінеральношлакові в'язучі, що складаються з дисперсних гірських порід і активних в лужному середовищі слабо і високоосновних шлаків, дозволяє отримати досить міцні композиційні в'язучі в нормальних умовах тверднення і високоміцні в'язучі - при термовологій обробці і сухому прогріванні.

Гідратаційна активність шлаків зумовлює використання їх в шлакопортландцементі. Вважається дослідниками [19], що основні активні шлаки, мають модуль основності ( $M_0 = (\text{CaO} + \text{MgO}) / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)$ ) вище одиниці і модуль активності ( $M_A = \text{Al}_2\text{O}_3 / \text{SiO}_2$ ) більше 0,15 ... 0,20, можуть самостійно твердіти в воді, хоча швидкість затвердіння може бути дуже малою. Однак не завжди задовільні значення  $M_0$  і  $M_A$  є гарантією високої міцністні активності навіть у присутності лужних активізаторів. Це відноситься в рівній мірі до відвальних шлаків, які мають високу основність і активність, але

внаслідок незначної кількості склоподібної фази і наявності неактивних силікатів кальцію який практично не твердне в нормальних умовах і слабо твердне з добавками лугів і соди.

Дисперсні породи при цьому можуть бути кислими (сіліцити, піщаники) осадового походження або ультракислими (граніт, сієніт, діабаз, діорит, базальт і.т.д.) вулканогенного походження. Механізм їхнього твердіння дозволив висловити робочу гіпотезу: суміші кислих або основних шлаків і високоосновних гранульованих можуть формувати міцні і високоміцні в'язучі. При цьому в таких сумішах можливо проява синергетичного! дії, і парціальна міцність може не відповідати правилу адитивності.

Проведені дослідження [19] свідчать про можливість використання неактивних шлаків в суміші з меленим гранульованим активним. У той же час вид шлаку і мінерального наповнювача грає істотне значення у формуванні міцності мінеральношлакових в'язучих. У зв'язку з цим до вибору шлаку і гірської породи при створенні мінеральношлакових в'язучих повинна приділятися найсерйознішу увагу і такі суміші повинні піддаватися експериментальній перевірці.

На ряду з цими дослідженнями були детально вивчені питання застосування в якості карбонатної складової відсівів подрібнення вапнякових і доломітових порід, величезна кількість яких накопичується в кар'єрах і потребує утилізації [20].

Карбонатошлакові матеріали, розроблені на кафедрі «Технології бетонів, кераміки та в'язучих» Пензенського державного університету архітектури і будівництва, представляють собою композиційні матеріали на основі меленого гранульованого металургійного шлаку, тонкодисперсної карбонатної породи (доломіт, вапняк), лужного активізатора твердіння і різних наповнювачів. Матеріали отримують методом сухого пресування з наступною тепловологісною обробкою або без неї. Однак є безліч інших відходів промисловості - джерел карбонатної сировини. Зокрема, представляється перспективним використання шлаків хімічної очистки води, виробленої на

теплових електроцентралях міст. Шлами містять до 80%  $\text{CaCO}_3$ , 5%  $\text{MgCO}_3$ ,  $\text{FeCO}_3$ , мають високу питому поверхню (до 550 м<sup>2</sup>/кг). Як правило, ці шлами зливаються в басейни, а потім вивозяться у відвали.

На думку авторів досліджень (В.Ю. Нестеров, М.А. Дудукін, Ю.С. Кузнецов, М.О.Коровкін, М.Н. Мороз, Си Фан, Т.А. Войкіна) твердіння карбонатних в'язучих може відбуватися не тільки за рахунок гідратації і гідролізу шлакових частинок з утворенням низькоосновних гідросилікатів, гідроалюмінатів і гідралюмосілікатів кальцію, що цементують наповнювач, але і за рахунок взаємодії цих продуктів гідратації і гідролізний вапна з кальцієм. Протягом 28 діб тверднення продукти гідратації шлакового скла є рентгеноаморфними і лише через 90 ... 180 діб гідратації на рентгенограмах виявляються піки, характерні для гідросилікатів кальцію.

Механізм цементування карбонатних часток гідросилікатами кальцію і гідролізним вапном при рівному масовому вмісті шлаку і вапняку і їх близької дисперсності досить простий. В цьому випадку структурна топологія композиції найбільш сприятлива, оскільки частинки шлаку і вапняку контактують між собою. Більш складні варіанти розміщення частинок виникають при різній лічильній концентрації їх, обумовленої більш високою дисперсністю і підвищеним вмістом наповнювача в порівнянні зі шлаком. Висока дисперсність шлаку зумовлює важливу роль дифузійного масопереносу продуктів гідролізу і гідратації до контактів частинок наповнювача.

До в'язучих речовин автоклавного твердіння можуть відноситися вапняно-піщані в'язучі нефелінового шламу, доменних гранульованих і відвальних шлаків і ряд інших [21]. Для приготування вапняно-піщаного в'язучого використовують маломагnezіальне мелене негашене вапно, що характеризується середньою швидкістю гідратації або гідратне вапно. Пісок застосовують немеленим, грубомеленим і у вигляді суміші немеленого і тонкомолотого. Замість піску можна використовувати доменні гранульовані і відвальні шлаки, мартенівські і вагранкові шлаки, золу від спалювання сланців, вугілля та торфу, різні горілі породи [21, 22].

У політехнічному інституті С. М. Ицковичем, В. А. Богдан, В. А. Балашевичем досліджені гранульовані вагранкові шлаки Могилевського металургійного заводу та інших заводів Білорусії [23]. Встановлено ефективність їх використання в бетонах різного призначення: високоміцному, конструкційно-теплоізоляційному, жаростійкому і декоративному. Дослідниками Мінського політехнічного інституту свого часу було встановлено, що з часом вагранкові шлаки втрачають здатність до активації.

Зниження цієї здатності відбувається не тільки при зберіганні шлаків в помолотому вигляді, але і у вигляді не розмелених гранульованих шлаків. Можливо, в цьому криється одна з причин суперечливості і невідтворності деяких досвідчених даних.

На основі отриманих результатів, можна зробити висновок про те, що оптимальне співвідношення «шлак: шлам» знаходиться в межах між 60:40 і 70:30%. Ці ж значення були отримані при використанні доменного шлаку. Оптимальна вологість сумішей складає 17 ... 19%, а дозування лужного компонента 6-8%.

На думку розробників цих досліджень [20] матеріал, отриманий на основі вагранкового шлаку має низьку міцність і щільність, тому він може бути використаний для виробництва стінового пресованого каменю невисоких марок з підвищеними теплоізоляційними властивостями.

Якщо простежити розвиток глобальних тенденцій у використанні будівельних сумішей вироблених з місцевих сировинних матеріалів, то можна відзначити динаміку в бік збільшення їх виробництва і реалізації на світовому ринку. А саме, при зведенні, реставрації та ремонту будівель і споруд. Ці матеріали готові до застосування, зручні до транспортування, в використанні, технологічні і зберігають свої властивості протягом тривалого часу.

Традиційно в якості в'яжучих матеріалів використовуються цементи, вапно та глини різних видів і марок. Разом з тим величезна кількість місцевої сировини і побічних продуктів різних галузей промисловості в більшості регіонів країни використовуються вкрай недостатньо.

До складу багатьох добавок, розроблених на основі вторинної сировини, входять хімічні сполуки, традиційно не використані в будівництві, механізми Дії яких на процеси гідратації і твердіння цементних і змішаних систем мало досліджені. Тому для отримання високоефективних складів і модифікаторів з використанням вторинної сировини необхідна розробка технологій і підготовки, переробки і виробництва сухих сумішей, а також глибокі дослідження процесів гідратації, твердіння, міцності і довговічності композиційних матеріалів в присутності як основних компонентів, так і мікродобавок, що входять до складу природної сировини і відходів промисловості.

В роботі [24] проаналізовані механізми дії шламів на всіх рівнях формування структури композитів, починаючи від молекулярного і закінчуючи оцінкою міцності і довговічності цементних матеріалів. Позитивні результати отримані при використанні шламів як добавки в будівельні розчини з метою регулювання термінів схоплювання, підвищення міцності і поліпшення технологічних властивостей розчинних сумішей. Встановлено, що раціональною кількістю шламу є 3 ... 10%. У цьому випадку досягається оптимальне співвідношення між частками в'язучого та наповнювача, і міцність цементних розчинів підвищується в середньому на 10 ... 12% залежно від виду використовуюваного цементу. За даними рентгенофазового аналізу, для цементів з підвищеним вмістом алюмінатних фаз та недостатньою кількістю гіпсу на ранніх етапах твердіння - підвищення міцності в присутності шламів, що містять гіпс, пов'язано з активацією процесів утворення еттрінгіта и моногіросульфоалюміната кальцію.

Застосування мінеральних шламів різного хімічного складу дозволяє направлено регулювати процеси структуроутворення та тверднення наповнених систем і отримувати композиційні матеріали з високими показниками фізико-механічних властивостей. При раціональному використанні шламів створюється можливість значного поліпшення екологічної обстановки поблизу



підприємств хіміко-фармацевтичної, скляної промисловості та енергетики, розташованих, як правило у великих промислових центрах країни.

На приклад - найбільша кількість небезпечних відходів, що потребують утилізації чи розробки відповідних технологій їх переробки як вторинної сировини в Запорізької області являються:

- шлак зварювальний, шлам який вміщує окалину, мартенівські шлаки, кольоровий пил, шлам який вміщує залізо, шлам станції нейтралізації - ВАТ «Запоріжсталь»,
- шлак феросплавного виробництва, який вміщує марганець, шлам мокрих газоочисток - ВАТ «Запорізький завод феросплавів»,
- шлак електросталеплавильного виробництва, шлам прокатного виробництва, шлам сталеплавильного виробництва - ВАТ «Дніпроспецсталь»
- золошлаки - Запорізька ТЕС,
- нейтралізований шлам після очищення травильних ванн - ВАТ «Запорізький сталепрокатний завод»,
- пил від електрофільтрів - ВАТ «Запорожвогнетрив»,
- відпрацьовані мийні засоби і розчини знежирювання - ВАТ «Мотор-Січ»
- шлам після станції нейтралізації - ВАТ «Запоріжтрансформатор»,
- шлак алюмінієвого виробництва, шлак латунного виробництва, мідно-електролітний шлам - ТОВ «Запорізький завод кольорових сплавів»,
- шлаки, що утворюються у термічних процесах металургії кольорових металів - ТОВ «Запорожспецсплав»,
- шлами кам'яних кар'єрів Запорізького регіону,
- супесі, суглинки Запорізького регіону.

Серед безвипалювальних технологій виробництва лицьової цегли найбільшого поширення набули процеси на гідравлічних в'язучих. Незалежно від особливостей складу сировини, їх об'єднує відсутність стадії високотемпературного випалу цегляних заготовок, а перетворення в

камнеподібний матеріал відбувається при звичайних умовах за рахунок реакцій гідратації мінерального в'язучого, найчастіше на основі портландцементу.

Сировиною для виробництва безвипалювальної лицьової цегли є добре відомі матеріали: портландцемент (або вапно), мінеральні наповнювачі (пісок, мелений черепашник і т.п.), мінеральні неорганічні пігменти, що додають готовим виробам необхідне забарвлення і вода. Примітно, що на відміну від керамічних технологій, в яких вода використовується тільки для пластифікації сировини на стадії формування, в безвипалювальних процесах вода бере активну участь у формуванні структури штучного каменю - гидратірує компоненти гідравлічних в'язучих. Цією особливістю безвипалювальної цегли пояснюється їх порівняно невисока термостійкість. При нагріванні вище певних порогових значень (вище 300 ° С) у виробі починається зворотний процес - дегідратації, тобто хімічно зв'язана вода відділяється від цементного (силікатної) каменю і цегла різко втрачає свої властивості міцності.

Також розглянуто теоретичні основи отримання без випалювальних матеріалів з використанням ґрунтів і глинистої сировини, впливу тиску пресування на процеси структуроутворення цементно-глиняних матеріалів. [26].

Як відомо, ґрунт є одним з найбільш древніх будівельних матеріалів в історії будівництва. Більше 25% жителів землі живуть в будинках, стіни яких виконані з ґрунтоблоків. Основним завданням при виготовленні матеріалів з ґрунтів є надання їм стабільних властивостей, які залежать від вологості навколишнього середовища. Проведені дослідження ґрунту показали, що одним з найбільш ефективних в'язучих, значно підвищують міцність і водостійкість є портландцемент. Дослідження, проведені вченими В.М. Безрук, Л.В. Гончарова, І Л. Гурячков, С.С. Морозов, підтвердили високу ефективність використання портландцементу для стабілізації ґрунтів в дорожньому, аеродромному і гідротехнічному будівництві. Як показав аналіз літературних Джерел [26], в основному для виробництва ґрунтоблоків застосовувалися

методи пластичного і напівтвердого пресування. Процеси твердіння і гідралічних в'язучих речовин детально вивчені багатьма дослідниками. При цьому найбільш детально вивчені складові частини і продукти гідратації портландцементу.

Відносно найдешевшим сировинним матеріалом є ґрунт. Ґрунт - це багатокомпонентний матеріал, де поряд з сприятливими для виробництва мінералами, присутні і мінерали, які без належної технологічної підготовки негативно впливають на якість цегли, особливо на його морозостійкість, а деякі мінерали є шкідливими [26]. Наприклад, рекомендується застосовувати піщаники, базальта, вапняки, кварцити, сиеніти, трахіти і ін.

Особливо рекомендуються боксити, червоні землі, породи залізорудних і кам'яновугільних родовищ, відсівні щебневих і мармурових кар'єрів, відходи промивання піску, доменні шлаки, горіла земля ливарних цехів.

Не рекомендується сировина: гіпсовий камінь, безводний гіпс, буре вугілля, легковивітрянні скельні породи, пірити, пічні шлаки, органічні включення, сульфати, оксиди і гідроксиди металів. Перераховані вище породи не рекомендується використовувати в якості сировинних матеріалів в зв'язку з можливістю гідролізу мінералів що входять до їхнього складу, якій супроводжуються збільшенням об'єму продуктів і може привести до набухання [26].

### **1.3 Аналіз технологічних процесів виготовлення сухопресованих стінових виробів**

Використання технології гіперпресування у виробництві безвипалювальних виробів є перспективним рішенням проблеми отримання стінових, дорожніх і облицювальних матеріалів.

Матеріали, отримані за технологіями виготовлення сухопресованих стінових виробів відрізняються від традиційних такими особливостями:

- меншою енергоємністю, оскільки їх виробництво не вимагає термічної і обробки їх;
- більш низькою витратою в'язучого;
- ширшою сировинною базою, що дозволяє використовувати місцеве не дефіцитну природну сировину, промислові відходи та побічні продукти;
- більш простою технологією, в зв'язку з чим їх виробництво може бути організовано з мінімальними капіталовкладеннями.

Використання відходів промисловості в якості будівельної сировини замість традиційного забезпечує економію капітальних вкладень на розвиток матеріально технічної бази будівництва, а також дає можливість організувати випуск нових, ефективних малоенергоємних матеріалів з поліпшеними будівельно-технічними властивостями.

Утилізація попутних продуктів промисловості дозволяє поліпшити стан водного та повітряного басейнів, залучити у виробництво величезну кількість матеріалів, звільнити значні площі, зайняті в даний час під відвалами, а також знизити вартість готових виробів.

Як правило, на сучасних підприємствах використовується автоматизовані преси, що значно полегшує процес виготовлення готових виробів і спрощує процес контролю за виробництвом.

На стадії формування цегли технологіями контролюються наступні параметри: тиск, який чиниться на масу; габаритні розміри цегли-сирцю.

Якщо якісь з фактичних параметрів не співпадають з заданими, робота автомата зупиняється, а ті відходи, що утворилися, іноді, якщо дозволяють фізико-хімічні властивості сировини, знову відправляють на переробку.

Виготовлення цегли гіперпресованої далі полягає в пропарюванні отриманого після пресування сирцю. У процесі пропарювання готові вироби набирають до 70% своєї марочної міцності. На цій стадії використовуються спеціальні пропарювальні камери, куди на піддонах відправляються сформовані Цеглини. Тут вони протягом 8-10 г витримуються при температурі 40-70 °С. У зимовий же період час пропарювання слід збільшити.

Пропарювання може і не здійснюватися, якщо технологія передбачає витримку цегли-сирцю (прямо на піддонах) протягом 1 тижня при плюсовій температурі навколишнього середовища. Так виробники сухопресованих виробів значно економлять на технічному оснащенні.

По завершенні стадії пропарювання вироби обов'язково повинні «відстоятися» на піддонах при плюсовій температурі приблизно 3 дні. Потім цеглу або відправляють на склад для подальшого зберігання, або поставляються прямо на будівельний майданчик. Незважаючи на те, що блоки досягають своєї достатньої міцності тільки через 28 після виготовлення, вже зараз вони можуть застосовуватися за призначенням згідно зі стандартами ДСТУ.

Внаслідок високої собівартості традиційних сировинних матеріалів та значної трудомісткості наявних технологій обсяги виробництва бетонних блоків незначні, що зумовлює їхній дефіцит та підвищену вартість. Тому актуальною є проблема розробки та впровадження індустріальних технологій виготовлення недорогих та доступних бетонних блоків, вироблених на сучасному та ефективному обладнанні.

Для цього потрібне вивчення процесів формування виробів з сухопресованих сумішей у гідравлічних пресах, з метою визначення перспектив, меж застосування та раціональних параметрів процесів; розробка практичних рекомендації, методики та конструкції обладнання для і виготовлення дрібноштучних стінових виробів з активованих сировинних сумішей.

У статті [27] розглянуто важливе технологічне питання про вплив вологості і сировинної бетонної суміші на основі доломітового заповнювача при виробництві дрібноштучних виробів методом напівсухого пресування.

Наведено результати лабораторних досліджень впливу вологості зазначеної і сировинної суміші на густину засипки прес-форм преса, а також на зусилля і зсуву з пуансону отриманого після пресування сирцю.

Отже вологість підготовленої до формування суміші являється одним з впливових факторів процесу напівсухого пресування [28]. Її вплив на міцність досліджувалося шляхом формування зразків на лабораторному гідравлічному пресі в прес-формі з вікном розмірами 50x50 мм. Сировинна суміш готувалася на основі дрібнозернистого доломітового заповнювача розміром 0...10 мм. Маса засипки підбиралась такою (135 г), щоб висота зразка приблизно дорівнювалася половині розміру в плані (25 мм), як у цегли. Вміст цементу ПЦ-400 у суміші становив 10-15%, пресовий тиск варіювався від 10 до 30 МПа, вологість - від 6 до 16%. Міцність зразків визначалась роздавлюванням по одному на гідравлічному пресі після природного твердіння зразків у нормальних умовах протягом тижня й висушування в шафі. Вплив вологості (в інтервалі 6... 16%) на міцність в одній з серій проілюстрований на рисунку 1.2. Аналіз цих та інших даних [27] свідчить про існування трьох умовних зон впливу вологості на міцність зразків (рис. 1.1).

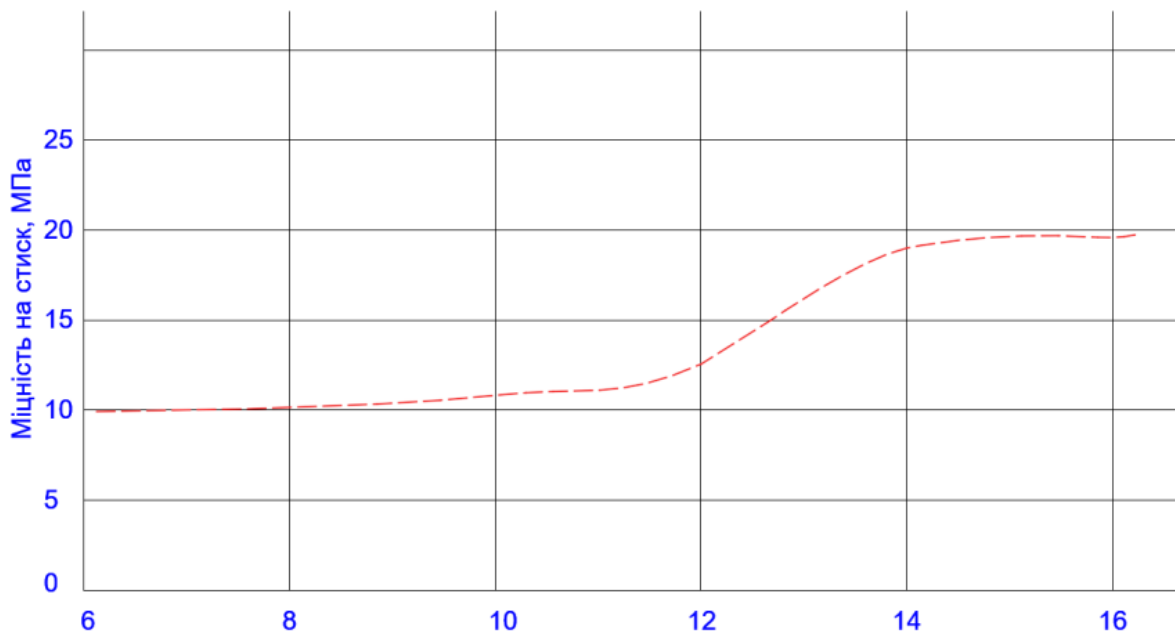


Рисунок 1.1 - Вплив вологості на міцність зразків.

У першій зоні, у границях вологості від 6-7% до 9-10%, міцність практично не залежить від вологості. Саме ця зона є робочою для переважної більшості виробників цегли. У другій зоні зростання вологості від 9-10% до 13...14% приводить до вагомого, практично двократного нарощування міцності.

Подальше нарощування вологості (до 16%) знову на міцність не впливає. Така картина розподілу є більш-менш типовою для різного вмісту цементу, варіюється тільки рівень міцності.

Автор дослідів [28] передбачає нарощування вологості дає змогу суттєво виграти в міцності або, відповідно, зменшити витрати цементу. Але треба мати на увазі, крім зазначеного позитивного впливу, ще й ряд негативних наслідків нарощування вологості. По-перше, нарощування вологості погіршує сипкість сировинної суміші, тому з'являються проблеми із засипанням прес-форм. Похибку об'ємного дозування звичайно вважають не меншою  $\pm 2\%$ . Дослідження [28] впливу вологості на густину й сталість маси засипки було виконано на спеціальному стенді. Стенд містить ящик, який імітує засипну каретку преса, і ємність розмірами 65x125x240 мм об'ємом 1950 см<sup>3</sup>, що імітує прес-форму.

Серія дослідів [27] дозволила орієнтовно оцінити указане зменшення міцності сирцю й зростання адгезії, рівень якої умовно оцінювався силою, достатньої для зрушення сирцю відносно нижнього пуансона. Для сирцю з бетону на доломітовому заповнювачі результати [27] проілюстровані на рисунок 1.2.

Треба зазначити, що міцність такого сирцю (крива 1) достатньо висока у порівнянні, наприклад, з сирцем силікатної цегли.

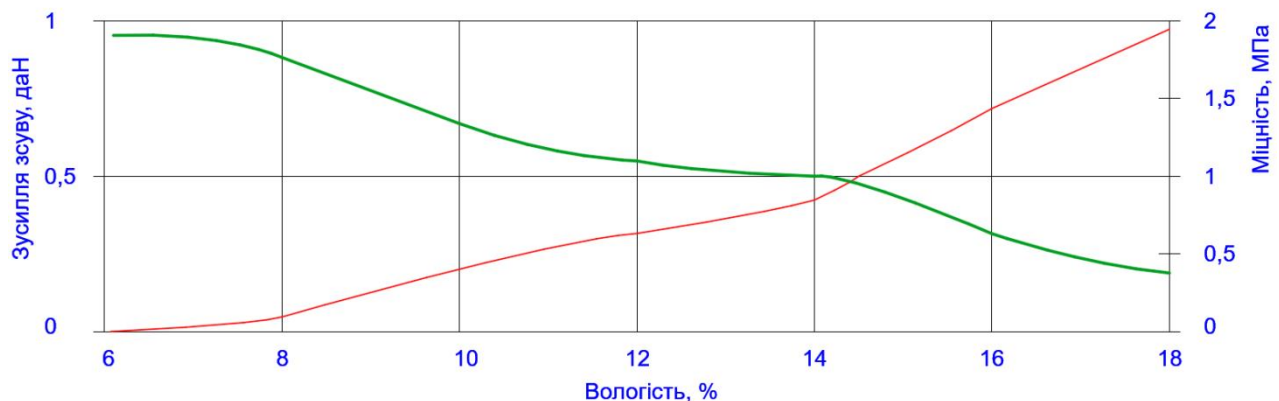


Рисунок 1.2 - Вплив вологості на міцність сирцю та зусилля зсуву. Крива 1 - міцність бетонного сирцю на доломітовому заповнювачу, крива 2 - міцність сирцю силікатної цегли.

Автори [28] констатували, що використання недостатньо зволжених сумішей органічно притаманне існуючому конструктивному оформленню методу напівсухого пресування після певної межі вологості організувати стабільний процес пресування стає неможливо. Висновки з даних досліджень та перспективи подальших досліджень. Для більш повного розкриття потенціалу цементу слід використовувати сировинні суміші такої максимально високої вологості, з якої ще можливо сформувавши бездефектний сирець, та для кожної конкретної сировинної суміші, запланованої до використання, на стадії регламентних випробувань треба визначити цю межу найвищої вологості, щоб процес напівсухого пресування ще залишався сталим.

На кафедрі промислового та цивільного будівництва Вінницького державного технічного університету досліджується можливість виробництва бетонних блоків на основі лужного зола карбонатного бетону методом 7; жорсткого пресування [29].

Лужний золакарбонатний бетон - це новий штучний камінь, утриманий на основі відходів каменерізання вапнярка-черепашника та ультракислих низько кальцієвих зол-виносу ДРЕС, використовуваних в якості заповнювачів та в'язучої речовини. Утворення штучного каменю забезпечується взаємодією скловидної алюмосилікатної речовини, дрібнодисперсних фракцій менш 14 мм карбонатних відходів каменерізання та розчинів їдкого натру за нормальних, гідротермальних умовах, чи в умовах сушки при температурі в межах 323-573 К°.

Під час проектування нового підприємства а також під час впровадження на існуючих цегельних заводах випуску золакарбонатних пустотних блоків методом жорсткого пресування дуже важливо об'єктивно оцінити та врахувати можливості пресового обладнання. Від цього будуть залежати не лише техніко-економічні показники роботи підприємства та якість виготовлюваної продукції, але й можливість керування структуроутворення бетону. Останнє відкриває



нові можливості в отриманні пресованого бетону с заданими фізико-механічними властивостями.

Структурування прес-сумішей відбувається у дві основні стадії - в момент ущільнення та тверднення в'язучої речовини. Результативність цих етапів є функцією рецептурно-технологічних факторів - складу, гранулометрії і г вологості золокорбонатної прес-суміші, витрат лужного компонента та і величини тиску пресування.

Отримати пресований лужний зола карбонатний бетон заданої міцності з мінімальними витратами лужного компоненту можливе шляхом оптимізації і структури та технологічних параметрів його виготовлення, з тією метою було і досліджено вплив складу, формовочної вологості прес-суміші та тиску пресування на міцність матеріалу.

Під час проведення досліджень використали відходи каменерізання вапняку-черепашника кар'єрів Вінницької області (родовище Джуринське-1) з насипною густиною  $1310-1370 \text{ кг/м}^3$  (фракція до 5 мм) та низькокальцієву золу-винос Ладжинської ДРЕС такого хімічного складу, % мас.: CaO 2,4...2,7; SiO<sub>2</sub> 57,8...60,0; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 22,8...25,4; MgO 1,7...2,0; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 7,9...8,6; S 0,1...0,13; TiO<sub>2</sub> 0,3...0,5; K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O 1,2... 1,5; впп 0,4... 1,0.

Під час проведення експериментів зразки пресованого золокарбонатного бетону виготовляли за такою технологією.

Під золокарбонатним цементом (ЗКЦ) розуміємо суміш не молотої золи-винос та дрібнодисперсних карбонатних відходів каменерізання (менш 0,14 мм), взятих в оптимальному співвідношенні зольної та карбонатної складової - 60/100 від загальної маси [30].

Суміш зола карбонатного цементу та заповнювачів перемішували насухо в лабораторному високо обертовому змішувачу 1-1,5 хвилини, потім вводили розчин лужного компоненту. Після 3,5 хвилин гомогенізації суміш землястої консистенції вивантажували в пресформу та пресували на гідравлічному пресі. Зразки набирали міцність в умовах сушки при 373 K° протягом 3-х годин та охолоджувались при 293 K° протягом 40 хвилин.

Склад дрібнозернистого бетону ВЧП/ЗКЦ (вапняково-черепашниковий-пісок/золокарбонатний цемент) змінювали від ВЧП/ЗКЦ=2,5 до ВЧП/ЗКЦ=3,5;

Формовочна вологість складала  $W_{\phi}=7-10\%$  : зразки формували під тиском пресування 5-40 МПа. Як лужний компонент використовували розчин їдкою натрію ( $\rho=1,3 \text{ г/см}^3$ ).

Під час вибору інтервалів варіювання була використана розроблена методика оперативного визначення оптимальних параметрів пресування [31].

$R_{ст}$ , МПа

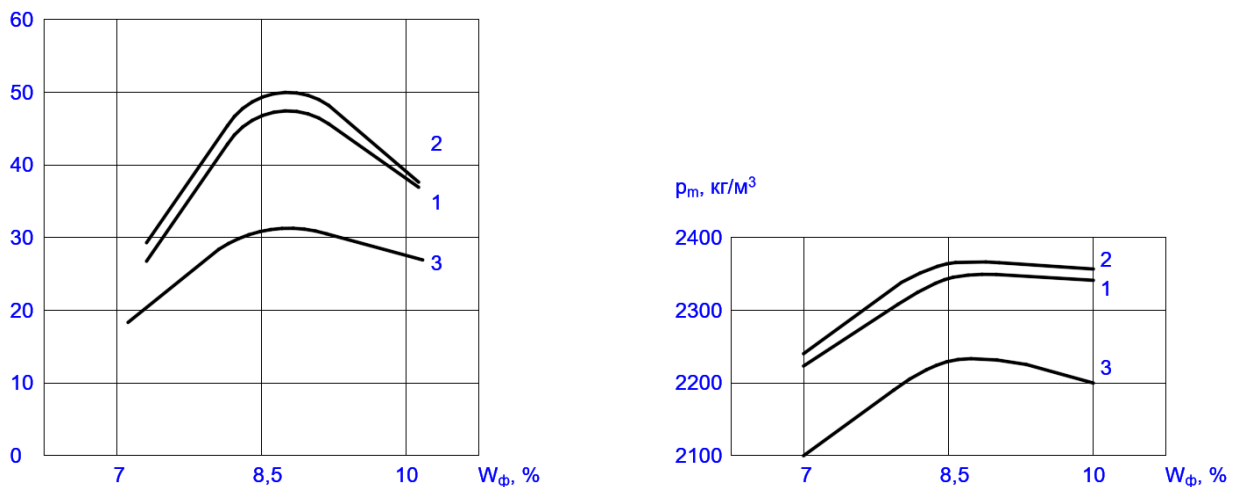


Рисунок 1.3 - Залежність міцності при стиску та середньої щільності золокарбонатного бетону від формовочної вологості та складу прес-суміші:

- 1 - вапняково-черепашниковий-пісок/золокарбонатний цемент = 3,5;
- 2 - вапняково-черепашниковий-пісок/золокарбонатний цемент = 3,0;
- 3 - вапняково-черепашниковий-пісок/золокарбонатний цемент = 3,5.

В результаті проведених досліджень [31] встановлено (рисунок 1.3), що максимальна міцність золокарбонатного бетону 51,8 МПа досягається, якщо співвідношення ВЧП/ЗКЦ=3 об'єм золокарбонатного цементу в насипному стані дорівнює об'єму пустот заповнювача, тобто

$$(ВЧП/ЗКЦ)_{опт} = \frac{\rho_{ВЧП}^H * 100\%}{\rho_{ЕКЦ}^H * П_{ВПЧ}}, \quad (1.5)$$

де  $\rho_{\text{ВЧП}}^{\text{H}}$ ,  $\rho_{\text{ЕКЦ}}^{\text{H}}$  - відповідна насипна густина вапняково-черепашникового піску та золюкарбонатного цементу,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\Pi_{\text{ВЧП}}$  - пустотність вапняково-черепашникового піску, %.

При цьому досягається найщільніша упаковка зерен прес суміші у наслідок чого під час формування запресовується мінімальний об'єм повітря, що сприяє отримання щільнішого та міцнішого матеріалу з оптимальною мікроб удовою.

Встановлено [31], що збільшення чи зменшення формовочної вологості прес-суміші відносно оптимального значення значно впливає на показники міцності матеріалу. Зокрема, міцність матеріалу, якщо оптимально формовочна вологість  $W_{\text{ф}}=8,5\%$  більша від міцності матеріалу, якщо  $W_{\text{ф}}=7\%$ , на 80-90% та на 25-30% більша, ніж міцність матеріалу, якщо  $W_{\text{ф}}=10\%$ . Цей факт пояснюється тим, що при оптимальній формовочній вологості досягається максимальне ущільнення прес-суміші і відповідно максимально середня густина пресованих виробів. Нестача води призводить до більшого зниження міцності ніж її надлишок, тому що вода вступає в ролі активного хімічного компонента, розчинника. Рідка фаза - тонкі плівки рідини навколо мінеральних дисперсних частинок - це те реакційно здатне середовище, де під дією лужних сполук відбуваються процеси структуроутворення в'язучого.

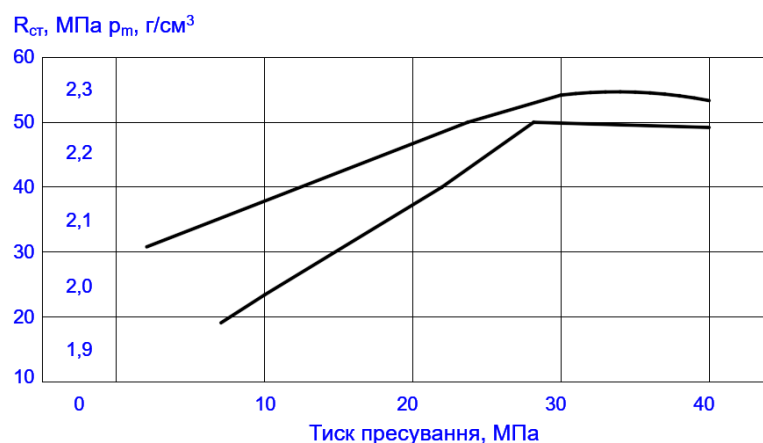


Рисунок 1.4 - Залежність міцності при стиску (1) та середньої щільності (2) лужного золюкарбонатного бетону від тиску пресування

Встановлено [29], що оптимальний критичний тиск пресування формовочної суміші складає 30 МПа. Збільшення величини тиску пресування : від 5-30 МПа приводить до прямо пропорційного збільшення міцності матеріалу від 16,7 МПа до 51,8МПа, тобто майже в 4 рази (рисунок 1.4). Це пов'язано з тим, що в процесі структуроутворення в умовах жорсткої зв'язаності структурних елементів матриці композиційного матеріалу та його капілярної пористості провідну роль відіграють процеси, що відбуваються на границях контактів фаз, а під час гідратації в'язучих - топонімічні процеси. Саме тому зі збільшенням тиску пресування і, відповідно, контактної площі поверхні між дисперсними частинками новоутворень, що в цілому значно підвищує активність та г реакційну здатність в'язучої композиції. Подальше збільшення величини тиску пресування до 40 МПа не призводить до збільшення міцності матеріалу, а навіть дещо знижує її, що пояснюється деструкцією зерен заповнювача.

Таким чином авторами статті [31] за рахунок оптимізації макробудови матеріалу та технологічних параметрів його виготовлення, створені передумови ефективного та раціонального використання лужного компонента, витрати якого можна отримати матеріал з широким діапазоном значень границі міцності при стиску.

Спорідненість технологій виготовлення керамічної цегли та пресованих порожнистих блоків на основі лужного золюкарбонатного бетону дає змогу впровадження їх виробництва на існуючих цегельних заводах напівсухого пресування, при чому з мінімальними капіталовкладеннями, що досить важливо, враховуючі сучасні економічні умови. До того ж, налагодження гнучкої технології, що передбачала б регулювання обсягів виробництва звичайної та без випалювальної цегли у залежності від попиту, наявності енергоносіїв, сировини тощо, сприяло б стабільності роботи підприємства в умовах ринку та конкурентної боротьби.

Розроблено склади стінових безвипалювальних матеріалів на основі малопластичних глин методом напівсухого пресування і пресування на

верстатах забезпечують високий тиск пресування. [26] Було досліджено вплив, різних тисків пресування на фізико-хімічні процеси структуроутворення та властивості безвипалювальної цегли. Про роль цих факторів можна судити по сирцевої міцності для чого варіювалося тиск пресування: від 20 до 100 МПа і досліджувалася сирцевої міцність чисто глиняних і цементно-глиняних зразків, (таблиця 1.2).

Таблиця 1.2 - Вплив тиску пресування на сирцевої міцність

Склад, %			Показники	Час, хвилини				
Цемент	Глина	Пісок		5	30	60	180	360
-	100	-	Середня щільність, кг/м <sup>3</sup>	2070	2070	2065	2060	2040
			Межа міцності на стиск, МПа	1,4	1,9	2,0	2,1	4,1
14	86	-	Середня щільність, кг/м <sup>3</sup>	1980	1950	1910	1980	1980
			Межа міцності на стиск, МПа	1,26	1,67	2,59	5,26	5,03
14	66	20	Середня щільність, кг/м <sup>3</sup>	2150	2150	2150	2140	2220
			Межа міцності на стиск, МПа	0,4	0,43	0,64	0,81	1,01
14	46	40	Середня щільність, кг/м <sup>3</sup>	2220	2190	2090	2120	2190
			Межа міцності на стиск, МПа	0,51	0,98	0,59	0,78	1,92

Як показали результати досліджень [26], миттєва сирцева міцність зразків, придбана в період пресування, в основному обумовлюється коагуляційно-точечними контактами, незалежно від присутності цементу. При цьому слід зазначити, що зростання сирцевої міцності пов'язане не з простим ущільненням, а зі збільшенням числа точечних контактів.

Крім сирцевої міцності була визначена кінетика набору сирцевої міцності в перші терміни твердіння від 5 до 360 хвилин, тобто в період термінів схоплювання цементу, воно зросла з 1,26 МПа до 5,2 МПа т. е. більш ніж в чотири рази. (таблиця 1.2).

Таблиця 1.3 - Кінетика набору міцності в початкові строки

Склад	Показники	Тиск пресування, МПа				
		20	40	60	80	100
Глина (100%)	Межа міцності на стиск, МПа	1,70	2,79	3,42	4,38	4,38
	Середня щільність, кг/м <sup>3</sup>	2010	2120	2210	2260	2270
	$p_{...}/p_{20}$ , %	100	105,5	110	112	113
Глина (86%) Цемент (14%)	Межа міцності на стиск, МПа	1,67	3,21	3,60	4,32	4,67
	Середня щільність, кг/м <sup>3</sup>	2140	2130	2130	2170	2250
	$p_{...}/p_{20}$ , %	100	100	100	101,9	105,6

За результатами таблиці 1.3 можна зробити висновок: роль цементу в утворенні фазових контактів починає позначатися згодом, а саме цементно-глиняні зразки набирають таку ж міцність за 60 хвилин, тоді, як чисто глиняні зразки за 180. При цьому зростання міцності в чисто глиняних зразках відбувається з часом за рахунок капілярних сил, в той час як в цементно-глиняних зразках за рахунок капілярних і фазово-контактних (хімічних сил). Дослідження [26] наступних процесів структуроутворення в віці 28 діб і проводились при витратах цементу від 14 до 20%, глини 80-86% і тиску пресування від 20 до 60 МПа, з кроком 20МПа (таблиця 1.4).

Таблиця 1.4 - Вплив складу заповнювача і тиску пресування на міцність зразків.

Склад заповнювачей, % по масі		$R_{\text{сух}}/ R_{\text{нас}}$ , у віці 28 діб в залежності від тиску пресування, МПа				
Глина	Пісок	20	40	60	80	100
100	-	$\frac{24,9}{10,2}$	$\frac{28,3}{14,6}$	$\frac{31,8}{15,5}$	$\frac{36,5}{15,9}$	$\frac{37,1}{15,3}$
80	20	$\frac{24,6}{10,7}$	$\frac{28,1}{13,4}$	$\frac{32,8}{14,6}$	$\frac{35,3}{15,0}$	$\frac{35,6}{15,5}$
60	40	$\frac{19,0}{9,1}$	$\frac{26,3}{12,6}$	$\frac{26,5}{15,9}$	$\frac{27,2}{16,3}$	$\frac{30,0}{17,3}$
40	60	$\frac{16,3}{8,4}$	$\frac{22,3}{11,5}$	$\frac{23,7}{13,3}$	$\frac{26,1}{14,5}$	$\frac{27,6}{14,8}$
20	80	$\frac{14,5}{7,4}$	$\frac{17,5}{9,8}$	$\frac{20,0}{11,3}$	$\frac{23,6}{13,3}$	$\frac{26,1}{13,9}$
-	100	$\frac{10,1}{5,8}$	$\frac{10,8}{7,4}$	$\frac{10,6}{9,2}$	$\frac{14,7}{10,3}$	$\frac{15,4}{10,0}$

З огляду на, що водостійкість матеріалу обумовлена фазовими і незворотними контактами, слід зазначити: водостійкість досліджуваних зразків, починаючи від тиску пресування 40 МПа практично мало залежить від тиску пресування, отже, в основному буде залежати від витрати цементу [26]. (таблиці 1.5; 1.6).

Таблиця 1.5 - Вплив витрати цементу і ГЖК-11 на міцність зразків у віці 7 діб

Витрати цементу	$M_{\text{сух}}$ , гр	Щільність сухого, $\text{кг/м}^3$	$R_{\text{стисл.}}^{\text{сух}}$ , МПа	$R_{\text{стисл.}}^{\text{нас}}$ , МПа	$K_{\text{разм}}$	W%
ГЖК-11 0,1% від маси цементу						
14	273	2076	13,8	7,4	0,55	8,6
	302	2150	14,2	7,9		
	294	2090	13,1	7,3		
16	279	2100	15,1	11,0	0,69	8,4
	284	2120	14,6	11,5		
	280	2100	15,8	10,9		
18	285	2188	14,4	9,6	0,74	8,9
	284	2160	16,1	9,3		
	275	2110	16,4	9,9		
20	270	2076	13,8	8,7	0,64	8,4
	275	2130	15,6	10,5		
	295	2180	16,3	9,8		

Таблиця 1.6 - Вплив витрат цементу и ГЖК на міцність зразків у віці 28 діб.

Витрати цементу	Середня щільність, $\text{кг/м}^3$	Міцність при Стиску, МПа	Водостійкість, $K_{\text{разм}}$	Водопоглинання По масі, %
14	1910	27,8	0,625	7,1
16	1960	29,9	0,7	7,3
18	1975	34,8	0,6	7,3
20	1970	37,0	0,6	7,9

Для підвищення коефіцієнта розм'якшення в цементно-глиняний склад вводили кремнійорганічну рідина ГЖК-11.

Виходячи з отриманих результатів, рекомендованим складом є склад з витратою цементу 16% і витратою ГЖК-11 0,1% від маси цементу, при цьому



W водопоглинання становить 8,4%,  $K_{\text{разм}} 0,69$ , що можна порівняти з водостійкістю силікатної цегли.

Таким чином, теоретично обґрунтовано [26] та експериментально підтверджено перевагу застосування високого тиску перед напівсухим пресуванням, що прикладається зовнішнє високе пресуючий тиск збільшує сирцевої міцність цементного каменю, впливає на кінетику фізико-механічних процесів, що відбуваються при твердінні, покращуючи фізико-механічні та гідрофізичні характеристики безвипалювальної цегли, внаслідок значного зниження макропор за рахунок віджимання повітря. Матеріали, отримані з використанням високого тиску пресування, дозволяють уникнути витрат на термічну і тепловологісну обробку, що дозволяє забезпечити раціональний підбір обладнання при організації промислового виробництва.

#### **1.4 Аналіз технологічного обладнання для виробництва сухопресованих безвипалювальних стінових виробів.**

Устаткування для виробництва цегли сухопресованої не схоже на те, що використовується для отримання тих же керамічних блоків. А відповідно, і технічні характеристики, і зовнішній вигляд готових виробів будуть відрізнятися.

Технологія виробництва сухопресованої цегли - інноваційний метод виготовлення матеріалу без випалу і складної підготовки сировинної суміші. А і адже саме на стадії випалу при недотриманні певних правил у виробках можуть утворюватися порожнечі, які негативно позначаються на якості і довговічності продукції.

Технологія отримання сухопресованої цегли починається з підготовки сировинної суміші на виробництві, а саме - починається з дозування і змішування компонентів. За чинними стандартами для отримання пластичної маси всі компоненти повинні бути суворо дозовані відповідно до рецептури. Для цього використовуються ваги з допустимою похибкою вимірювань  $\pm 0,5\%$ .

Далі дозована суміш для пресування на конвеєрах надходить в бункер, де відбувається дроблення, ретельне перемішування всіх компонентів і їх активація. Сюди подається необхідне по рецептурі кількість води. Це відбувається завдяки напівавтоматичному дозатору, що розміщується на рампі та керується оператором.

Формування виробів - основний і найважливіший етап всього технологічного ланцюжка [32]. Саме зараз вироби набувають свою геометричну форму і властиві їм характеристики. Пресові верстати для пресованої цегли працюють за принципом так званої холодного зварювання, коли дрібні фракції речовин зчіплюються між собою за допомогою впливу на суміш високого тиску. Пресування одного цегли триває від 8 до 20 с, в залежності від циклу роботи верстата та типу одержуваного виробу. Це може бути вертикальне, нижнє або одночасно верхнє та нижнє пресування. Після повного змикання прес-форми іноді роблять підпресування. Цей прийом пресування проводиться для того, щоб полегшити видалення газів, що виділяються з прес-матеріалу при пресуванні під впливом тепла і тиску. При підпресуванні пуансон піднімається з прес-форми на деяку висоту або відразу, або через деякий час після змикання форми, але не пізніше, ніж через 10 сек. Це раннє підпресування, яке застосовується для матеріалів відносно швидко пресуються. Існує також пізнє підпресування, яка здійснюється через 10-30 сек після замикання форми. По висоті підйому пуансона розрізняють високе (10-30 мм) і низьке (5-10 мм) підпресування. Високе підпресування здійснюють при збільшенні вологості прес-матеріалу. Число підпресування і їх висота регламентуються [32].

Устаткування для виробництва гіперпресованої цегли різних марок і відрізняється своєю потужністю, ступенем автоматизації і комплектацією. Всі додаткові опції, звичайно, позначаються на кінцевій ціні апаратів. Наприклад, багато сучасних пресових верстатів призначені для отримання не тільки цегли, але й інших видів продукції - тротуарної плитки та облицювальної декоративного каменю.

Продуктивність сучасних ліній варіюється в межах 350-4500 тис. цегли / ч. Високопотужні, повністю автоматизовані технологічні лінії включають в себе два і більше пресів. Але оснащувати такою кількістю обладнання міні-завод не має ніякого сенсу - витрати будуть економічно не виправдані. Ось чому багато виробників на початкових етапах закупають лінії з мінімальною комплектацією.



Рисунок 1.5 - Працююча лінія виробництва

Лінія з середньою потужністю по виробництву сухопресованої цегли включає в себе наступний набір обладнання:

- приймальні бункери для сировини
- дробарка
- дозатори для води, відсіву та цементу
- бункери для підготовки сировини
- вібрсито

- змішувач
- верстат для пресування
- пропарювальна камера
- конвеєри

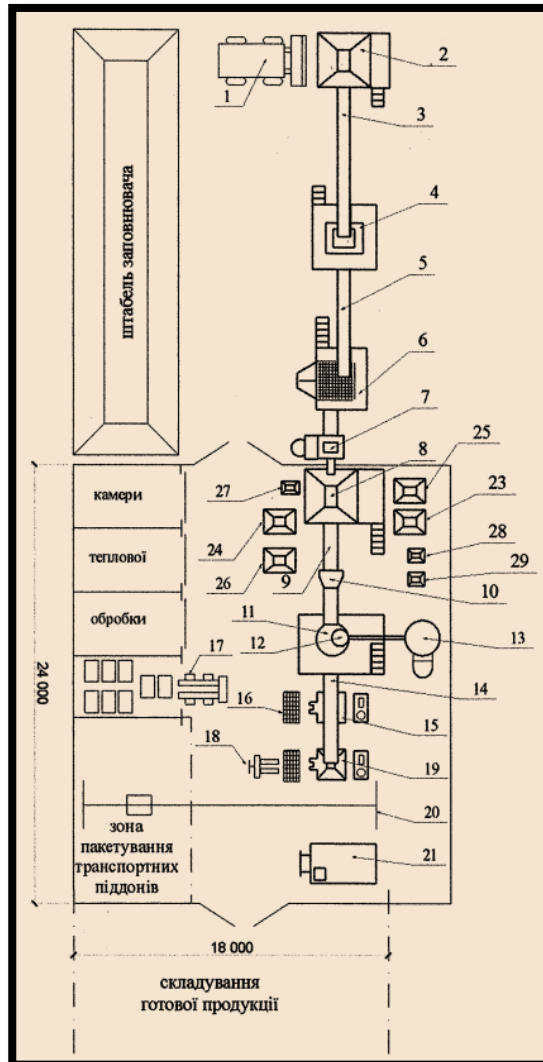


Рисунок 1.6 - Схема технології виготовлення ефективних сухопресованих стінових виробів.

1. Навантажувач ковшовий; 2. Бункер приймальний; 3. Конвеєр стрічковий; 4. Дробарка молоткова; 5. Конвеєр стрічковий; 6. Грохот; 7. Елеватор стрічковий; 8. Бункер видатковий; 9. Конвеєр стрічковий; 10. Дозатор заповнювач; 11. Бетонозмішувач; 12. Дозатор цементу; 13. Склад цементу; 14. Конвеєр стрічковий; 15. Скидач плужковий; 16. Піддон технологічний; 17. Штабелер; 18. Візок ручний; 19. Установа формування: прес, гідроагрегат,

шафа управління; 20. Кран мостовий; 21. Бак для води; 22. Конвеєр стрічковий; 23. Бункер ЗВ ТЕС; 24. Бункер шлакової пемзи; 25. Бункер топливної золи; 26. Бункер супесі; 28. Бункер "Релаксолу Темп"; 29. Бункер "Релаксолу Супер".

Сучасні верстати для отримання сухопресованої цегли дуже часто поставляються з Китаю і Європи. Попитом користуються також верстати вітчизняних марок - вони коштують дешевше, а їхнє технічне обслуговування здійснювати набагато простіше. Для зниження витрат на відкриття підприємства багато виробників купують колишні експлуатовані лінії. Якщо апарати мають необхідні сертифікати і технічно справні, то це жодним чином не позначається на якості готової продукції.

Все більш популярною останнім часом стає ідея активації речовин, з метою зміни їх властивостей для використання в різних сферах виробництва і науки [33]. Багато інформації в науково-технічних джерелах присвячено технології і машинам для активації в'язучих речовин.

Значно менше прикладів реалізації активації суміші кінцевої вологості разом з заповнювачем. Така активація дозволяє вирішувати багато проблем, що впливають на якість товарних виробів чи матеріалів: якісне змішування компонентів, активація заповнювача з досягненням більш ефективної його форми, поточне корегування гранулометричного складу тощо.

На кафедрі механізації будівельних процесів харківського національного Університету будівництва та архітектури (ХНУБА) розроблено конструкцію 1 барабанно-валкової машини (рисунок 1.7), яку запропоновано застосовувати як активатор будівельних сумішей [34]. Процес переробки - багаторазове циклічне ущільнення розпушення суміші - дозволяє суттєво вплинути на її властивості, що можна використати у виробництві дрібноштучних будівельних

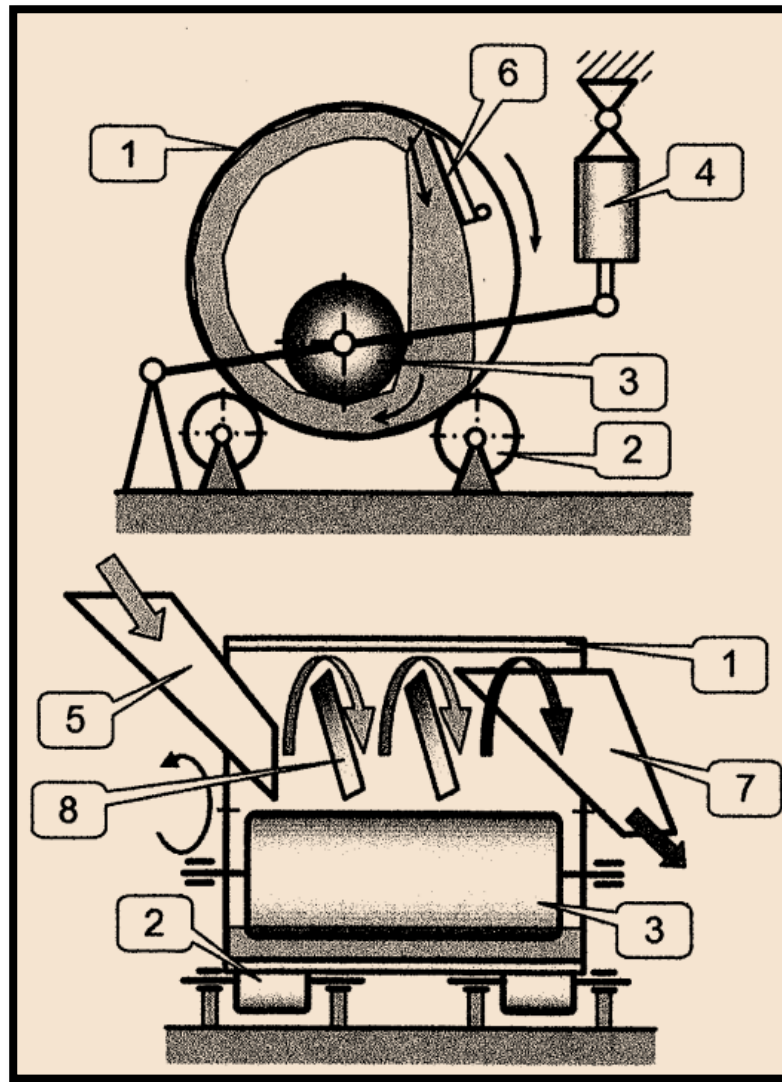


Рисунок 1.7 - Схема барабанно-валкового активатора безперервної дії: 1 – барабан; 2 – ролики; 3 – валок; 4 – пристрій для притискання валка до внутрішньої поверхні барабана; 5 – завантажувальний лоток; 6 – ніж; 7 – розвантажувальний лоток; 8 – напрямний елемент для регулювання осьового переміщення матеріалу.

Між поняттями «подрібнення» і «механічна активація» потрібно провести межу. Подрібнювання проводять з метою одержання максимальної поверхні порошку за мінімальних витрат енергії, а активацію - з метою накопичення енергії у вигляді дефектів чи інших змін у твердій речовині, що дозволяють знизити енергію активації її наступного хімічного перетворення чи поліпшити умови для протікання процесу. Фактори, що впливають на формування поля напружень, і основні шляхи релаксації розглянуто В.В. Болдеревим.

Формитзапасання енергії при механічній активації можуть бути різними. Звичайно вони зводяться до утворення у кристалах, що активуються, дефектів.

Часто результатом механічної обробки є пластична деформація і пов'язане з нею утворення лінійних дефектів - дислокацій, іонних і атомних вакансій, Міжвузлових іонів. Крім того, кути між зв'язками можуть змінюватися, а також можуть з'являтися обірвані зв'язки, що у ковалентних кристалах приводять до утворення вільних радикалів, а в молекулярних - до аморфізації [33].

Колективом дослідників [33] з ХНУБА, за участю О.Ю. Крота, запропоновано нову форму математичного описання компресійної кривої (рис 1.9):

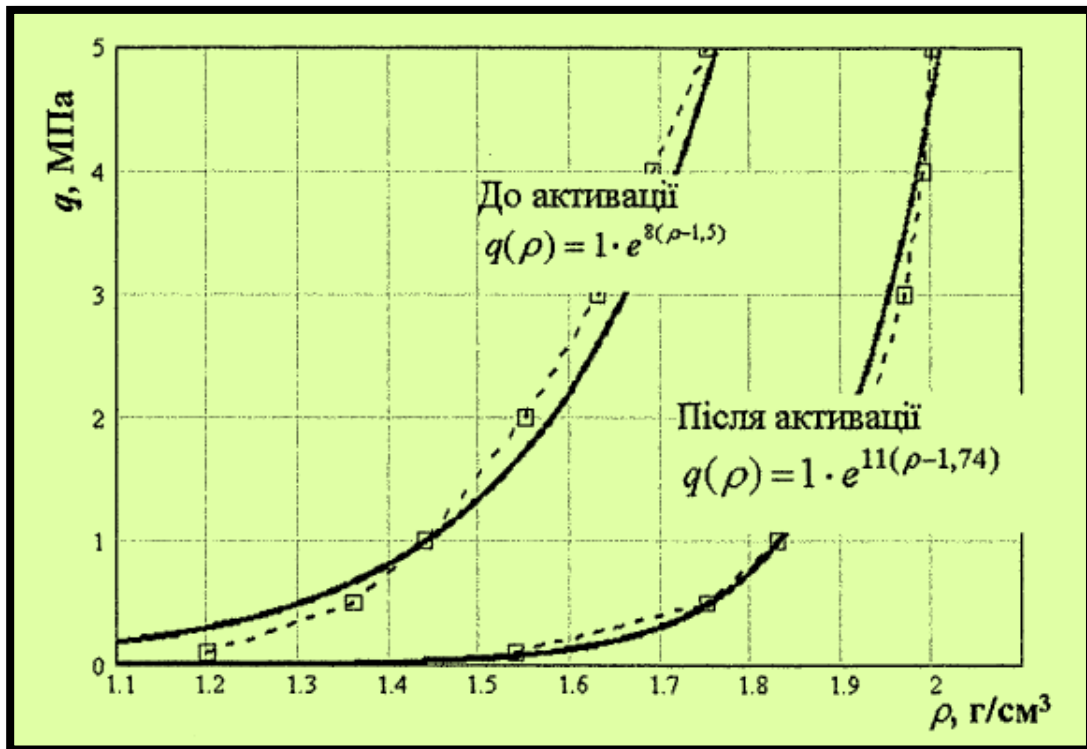


Рисунок 1.8 - Компресійна крива: вплив тиску на властивості сухопресованих стінових виробів.

$q_1 = q_0 * e^{b(\rho-\rho_0)}$ , де  $q_1$ ,  $q_0$  - поточний тиск пресування та базовий тиск, МПа;

$b$  - коефіцієнт, що характеризує здатність суміші ущільнюватись;  $\rho$ ,  $\rho_0$  - густина суміші за тиску  $q$  та базового тиску  $q_0$ , г/см<sup>3</sup>.

Із трьох показників, що входять до математичного опису, два (базові тиск і густина -  $q_0, \rho_0$ ) є реальними фізичними величинами, які визначають експериментально. Тільки коефіцієнт  $b$  є емпіричним. Необхідно мати мінімум дві точки - базову ( $q_0, \rho_0$ ) та максимального тиску ( $q_{max}, \rho_{max}$ ). Коефіцієнт  $b$  можна розрахувати за формулою:

$$b = \frac{\ln\left(\frac{q_{max}}{q_0}\right)}{\rho_{max} - \rho_0} \quad (1.6)$$

Компресійні криві пропонується застосовувати як для моделювання процесів пресування виробів, так і для процесів переробки сумішей у валкових машинах. Аналіз різних компресійних кривих [33] дозволив виявити, що: - властивості сировинної суміші значною мірою впливають на коливання тиску, наприклад, сталість рівня при формуванні силікатної суміші у півтора рази вища, ніж при формуванні цегли з активованої шлакоцементної суміші; активація суміші суттєво знижує рівень потрібного пресового тиску, що відповідно відбивається на багатьох пунктах собівартості;

- об'ємне дозування здатне забезпечити стабільність маси засипки у пресформу на рівні  $\pm 2\%$ , що відповідає стабільності тиску при механічному пресуванні на рівні  $\pm(20-22)\%$  для силікатної суміші, що, судячи з практики, є : припустимим, але веде до суттєвої нестабільності якості готової цегли, а отже, до суттєвих витрат в'язучого (вапна); через це зниження нестабільності маси засипки (як і підвищення стабільності пресового тиску) є дуже перспективним ! напрямком зниження собівартості;

- механоактивація суміші перед пресуванням веде до суттєвої зміни форми І компресійної кривої у напрямку збільшення її положистості, в результаті чого І суттєво збільшується стабільність пресового тиску та стабільність якості цегли;

- цементнопіщані суміші без механоактивації при механічному пресуванні [забезпечують незадовільну стабільність пресового тиску ( $\pm 40\%$ ),



що робить їх [Непридатними для застосування у виробництві дрібноштучних виробів, а після механоактивації цих сумішей стабільність пресового тиску є цілком Достатньою;

- нестабільність маси засипки може бути результатом не тільки несталості властивостей суміші, але й наслідком недосконалості механізму пресування (наприклад, накопичення залишків суміші на пресовому поршні при застосуванні револьверного преса); через це (через нестабільність суміші та недосконалість механізму) сумарна нестабільність пресового тиску може досягати 500 %; тому перспективною є розробка пристрою, здатного зменшити вказаний недолік механізму; - суттєвий внесок у стабільність пресового тиску робить пружність ланок механізму, що є позитивним для стабільності марочності виробів, але негативно відбивається на стабільності висоти виробу та довговічності елементів механізму преса; через це перспективним може бути застосування додаткової ланки (стабілізатора) з керованою пружністю, що забезпечила б додаткову стабілізацію пресового тиску.

- результати досліджень [33] були зроблені висновки в наступних напрямках:

- в результаті переробки в механічних активаторах здатними до формування стають суміші, які без активації застосовувати неможливо, але вимоги до стабільності режиму пресування у цих сумішей є дуже високими;

- стало технологічно обрентованим поєднання достоїнства пресів із гідравлічним приводом (стабільність тиску пресування) і пресів із механічним приводом (велика питома продуктивність, невелика ціна), що дозволяє впровадження пружної ланки у силове замикання механічного привода.

- розроблено та впроваджено у виробництво пневматичний стабілізатор пресового тиску;

- запропоновано модель, що пов'язує процеси напівсухого пресування і засипки при використанні пневмопідпресування й дозволяє оцінювати вплив

і властивостей сумішей та параметрів пневмопідпресування на пресовий тиск. Використання запропонованої моделі дає змогу за результатами регламентних випробувань призначати конструктивні і режимні параметри пресів напівсухого пресування із пневмопідпресовником для виробництва дрібноштучних стінових виробів;

- із використанням моделі підтверджено ефект самостабілізації пресового тиску при використанні пневмопідпресування для деяких сумішей;

- розроблено методику вибору раціонального тиску пневмопідпресування і визначення його основних параметрів.

- застосування підпресування розширює галузь використання револьверних пресів для формування нових видів продукції, насамперед цегли на гідравлічному в'язучому (цементна та шлакоцементна цегла, вироби на безцементних активованих сумішах);

- запропоновано конструкцію підпресовника для використання у пресах при формуванні активованих сумішей на основі цементного в'язучого;

- підтверджено, що позитивний ефект від механічної активації у валкових активаторах полягає не тільки у підвищенні міцності (або відповідному зниженні витрат цементу), а й у можливості істотного зменшення пресового тиску до рівня 10-20 МПа. Це дозволяє суттєво зменшити металоємність і вартість таких пресів, знизити зношування лицевальних пластин пресформ, зменшивши собівартість;

- підтверджено ефект самостабілізації міцності цегли при варіації інтенсивності обробки суміші в активаторі;

- розроблено та експериментально перевірено модель напівсухого пресування механічно активованих будівельних сумішей з урахуванням параметрів активації суміші та пневмопідпресування перед пресуванням. Модель дає змогу за результатами регламентних випробувань призначати конструктивні і режимні параметри пресів напівсухого пресування із пневмопідпресовником для виробництва цегли;

- проаналізовано вплив тривалості переробки суміші в активаторі та параметрів підпресування на режимні параметри преса;
- запропоновано пристрій у вигляді щілинного сопла для очищення пластин штампів від матеріалу, що насипається на них, спричиняючи нестабільність якості виробів;
- аналітично визначено діапазон швидкості повітря, який є необхідним для Функціонування пристрою;
- змодельоване варіанти введення повітря з різним тиском у різні системи живильних труб щілинного сопла;
- змодельовано різні варіанти розташування щілинного сопла відносно очищуваної поверхні. Як критерій ефективності запропоновано «інтегральну» швидкість повітря на висоті 1мм на довжині 120 мм. Визначено оптимальне ; положення сопла відносно очищуваної поверхні;
- доведено, що для очищування може бути застосоване повітря з тиском, значно меншим, ніж у цеховій магістралі силікатного заводу. Наприклад, можливе застосування вентиляторів високого тиску (замість компресорів), що ' суттєво здешевлює процес очищення;
- запропоновано пристрій запобігання зависанню пресових штампів для ! револьверного преса для активованих сумішей.

## РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1 Характеристика сухопресованих стінових виробів

Вироби бетонні стінові дрібно штучні за ДСТУ Б В.2.7-7:2008 поділяють безцементні бетонні цеглу та камені стінові (далі - камені) повнотілі та порожнисті, рядові та лицьові, виготовлені способом лиття, пресування, вібропресування або віброущільнення композиційної зволоженої суміші з Доменного гранульованого шлаку, відходів ТЕЦ, вапняних або гіпсових матеріалів, обробленої в перемішувачі-активаторі роторного типу, які тверднуть в природних умовах або при тепловологісній обробці.

Вироби застосовують відповідно до будівельних норм та правил для несучих і огорожувальних конструкцій житлових, громадських, промислових і сільськогосподарських будівель, в основному при малоповерховому будівництві [35].

Технічні характеристики цегли та стінових каменів контролюють після досягнення виробом проектної марки відповідно до вимог таких стандартів:

- границю міцності при стиску та вигині - згідно з ГОСТ 8462 Будівельні матеріали. Матеріали стінові. Методи визначення меж міцності при стисненні і вигині;
- морозостійкість - згідно з ДСТУ Б В.2.7-49 (ГОСТ 10060.2-95) Будівельні матеріали. Бетони. Прискорені методи визначення морозостійкості при багаторазовому заморожуванні та відтаванні;
- водопоглинання - згідно з ДСТУ Б В.2.7-170 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинання, пористості і водонепроникності;
- середню густину - згідно з ДСТУ Б В.2.7-170 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинання, пористості і водонепроникності.;

- теплопровідність - згідно з ДСТУ Б В.2.7-105 (ГОСТ 7076-99) Будівельні матеріали. Матеріали і вироби будівельні. Метод визначення теплопровідності і термічного опору при стаціонарному тепловому режимі.

- масу визначають зважуванням із похибкою  $\pm 25$  г.

Товщина зовнішніх стінок порожнистих виробів повинна бути не менше 20 [мм, горизонтальної діафрагми в найбільш тонкій частині - не менше 10 мм.

Товщина зовнішніх стінок порожнистих блоків із рельєфною поверхнею в Найбільш тонкій частині (в тому числі під найбільш глибокою западиною рельєфу) повинна бути не менше 20 мм. Допустимі граничні відхилення від товщини зовнішніх стінок і діафрагми не повинні бути більше +3 мм.

Маса однієї повнотілої цегли не повинна перевищувати 3,6 кг, повнотілої стовщеної цегли 6 кг, каменя цілого 28,0 кг.

Класифікують стінові вироби відповідно затвердженим стандартам ДСТУ Б В.2.7-7:2008 та залежно від розмірів поділяють на типи:

СЦО - цегла одинарна;

СЦП - цегла потовщена;

СК - камінь;

СБ - блок.

За призначенням вироби поділяють на групи:

Р - рядові;

Лг - лицьові з двома гладкими лицьовими гранями;

Лрт - лицьові з однією рельєфною торцевою лицьовою гранню;

Лрб - лицьові з однією рельєфною боковою лицьовою гранню;

Лр - лицьові з однією рельєфною торцевою та однією рельєфною боковою лицьовими гранями.

Залежно від наявності порожнин вироби поділяють на підтипи:

Пт - повнотілі;

Пр - порожнисті з горизонтальною діафрагмою;

При - порожнисті з наскрізними порожнинами.

Залежно від використаного в'язучого вироби поділяють на види:

Ц - на цементному в'язучому;

Г - на гіпсовому в'язучому.

Форма і розміри виробів, а також форма, розміщення та розміри порожнин порожнистих виробів наведені в додатках А, Б, В ДСТУ Б В.2.7-7:2008. Також може бути виконане замовлення споживача на виготовлення виробів іншої форми (лекальні, фасонні тощо) та інших розмірів, що відповідають вимогам модульної координації розмірів у будівництві, за умови дотримання всіх інших вимог цього стандарту.

Згідно нормативним дійсним стандартам номінальні розміри виробів і допустимі відхилення повинні відповідати наведеним у таблиця 2.7 [37].

Таблиця 2.1 Номінальні розміри виробів і допустимі відхилення

Тип виробів	Довжина	Ширина	Висота	Допустимі граничні відхилення, мм		
				по довжині	по ширині	по висоті
Цегла одинарна СЦО	250	120	65	±3	±2	±2
Цегла потовщена СЦП	250	120	88	±3	±2	±2
Камінь СК	250	120	138	±3	±2	±3
Блок СБ	390	300	188	±4	±3	±4
	390	200	188	±4	±3	±4
	390	190	188	±4	±3	±4
	390	90	188	±4	±2	±4
	590	90	188	±4	±2	±4
	290	300	188	±3	±3	±4
	290	350	188	±3	±3	±4
	290	400	188	±3	±3	±4
	140	300	188	±3	±3	±4
	140	350	188	±3	±3	±4
	140	400	188	±3	±3	±4

За середньою густиною вироби у сухому стані поділяють на легкі - [густиною до 1400 кг/м<sup>3</sup> включно, полегшені - густиною понад 1400 кг/м<sup>3</sup> до і 1650 кг/м<sup>3</sup> включно, важкі - густиною понад 1650 кг/м<sup>3</sup>].

Середня густина потовщеної цегли, порожнистих каменів і блоків не [повинна перевищувати 1650 кг/м<sup>3</sup>, а одинарної цегли, повнотілих каменів і блоків - 2200 кг/м<sup>3</sup>.

За міцністю при стиску виробу поділяють на марки: М200, М150, М125, М100, М75, М50, М35, М25, М15, М10.

Цегла, блоки повинні мати марку не нижче М75; лицьова цегла - не нижче М100.

Границі міцності при стиску виробів (без урахування площі пустот), а також повинна відповідати вимогам та бути не менше величин, зазначених у даних згідно з ДСТУ Б В.2.7-7:2008 таблицях.

За морозостійкістю цеглу та камені поділяють на марки: F50, F35, F25, F15.

Морозостійкість перегородкових каменів та каменів на гіпсовому в'язучому не регламентується.

Лицьові камені можуть бути із незабарвленими та забарвленими лицьовими поверхнями з маркою за міцністю при стиску не менше М75, за морозостійкістю - не менше F25.

При виготовленні виробів досягається оптимальна витрата вихідних матеріалів внаслідок раціональної порожнистості виробів, використання напівсухих сумішей з мінімальним водоцементним відношенням, що дозволяє максимально використовувати тепловиділення твердіючого матеріалу (як правило, обходиться без витрат тепла на термообробку) і отримувати високі фізико-механічні властивості готового виробу.

Топовими характеристиками заповнювачів і наповнювачів, що визначають їх вплив на технологічні та будівельно-технічні властивості СС є зерновий склад, граничний розмір часток, форма і характер поверхні зерен, міжзернова пустотність і водопотреба. Важливе значення мають також мінералогічний склад, наявність пилоподібних і глинистих часток, вміст глини в грудках і присутність різних домішок.

Вапняно-шлакову цеглу (ДСТУ Б В. 2.7-36-95) виготовляють із суміші вапна і гранульованого металургійного шлаку. Кількість вапна у суміші зі об'ємом становить 3... 12%, а шлаку - 88... 97%.

Замінюючи шлак золою ТЕС чи ДРЕС, виготовляють вапняно-золяну цеглу. Склад формувальної суміші у цьому випадку за об'ємом: вапна 20...25% і золи 75...80%.

Для виготовлення вапняно-шлакової цегли застосовують таке саме технологічне обладнання, що і для виробництва силікатної цегли.

Середня густина шлакової і золяної цегли становить 1400... 1600 кг/м<sup>3</sup>, теплопровідність - 0,5...0,6 Вт/(м·К). За міцністю при стиску така цегла (поділяється на три марки: 25, 50 та 75. За морозостійкістю вапняно-шлакова цегла не поступається силікатній, а морозостійкість вапняно-золяної дещо є нижчою.

Вапняно-шлакову і вапняно-золяну цеглу використовують при зведенні стін будинків висотою не більш трьох поверхів та для мурування стін верхніх поверхів багатоповерхових будинків [35].

## **2.2 Методика оцінки властивостей сировинних матеріалів для виготовлення штучних стінових виробів**

Використання бетонів різних видів для отримання дрібноштучних виробів (каменів і блоків) - вельми перспективний шлях отримання стінових матеріалів з різними властивостями. Цьому сприяє висока технологічність самого бетону. Для налагодження виробництва стінових каменів і дрібних блоків потрібно в порівнянні з іншими матеріалами невеликі капіталовкладення. Виробництво таких каменів може бути організовано не тільки на будь-якому заводі будматеріалів, але навіть безпосередньо на місці будівництва. Останні особливо цінно для індивідуальних забудовників. З іншого боку, стінові камені і блоки з малою середньою щільністю (менш 800 кг



I мЗ) використовуються в багатоповерхових будинках з залізобетонним каркасом для заповнення стінових прорізів [36].

За розмірами і призначенням камені підрозділяють на наступні типи: Цілісний камінь, поздовжня половинка і перегородковий.

Камені повинні мати форму прямокутного паралелепіпеда з прямими Ребрами і рівними поверхнями. Відхилення від проектних розмірів і зовнішні Дефекти не повинні перевищувати наступних значень (таблиця 2.2) [37].

Таблиця 2.2 - Допустимі відхили від встановлених розмірів та показників зовнішнього вигляду.

Найменування показника	Значення відхилів			
	Цегла		Камені	
	рядова 2	лицьова 3	рядові 4	лицьові 5
1				
Відхили від геометричних розмірів, мм: за довжиною:	±3	±2	±4	±3
за шириною;	±2	± 1	±3	±2
за висотою	±2	± 1	±4	±3
Непаралельність граней, мм	2	0	3	1
Відбитість кутів завглибшки від 10 мм до 15 мм, шт.	3	0	3	0
Відбитість та притупленість ребер завглибшки від 5 мм до 10 мм, шт.	3	0	3	0
Відхил від прямолінійності ребер та площинності граней, мм	2	0	6	3
Проколи верхньої постелі порожнистих виробів, мм	10	5		
Число виробів із тріщинами, що перетинають одне або два суміжних ребра, % від партії, не більше	10	10	10	10
Число відбитих та притуплених ребер та кутів на одному виробі завглибшки до 20 мм <sup>3</sup> завдовжки по ребру до 100 мм, шт.	-	-	-	-

Товщина зовнішніх стінок, що прилягають до пустот, повинна бути не менше: - для цегли - 10 мм;

- для каменів - 15 мм.

Колір і тон лицьових поверхонь лицьових виробів повинні відповідати зразкам-еталонам, затвердженим у встановленому порядку та при використанні пігментів згідно наступними стандартами для виготовлення кольорових і виробів:

Пігмент жовтий залізоокисний - згідно з ГОСТ 18172;  
сурик залізний червоного кольору - згідно з ГОСТ 8135;  
полива залізна синього кольору - згідно з ГОСТ 21121;  
хрому окис технічний - згідно з ГОСТ 2912;  
пігмент зелений органічний - згідно з ГОСТ 4579.

Жирові та інші плями на лицьових поверхнях не допускаються. Лицьові поверхні виробів, які були оброблені одно або багат шаровими декоративними покриттями, не повинні мати відбитостей.

Морозостійкість цегли та каменів повинна відповідати маркам за морозостійкістю згідно з п. 3.1 стандарту ДСТУ Б В.2.7-7: 2008. Залежно від марок у насиченому водою стані зразки виробів повинні витримувати відповідну кількість циклів поперемінного заморожування та відтавання без будь-яких ознак видимих пошкоджень (лушення, розшарування, викришення). Втрата міцності при стиску цегли та каменів, випробуваних на морозостійкість, не повинна перевищувати 25 % марочної міцності, а втрата маси не повинна перевищувати 5 %.

Міцність зчеплення опоряджувального покриття з поверхнею виробів повинна бути не менше 0,6 МПа ( $6 \text{ кгс/см}^2$ ).

Водопоглинання цегли повинно бути не менше 6 % від маси виробу.

Партії цегли та каменів, які відрізняються призначенням, середньою густиною, марками за міцністю при стиску, слід маркувати незмивною фарбою.

Маркування слід наносити не менше ніж у двох місцях із протилежних сторін піддону (штабеля) літерою та цифрами, які означають призначення (буква), середню густину (перші дві цифри числа) та його марку за міцністю при стиску. Наприклад:

- якщо цегла партії лицьова має середню густина  $1700 \text{ кг/м}^3$  та марку за Міцністю при стиску 150, то наносять букву і цифри: Л-17-150;
- якщо стіновий камінь рядовий має середню густина  $1850 \text{ кг/м}^3$  та марку за Міцністю при стиску 50, то наносять букву і цифри: Р-19-50.

Об'єктом досліджень у роботі [38] є цементно-піщаний бетон та його складові - пісок, портландцемент і продукти його гідратації, вода, мінеральні та хімічні добавки. У дослідженнях використовували стандартні пісок кварцовий з імодулем крупності 1,31 і портландцемент марки 400. Як мінеральний додаток, що підвищує міцність бетону відразу після пресування, використали напівгідрат сульфату кальцію у вигляді гіпсу будівельного марки Г-3, частки якого і продукти його гідратації мають позитивний поверхневий заряд. Як хімічні добавки, що прискорюють природне твердіння, використали сульфат алюмінію та гідроксид натрію.

Дослідження виконували за допомогою стандартних і оригінальних методик. Електроповерхневі властивості дисперсних матеріалів визначали за допомогою електромагнітного поля та із застосуванням адсорбційно-індикаторного методу. Продукти гідратації цементу з мінеральним та хімічними добавками досліджували за допомогою термодинамічного аналізу і фізико-хімічних досліджень - інфрачервоної спектроскопії та рентгенівської дифрактометрії. Зразки та вироби з цементно-піщаного бетону виробляли напівсухим пресуванням і піддавали природному твердінню. Фізико-механічні та гідрофізичні властивості цементно-піщаного бетону досліджували у відповідності зі стандартними методами випробувань. Оптимізацію складу бетону виконували методом математичного планування експерименту. Всі одержані результати піддавали статистичному аналізу.

Авторами досліджень [38] встановлено, що при взаємодії часток гіпсу енергетичний бар'єр відсутній і енергія їх притягання у порівнянні з іншими частками портландцементних систем максимальна. Це зумовлює те, що міцність електрогетерогенних контактів між частками гіпсу у порівнянні з іншими частками також максимальна. Викладене обумовлює вибір

Напівводного гіпсу як мінерального додатку, що підвищує міцність бетону одразу після формування.

Хімічні добавки сульфату алюмінію та гідроксиду натрію призводять до утворення на ранніх стадіях твердіння додаткової кількості гідросульфоалюмінату кальцію, що має позитивний поверхневий заряд. Це обумовлює збільшення на ранніх стадіях кількості електрогетерогенних контактів і прискорення набору міцності.

Виконані термодинамічні розрахунки [38] іонних рівноваг у системах  $\text{Ca}(\text{OH})_2 - \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_3 - \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CaSO}_4 - \text{H}_2\text{O}$  показали можливість утворення гідросульфоалюмінату кальцію при введенні додатків  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  і  $\text{NaOH}$ . При цьому встановлено, що додаток тільки  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  призводить до утворення гелю  $\text{Al}(\text{OH})_3$ . Для утворення гідро-сульфоалюмінату кальцію необхідним є переведення іону  $\text{Al}^{3+}$  у іон  $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ , що досягається при введенні  $\text{NaOH}$  або  $\text{KOH}$ .

Було обґрунтованим [38] застосування адсорбції кольорних індикаторів для оцінки поверхневого заряду дисперсних матеріалів. За допомогою кольорних індикаторів визначають концентрацію у дисперсних матеріалах поверхневих активних центрів - кислих, помірно кислих, слабокислих та лужних, які є, відповідно, льюїсівськими основними та бренстедівськими кислими, нейтральними та основними.

Тобто поверхневі активні центри, що визначаються за адсорбцією кольорних індикаторів, в цементних системах є: кислі та помірно кислі - позитивними, слабокислі та основні - негативними. Кількісне співвідношення означених центрів визначає інтегральний поверхневий заряд часток дисперсного матеріалу.

Розроблена методика визначення складу цементно-піщаного бетону із заданою густиною і максимальними міцністю одразу після формування та Швидкістю набору міцності [38]. Методика включає експериментальне визначення оптимальних значень В/Ц і витрат мінерального М/Ц та хімічних Х/Ц додатків, що забезпечують максимальну міцність цементного каменю, а ?.

після цього розрахунок складу - витрати піску, цементу, мінеральної та хімічних додатків і води, відповідно, кг на 1 м<sup>3</sup> бетону.

Аналіз отриманих залежностей [38] показав, що максимальна міцність бетону досягається при В/Ц=0,37, Г/Ц=0,15 і Х/Ц=0,015. Означені величини використані при визначенні складу бетону. Для виробничого впровадження прийнятий склад: піску - 1525, цементу - 192, гіпсу - 19, води - 71, хімічних додатків - 2,88 кг на 1 м<sup>3</sup>. Для цього складу були отримані такі властивості бетону і виробів: міцність при стиску - 15 МПа, морозостійкість - 50 циклів, водопоглинання за масою - 9%, коефіцієнт розм'якшення - 0,98.

Дослідження усадки зразків показали, що бетон з мінеральною та хімічними додатками піддається значно меншій усадці (0,01 мм/м на 28 добу твердіння), ніж бездодатковий бетон (0,3 мм/м). Однак при введенні тільки сульфату алюмінію без гідроксиду натрію відмічене збільшення об'єму і розтріскування через 1,5 роки зберігання у змінному рівні води.

Виконані фізико-хімічні дослідження продуктів гідратації цементу з мінеральним додатком гіпсу та хімічними додатками сульфату алюмінію та гідроксиду натрію [38]. За допомогою аналізу інфрачервоних спектрів поглинання і рентгенограм підтверджена гіпотеза про утворення гелю гідроксиду алюмінію при введенні у бетон тільки сульфату алюмінію та про утворення здебільшого гідросульфоалюмінату кальцію і відсутність гідроксиду алюмінію при спільному введенні сульфату алюмінію та гідроксиду натрію.

Була розроблена технологія виготовлення цегли на стандартному обладнанні з виробництва силікатної цегли [38]. Технологічна схема включає такі операції: у змішувач подають поперед отдозовані воду й хімічні добавки, в іншому змішувачі змішують сухі компоненти - пісок, цемент, гіпс будівельний. У суху суміш подають воду замішування із додатками і виконують перемішування готової суміші протягом 5 хвилин. Після цього суміш перевантажують у мішалку преса, де її додатково перемішують, і подають у прес-форми стола преса. Відпресовану цеглу-сирець знімають із пресу за допомогою автоукладальника, включаючого механізм зйому, конвеєр-

йакопичувач і візок переносу. Далі цеглу перевантажують на вагонетки, що протягом від однієї доби до трьох діб (в залежності від необхідної відпускнуї МІЦНОСТІ) витримують у приміщенні чи під полімерною плівкою.

Розроблена технологія [38] була відлагоджена на АТ «Завод ЗБК» і (колишньому Харківському ЗЗБК-3) для формувальної суміші складу: піску - 1525, портландцементу - 192, гіпсу будівельного - 19, води - 71, хімічного і додатку - 2,88 кг на 1 м<sup>3</sup> суміші. В результаті відлагодження були одержані такі технологічні параметри: глибина засипання суміші до прес-форми: для одинарної цегли - 115, для потовщеної - 155 мм; тиск пресування: для одинарної цегли - 25, для потовщеної - 35 МПа. Був одержаний сирець зі стабільною міцністю одразу після формування 0,8 МПа, що дозволяє застосовувати механічні пристрої для зняття цегли з пресу. За геометричними розмірами сирець відповідає вимогам ГОСТ 379. Готова цегла відповідала марці за міцністю - 150, марці за морозостійкістю - 50, мала водопоглинання і понад 8 % і середню густину - 1800 кг/м<sup>3</sup>. Розрахований за результатами відлагодження технології економічний ефект від впровадження цементно-піщаної цегли склав 17,34 грн. на 1 тис. шт. або 17340 грн. у рік при річному об'ємі продукції 1 млн. шт. В АТ «Завод ЗБК» була випущена дослідно-промислова партія цементно-піщаної потовщеної цегли в кількості 4000 шт. Ця партія цегли була укладена в конструкцію стрілкуватого фундаменту будинку столярного цеху, який зводиться. За фундаментом встановлене спостереження. Протягом одного року видимих змін не відзначалося.

Таким чином, в умовах виготовлення сухопресованих виробів мали місце методики оцінки фізико-механічних властивостей, таких як гранулометричний склад дрібних заповнювачів (пісків), зернового складу портландцементів, зольних наповнювачів, міцність цегляних виробів, морозостійкості а також правильність номінальних форм за ознаками відхилення від номінальних розмірів.

### **2.3 Методика оцінки гранулометричного складу сировинних матеріалів для виготовлення штучних стінових виробів**

Бетони - штучні кам'яні матеріали складаються з великої кількості зерен заповнювача, пов'язаних між собою затверділим в'язучим. Заповнювачі - природні або штучні матеріали, розрізняють за розмірами, будовою зерен і відповідно насипної щільності.

Заповнювачі, складаючи основну частку обсягу бетонів істотно впливають на їх властивості та завдяки чому вони повинні відповідати певним вимогам.

Як у дрібного, так і у великого заповнювачів співвідношення зерен різного розміру повинно знаходитися в певних межах, тобто заповнювач повинен мати певний гранулометричний склад. Це диктується необхідністю максимального насичення бетону зернами заповнювача, що можливо за умови, коли в проміжках між найбільшими зернами входять дрібніші, а в проміжках між останніми ще більш дрібні і.д.п.

Щоб оцінити співвідношення між зернами заповнювача різного розміру, визначають зерновий склад заповнювача [36].

Для цього, використовуючи стандартні сита з осередками певного розміру, заповнювач ділять на фракції 70 ... 40, 40 ... 20, 20 ... 10 і 10 ... 5 мм для крупного заповнювача і 5 ... 2,5; 2,5 ... 2,25; 1,25 ... 0,63; 0,63 ... 0,315; і 0,315...0,16 мм для піску. Отримані результати порівнюють з вимогами відповідного стандарту ДСТУ.

Обов'язкова вимога до всіх заповнювачів відсутність шкідливого впливу на процес твердіння в'язучого, міцність і довговічність майбутніх виробів. Важливим в даному розгляді є також дослідження структури і розмірів деяких Наповнювачів, які здатні механічно пошкодити поверхню елементів пресового Устаткування. Так як під час процесу пресування суміші, у складі якої знаходиться крупний абразивний заповнювач (гранітні відсів) в результаті Тертя може залишити сліди у вигляді сколів і глибоких подряпин всередині

стінок матричної пресформи і тим самим привести її в непридатність для подальшого виробництва.

Заповнювачі, особливо природні, - неоднорідний за складом і властивостями матеріал [36]. Тому, щоб проби заповнювача були представлені, тобто досить достовірно відображали його властивості, від випробуваного заповнювач відбирають необхідну кількість приватних проб, з яких шляхом об'єднання і усереднення отримують середню пробу .

На підприємстві-заготівельників (кар'єрі) точкові проби відбирають періодично і потім об'єднують в одну середню пробу від змінної продукції кожної технологічної лінії [36].

На конвеєрах зы стрічкою шириною менше 1000 мм точкові проби відбирають шляхом періодичного перетину всієї ширини потоку, потоку. При цьому відсікається весь матеріал, що проходить по конвеєру за час відбору проби.

При більшій ширині конвеєра проби відбирають шляхом послідовного перетину конвеєра по частинах. На конвеєрі проби відбирають кожну годину.

Для отримання середньої проби заповнювача, що зберігається на складі підприємства, при перевірці його якості відбирають 10 ... 15 приватних проб в точках, які знаходяться на різній висоті від вершини до основи штабеля. Одну середню пробу відбирають від кожних 500 т перевіреного заповнювача. У

заповнювачі, що зберігається у бункері відбирають з поверхневого шару та з нижньої частини бункера, для чого його частково розвантажують.

З залізничних вагонів, автомобілів і судів при контрольній перевірці якості наповнювачів точкові проби відбирають при навантаженні і розвантаженні відповідно до вказівок в нормативних стандартах ДСТУ Б В.2.7-32-95 (для піску), ДСТУ Б В.2.7-74-98 (для великого заповнювач).

Після відбору і об'єднання приватних проб отриману середню пробу ретельно перемішують і перед відправкою в лабораторію скорочують методом Швартування або за допомогою жолобчастого подільника.



Обсяг середньої проби повинен не менше ніж в два рази перевищувати сумарний обсяг проб, призначений для всіх випробувань (визначення середньої, насипної щільності зерен; визначення вологості, водопоглинання, зернового складу, визначення різних домішок і.д.т) [36].

Матеріали, які використовуються при виробництві бетонних стінових дрібноштучних виробів цегли та каменів, повинні відповідати вимогам чинних нормативних документів на ці матеріали [37]:

В'язучі:

а) портландцемент та шлакопортландцемент - згідно з ДСТУ Б В.2.7-46 Будівельні матеріали. Цементи загальнобудівельного призначення., ДСТУ Б В.2.7-112 Будівельні матеріали. Цементи. Загальні технічні умови;

б) портландцемент білий - згідно з ДСТУ Б В.2.7-257 Будівельні матеріали. Портландцементи білі. Технічні умови (ГОСТ 965-89);

в) портландцемент кольоровий - згідно з ДСТУ Б В.2.7-268 Будівельні матеріали. Портландцемент кольоровий. Технічні умови (ГОСТ 15825);

г) цемент сульфатостійкий - згідно з ДСТУ Б В.2.7-85 Будівельні матеріали. Цементи сульфатостійкі. Технічні умови (ГОСТ 22266-94);

д) гіпс - згідно з ДСТУ Б В.2.7-82 Будівельні матеріали. В'язучі гіпсові.

Технічні умови., ДСТУ Б В.2.7-4 Будівельні матеріали. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови.;

Заповнювачі:

а) щебінь, гравій та пісок щільний природні - згідно з ДСТУ Б В.2.7-32 Будівельні матеріали. Пісок щільний природний для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт., ДСТУ Б В.2.7-33 Будівельні матеріали. Пісок кварцево-залізистий і тонкодисперсна фракція для будівельних робіт з відходів гірничо-збагачувальних комбінатів України. Технічні умови., ДСТУ Б В.2.7-34 Будівельні матеріали. Щебінь для будівельних робіт із скельних гірських порід та відходів сухого магнітного збагачення залізистих кварцитів гірничо-збагачувальних комбінатів і шахт України. Технічні умови., ДСТУ Б В.2.7-75

Будівельні матеріали. Щебінь і гравій щільні природні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови;

б) заповнювачі з доменного шлаку, золи, шлаку та золошлакової суміші теплових електростанцій - згідно з ДСТУ Б В.2.7-39 Будівельні матеріали. Щебінь і пісок із шлаків чорної та кольорової металургії для бетонів. Технічні умови (ГОСТ 5578), ГОСТ 25592, ГОСТ 25818, ГОСТ 26644;

в) пористі заповнювачі - згідно з ДСТУ Б В.2.7-17 Будівельні матеріали. Суміші бетонні та бетон. Загальні технічні умови., ДСТУ Б В.2.7-157 Будівельні матеріали. Пісок і щебінь перлітові спучені. Технічні умови; ГОСТ 22263;

г) заповнювачі для важкого та легкого бетону застосовують згідно з ДСТУ Б В.2.7-18 Будівельні матеріали. Бетони легкі. Загальні технічні умови., ДСТУ Б В.2.7-43 Будівельні матеріали. Бетони важкі. Технічні умови.

Хімічні добавки:

Повітровтягувальні, піноутворюючі, пластифікуючі, прискорювачі тверднення згідно з ДСТУ Б В.2.7-171 Будівельні матеріали. Добавки для бетонів і будівельних розчинів. Загальні технічні умови.

Допускається використання вапновміщуючих відходів із сумарним вмістом  $\text{CaO} + \text{MgO}$  не менше 50 %, а також фосфогіпсу згідно з ДСТУ Б В.2.7-4.

Використання відходів можливе тільки після визначення їх санітарно-гігієнічних властивостей.

Композиційна суміш повинна приготуватись у змішувачі-активаторі роторного типу за технологічним регламентом.

Вологість композиційної суміші залежно від способу ущільнення, повинна бути в межах від 8 % до 20 %, температура суміші після обробки повинна бути не нижче 35 °С.

### **РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ ШТУЧНИХ СУХОПРЕСОВАНИХ СТИНОВИХ ВИРОБІВ**

#### **3.1 Дослідження гранулометричного складу заповнювача для виготовлення сухих будівельних сумішей**

Основними характеристиками заповнювачів та наповнювачів, що визначають їх вплив на технологічні та будівельно-технічні властивості розчинних сумішей і розчинів є зерновий склад, граничний розмір часток, форма і характер поверхні зерен, міжзернова пористість і водопотреба. Важливе значення мають також мінералогічний склад, наявність пилоподібних і глинистих часток, вміст глини в грудках і присутність різних домішок.

Розробка композицій у вигляді сухих будівельних сумішей для виготовлення штучних виробів дозволяють поліпшити їхні експлуатаційні властивості. Цей процес йде по шляху створення композиційних матеріалів оптимальної структури на основі цементу, дрібного заповнювача оптимальної гранулометрії, тонкодисперсного наповнювача і модифікуючи домішок [39].

В сьогоdnішній час цементно-піщані сухі суміші готуються на основі портландцементу марок ПЦ 400 або ПЦ 500, що не завжди економічно і технологічно виправдано. Разом з тим більшість регіонів країни мають у своєму розпорядженні достатні запаси місцевих матеріалів для організації виробництва наповнених композитних в'язучих низьких і середніх марок і сухих будівельних сумішей на їх основі. В якості мінеральних наповнювачів сумішей можуть бути використані як місцеві сировинні ресурси, наприклад Подрібнений кварцовий пісок, так і техногенні відходи необхідної дисперсності, Що, безумовно, ефективніше [39].

На сьогоdnішній день недостатньо вивченим питанням є методика визначення оптимальної концентрації дисперсного наповнювача в цементних системах, зокрема в сухих будівельних сумішах [39].

Для визначення кількості добавки тонкомолотого мінерального компонента встановлювали зернисто-дисперсні системи на основі піску оптимальної гранулометрії; інтервал варіювання тонкомолотого мінерального компонента склав 0-16% від маси зернистої частини. Залежність насипної щільності отриманих зернисто-дисперсних систем від кількості тонкомолотого мінерального компонента (рисунок 3.1) показує, що його оптимальна кількість в даному випадку становить 6%; при цьому спостерігається максимум насипної щільності, що говорить про досягнення такого стану, при якому частинки дисперсної частини (тонко мелений компонент) розташовуються між частинками зернистої частини, що не розсуває їх [39].

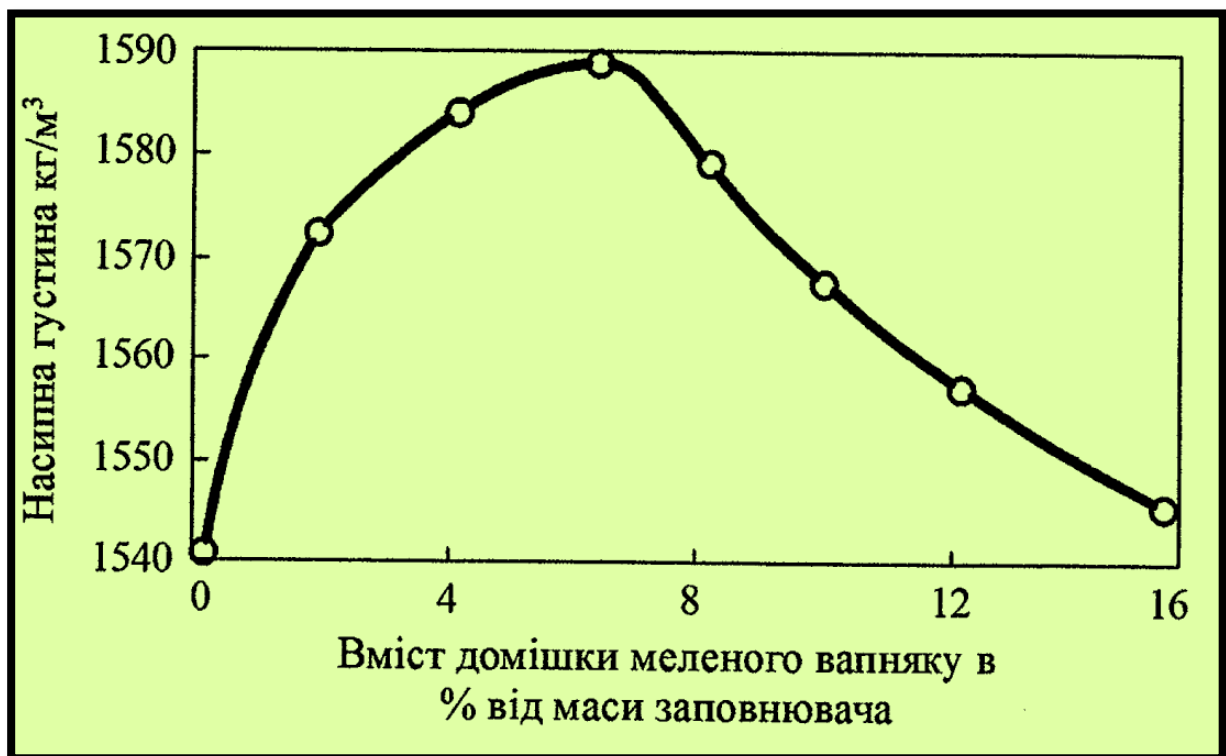


Рисунок 3.1 - Залежність насипної щільності зернисто-дисперсної системи від вмісту дисперсної частки

При подальшому збільшенні кількості дисперсної частини відбувається різке зниження насипної щільності системи, що говорить про істотну роль поверхневих сил в закономірностях упаковки дисперсних систем. В цьому випадку наповнювач здатний утворювати власні структури - кластери.

Зменшення насипної щільності системи свідчить про те, що в системі починається явище розсунення, тобто частинки менших розмірів вклинюються в проміжки між великими частками, відсуваючи їх один від одного на деяку відстань, що дорівнює діаметру менших частинок. Осадження дисперсних частинок наповнювача тонким шаром на великих зернах заповнювача викличе збільшення щільності контактних зон і міцності наповненого матеріалу.

У низхідній області залежності (рисунок 3.1) обсяг дисперсної частини перевищує обсяг зернових порожнеч скелетної (зернистої) частини, збільшується розсунення великих часток, розпушення контактних зон і зниження міцності матеріалу. Посилення зазначеного вище ефекту, зміцнення контактних зон при оптимальній концентрації тонкодисперсного наповнювача може бути забезпечено за рахунок перерозподілу балансу внутрішніх сил в системі за допомогою полімерних добавок, що вводяться з метою поліпшення адгезії, деформативності, водонепроникності і інших властивостей в сучасних будівельних сумішах [40].

Таким чином, ефективними способами модифікації сухих цементно-піщаних сумішей з метою управління їхніми фізико механічними характеристиками і істотного поліпшення експлуатаційних властивостей є використання заповнювачів оптимальної гранулометрії, а також рекомендоване введення до складу сумішей домішок - полівінілового п спирту і тонкомолотого мінерального компонента в оптимальних концентраціях, що визначаються за спеціальними методиками [39].

Проводилися експерименти [41], метою яких був підбір оптимального складу сухої будівельної суміші за сталого вмісту цементу (10 % від загальної маси) та дослідження властивостей будівельних сумішей, приготованих на основі карбонатного заповнювача (вапняковий порошок - ВП) і цементу з Додаванням активних мінеральних пластифікуючих мікронаповнювачів (осадових гірських порід) у вигляді дисперсних порошоків.

Тонкодисперсні мінеральні добавки вводили у розчинну суміш у кількості 5...30 % від маси цементу. Вони були призначені для економії

цементу і для підвищення щільності розчину при малій витраті цементу. Добавки- наповнювачі у вигляді мінеральних порошків змелені до тонкості помолу цементу, при введенні в розчинову суміш підвищують її пластичність, зв'язаність, а в затверділому стані ущільнюють структуру цементного каменю, дозволяють зменшити витрату цементу [41].

Розроблена оптимальна концентрація і гранулометричний склад наповнювача у данному випадку забезпечує досягнення мінімальної усадки при твердненні за рахунок організації структури композита, що впливає на зниження росту тріщин в тверднучих дисперсних системах [41].

Дослідження показали [42], що найкращим наповнювачем до цементу є відсів подрібнення вапняку. Була проведена серія експериментів з різними складами і вмістом компонентів, а саме: тонкістю помелу компонентів, їх кількісне співвідношення, умови та терміни зберігання та тверднення.

До складу сухих сумішей на основі портландцементу і ВП додавалося різне процентне відношення мінерального мікронаповнювача, в якості якого використовувалась пластифікуюча добавка - глиняний порошок (ГП). ГП вводився у склад сухих сумішей починаючи з 10 % відношення, вміст цементу і водоцементне В/Ц відношення залишалися сталими.

Досліди [42] проводились з різними серіями складів за процентним вмістом компонентів і їх гранулометричним складом. Були визначені та досліджені три склади сухих будівельних сумішей за процентним вмістом компонентів (таблиця 3.1). Склади сумішей за тонкістю помелу компонентів наведені в таблиці 3.2

Таблиця 3.1 - Склади сухих сумішей за % вмістом компонентів

Номер складу суміші	Склад,%		
	Вапняковий	Глиняний	Портландцемент
1	80	10	10
2	70	20	10
3	60	30	10

Таблиця 3.2 - Склади сумішей за тонкістю помелу

Номер складу суміші	Склад, № сита	
	Вапняковий порошок (ВП)	Глиняний порошок (ГП)
1	1,25	1,25
2	0,63	0,63
3	0,315	0,315
4	1,25	0,63
5	1,25	0,315
6	0,63	0,315
7	5	0,315
8	2,5	0,315
9	5	0,63
10	2,5	0,63

Характеристику матеріалу визначали за міцністю на стиск і згин [42]. Залежність фізико-механічних властивостей складів сумішей granulometрії та від процентного вмісту компонентів показана на рисунку 3.2; 3.3; 3.4

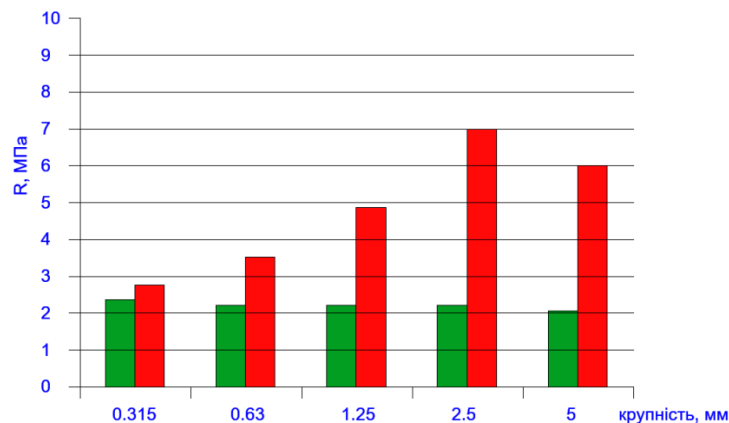


Рисунок 3.2 - Зміна міцнісних характеристик складів сухих сумішей у залежності від крупності ВП.

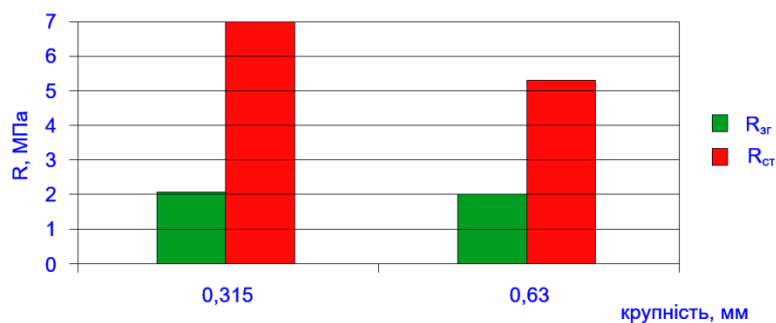


Рисунок 3.3 - Зміна міцнісних характеристик складів сумішей у залежності від крупності ГП.

При збільшенні крупності вапнякового порошку до 2,5 мм міцність зразків на стиск зростає; при збільшенні крупності глиняного порошку до 0,63 мм міцність зразків на стиск спадає. Міцність на згин найбільша при крупності компонентів суміші 0,315 мм.

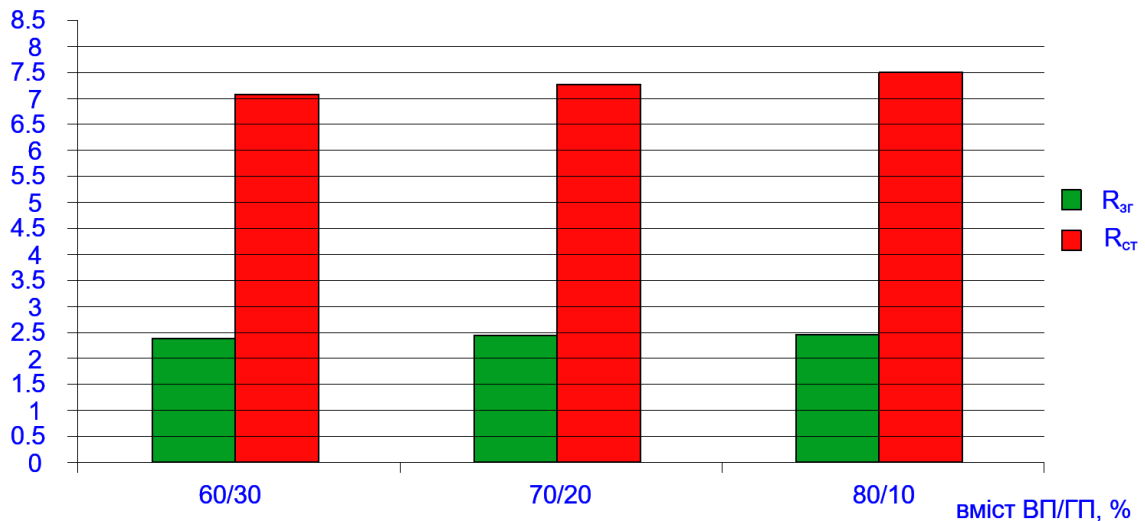


Рисунок 3.4 - Зміна фізико-механічних властивостей залежно від кількісного вмісту компонентів сумішей

Із збільшенням кількісного вмісту вапнякового порошку до 30 % міцність зразків на стиск збільшується. Це пояснюється відносною інертністю глини в хімічних реакціях. Мінеральні добавки прискорюють тверднення на ранніх етапах набору міцності. У віці 28 днів міцність зразків на стиск практично однакова. Збільшення вмісту мікронаповнювача знижує міцність, але на незначну величину. Це дозволяє економити в'язучий заповнювач. Висока міцність на згин свідчить про позитивний вплив пластичних властивостей глини на розчинові суміші.

Таким чином, при дослідженні впливу кількісного співвідношення компонентів та їх гранулометрії на фізико-механічні властивості розчину, приготованого на основі запроектованої сухої суміші, було встановлено [41], що зі збільшенням вмісту глиняного порошку міцність на стиск падає, але зростає міцність на згин, а зі збільшенням крупності заповнювача починає зростати міцність на стиск, міцність на згин починає зменшуватись.



Також встановлено [41], що при використанні складу із більшою крупністю заповнювача і меншою наповнювача міцність зростає. Експериментально визначено, що склади із крупністю заповнювачів 0,315 мм і 0,63 мм не дають зразкам потрібної міцності. Склади із крупністю заповнювача 1,25 мм не дають потрібної міцності, але наближаються до неї. Це дає можливість використати ці склади, модифікувавши їх добавкою, для отримання марки розчину М 50. Поєднання крупності карбонатного заповнювача 2,5 мм і мінерального наповнювача 0,315 мм дає міцність на стиск у віці 28 діб вищу, ніж 5 МПа. Міцність на згин залишається сталою. Отже, даний склад можна використовувати в подальшому для отримання розчинів з маркою вищою, ніж М 50 при модифікації їх добавками.

По завершенню аналізу [41] був запропонований склад СС (ВП - 2,5 мм, ГП - 0,315 мм та ВП - 5 мм, ГП - 0,315 мм) зі сталим вмістом цементу з використанням карбонатного заповнювача і мінерального мікронаповнювача (глиняний порошок), що дає можливість отримати будівельні суміші М 50 і вище, та досліджено фізико-механічні властивості будівельної суміші, приготованої на основі визначеного оптимального складу СС, міцність якої складає у віці 28 діб:  $R_{CT}=7,08$  МПа,  $R_{ef}=2,1$  МПа, та середня густина суміші  $\rho_m=1810$  кг/м<sup>3</sup> при В/Ц=0,35. Встановлено, що при збереженні середньої густини і сталого водоцементного відношення для оптимального складу СС, міцність підвищується.

### **3.2 Дослідження залежності твердіння сухопресованої суміші від модифікуючих домішок**

Відомо, що істотні досягнення двох останніх десятиліть в технології матеріалів на основі портландцементу обумовлені значним зростанням ефективності добавок різної природи. Основні проблеми, успішно вирішуються за допомогою домішок, - забезпечення заданих властивостей і ресурсозбереження [44]. Абсолютно можливим стало регулювання складів,

структури і властивостей бетонної суміші та бетону з урахуванням впливу технологічних, кліматичних і експлуатаційних факторів. Вивчаючи вплив добавок останніх генерацій, дослідники встановили нові закономірності в бетонознавстві, а практики з їх допомогою здійснюють нові будівельні технології. Виробництво домішок виділилося в самостійну і прибуткову галузь.

Разом з тим недалекоглядно стверджувати про подолання проблем технології матеріалу. Навпаки, деякі з них загострюються пропорційно зростанню ефективності домішок. Неадекватні ситуації, що склалася багато аспектів нормативного плану, сумісності, оцінки ефективності та ін. Термінологія бетонознавства, що стосується бетонів з домішками, ще не усталилася [43]. Єдність понять і термінів - обов'язкова умова вибору оптимальних рецептурно-технологічних рішень. Очевидна невизначеність ряду формулювань в міждержавному ГОСТ 24211-2003 і українському ДСТУ Б В. 2.7-65-97.

У цьому плані прийнятні терміни євро норм EN 206-1 і EN 934-2:

- хімічна добавка (admixture) - компонент, що додається в процесі приготування бетонної суміші в малих кількостях - до 5% по відношенню до маси цементу з метою регулювання складів бетонної суміші;
- мінеральна домішка (additive) - тонкоподрібненому компонент, що додається в бетон в кількості до 30% і вище від маси цементу з метою поліпшення певних або додання спеціальних властивостей.

Заслуговує короткої оцінки понятійна невизначеність. Так, у вітчизняній літературі часто вживається термін «модифікатор» бетону. Це, на погляд автора [43] мало місце в минулому, коли обсяг бетону, виготовленого з використанням домішок, не перевищував 10-15%, а сьогодні він наближається до 100% і поняття «модифікування» не носить колишнього сенсу. В англійській літературі існує чіткий поділ на «admixture» - хімічні та «additive» - мінеральні домішки. На українській мові, наприклад, немає цієї чіткості і терміни - «добавка», «додаток» і «домішка» іноді використовувалися рівнозначно.

Та ж ситуація з терміном «наповнювач», який використовується замість «дисперсна мінеральна домішка». На думку автора [43] поняття «наповнення» і «наповнювач», взяті з хімії однорідних за складом і будовою матеріалів типу пластмас, гуми, лаків і фарб, автор вважає, не зовсім коректно залучати їх в бетоноведенні.

Ще один аспект - многокомпонентність домішок. У зв'язку з цим використовуються поняття «комплексні», «змішані», «багато» або «мультікомпонентні», «поліфункціональні» домішки і ін., що вимагає уточнення. Класифікація домішок для бетонних пресованих виробів зумовлюється різними підходами і ознаками. Фізико хімічний підхід, заснований на знаннях про механізми дії добавок на елементарні стадії гідратації - змочування, адсорбцію, хімічні реакції, розчинення, кристалізацію та ін., цікавий і важливий, але не отримує розвитку в зв'язку з методологічними труднощами їх виділення і кількісного опису [45]. Актуальними є класифікації Добавок по чисто споживчим ознакам - призначенням, основним і додатковим технологічним ефектам. Практично у всіх нормативних документах добавки систематизуються за основними ефектів, до яких віднесено водозниження, регулювання схоплювання і твердіння, регулювання структури, надання спеціальних властивостей сухопресованій суміші.

Все чіткіше вимальовується підвищення ролі пластифікуючих добавок - регуляторів властивостей і водовмісту бетонної суміші на основі ПАР. Критеріями їх класифікації є величини водоредуцирування [43]:

- в межах 5-12% - пластифікатори;
- вище 12% - суперпластифікатори.

Мінеральні добавки відповідно до EN 206-1 поділяють всього на два типи: практично інертні і ті, що мають пуцоланові або приховано-гідралічні властивості.

Очевидною є недостатність цієї систематизації в зв'язку з успішним використанням ряду активних мінеральних домішок на основі оксидів

алюмінію, сульфоалюмінатов і т.п., що призводять до значного прискорення твердіння, зниження усадки та розширення [43].

Хімічні добавки, за образним висловом В.Г. Батракова, - ключ до вирішення технологічних проблем [44]. Великі зміни відбулися завдяки досягненням фізичної, колоїдної хімії, хімії високомолекулярних сполук та інших фундаментальних наук номенклатура в області застосування добавок [46]. Як зазначено вище, прогрес в «хімізації» бетону в значній мірі пов'язаний з використанням в якості основного компонента добавок високоефективних ПАР пластифікуючі і водоредукуючі дії.

Можливі механізми дії такого типу суперпластифікаторів (СП) обговорені в роботі [47]. Аналіз уявлень про роль адсорбції ПАР на зернах цементу і гідратних новоутвореннях, сил електростатичного і стеричного відштовхування, взаємозв'язку будови макромолекул зі структурою і складом адсорбційних шарів не привів поки до однозначного тлумачення, що Досягаються. Разом з тим визначили [43] загальноприйнятою, хоча кілька віртуальної, схему дії СП, наведену на рисунок 3.5.

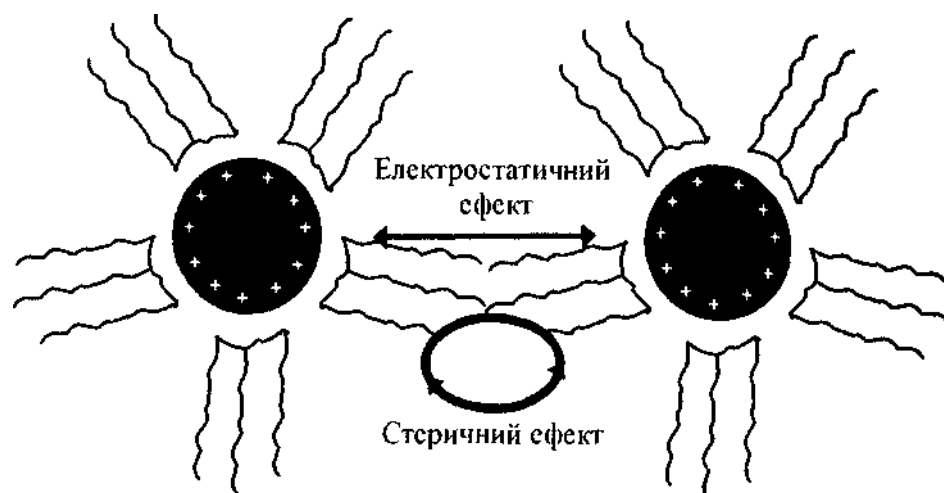


Рисунок 3.5 - Схема дії суперпластифікатора.

Мінеральні добавки - невід'ємний компонент сучасних бетонів. До числа досягнених ефектів відносяться зниження вмісту клінкерного цементу, підвищення щільності, міцності, довговічності і стійкості бетонних виробів у агресивних умовах [43]. Зв'язування  $\text{Ca(OH)}_2$ , формування низькоосновних

гідросилікатів CSH-фази, позитивні зміни в співвідношеннях капілярних і гелевих мікропор, інтенсифікація ранньої гідратації, регулювання температурних і об'ємних змін твердіючих композицій, зниження небезпеки реакцій луг - заповнювач - все це добре відомі ефекти введення дисперсних мінеральних добавок. Ключовий аспект - їх реакційна здатність, обумовлена хімічним і мінеральним складом, дисперсністю, ступенем закристалізованості або скоріше аморфності будови головних з'єднань - оксидів кремнію і алюмінію.

Це довели німецькі дослідники [48], вивчаючи гідrataцію  $C_3S$  в присутності СП і  $CaCO_3$  за допомогою калориметрії. Розглядаючи в якості активної мінеральної добавки особливо дрібнозернистий вапняк ( $S_{уд} = 10000 \text{ см}^2 / \text{г}$  по Блейну), автори [48] пояснили інтенсифікуючий вплив освітою Додатково тільних центрів кристалізації новоутворень. Відомі подібні думки Щодо добавки тонкомеленого кварцового піску.

Очевидно, не можна применшувати роль мінеральних домішок в забезпеченні ущільненні структури цементного каменю і бетонів за рахунок заповнення частини обсягу пор і капілярів, витіснення залученого повітря і т. п.. Під терміном «комплексні добавки» розуміють раціонально обґрунтовані комбінації власне хімічних, а також хімічних і мінеральних добавок [43]. При формуванні їх складів необхідно враховувати можливість прояву ефектів [43]:

- адитивного - що не перевищує при утворенні сумішей сумарного вкладу кожного компонента, взятого в тій же концентрації, що й у суміші, збереження при цьому характеру індивідуального впливу;
- синергетичного - набагато перевищує сумарний і аналогічний внесок кожного компонента, що і в суміші;
- суперпозиційного - одного з можливих, при якому відбувається накладення впливів компонентів;
- антагоністичними - досягається при використанні сумішей, набагато зменшують внесок кожного компонента або викликає негативні явища.

Оцінка значущості будь-якого ефекту - справа непроста. На сьогоднішній день формування комплексних добавок проводиться емпірично, часто інтуїтивно. Незважаючи на цю обставину, результативність застосування комплексних, особливо так званих органо-добавок, безперечна. Буде доречним далі послатися на ефективну розробку НДІЗБ під керівництвом С.С. Капрієлова комплексних добавок серії МБ в бетони нового покоління [46].

Органічна частина представлена СП нафталінформальдегідного типу С 3, а мінеральна - мультикомпонентна. Серія МБ - типовий прояв синергетичного ефекту дії компонентів добавок.

Функціональність добавок розглядається по споживчому принципу за прямим призначенням [43]. Фізико-хімія понять «функція» і «функціональність» крім призначення відноситься до їхніх властивостей і явищ, що змінюються в ході взаємодії компонентів. З цієї точки зору Функціональність домішок для сухопресованої суміші зумовлюється складом цієї суміші. Функціональність носить кінетичний характер, пізнання закономірностей якого - актуальна і складна задача. Це чітко простежується на Прикладі функціональності суперпластифікаторів. Адсорбційні, електростатичні і стеричні механізми їхньої дії, доведені або постульовані дослідниками, обумовлюють ефекти водоредукування і гальмування початкової гідратації. Різні відомі хімічні та колоїдно-хімічні фактори впливають на інтенсивність і повноту початкової взаємодії. Незалежно від механізму дії початкове вповільнення, пов'язане з адсорбцією молекул СП на цементі у початковому стані або новоутвореннях, практично завжди змінюється за наступним прискоренням набору міцності внаслідок зниженого до показника 0,3 водотвердого співвідношення (В / Т) [43].

Вибірковість по відношенню до елементарних актів гідратації виявляють і інші добавки, наприклад прискорювачі твердіння.

У число таких добавок входять комплексні домішки системи "Релаксол", які давно зарекомендували себе як ефективний засіб управління якістю і економією ресурсів в будіндустрії України та інших країн СНД.

Основа всієї лінійки хімічних домішок системи «Релаксол» побудована саме на тіосульфатах і роданидах натрію.

«Релаксол-Темп 3» - добавка-прискорювач твердіння бетону. Введення добавки дозволяє: інтенсифікувати гідратацію, зменшити терміни твердіння цементу, збільшити ранню міцність бетону. Дозування добавки: 0,8... 2 % від маси цементу таблиця 3.3 [43].

Таблиця 3.3 - Ступінь гідратації і міцність портландцементного каменю з добавками тіосульфату і роданида натрію

Вид та кількість домішки	Ступінь гідратації % цементу у віці, дн.		Міцність на стиск(МПа) у віці, дн.	
	1	7	1	7
Без домішок	24	35	9,8	38,9
3 домішкою 2 % тіосульфата натрия $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	52	60	14,7	49,7
3 домішкою 2 % роданида натрия $\text{NaCNS}$	44	51	13,3	42,8

Раніше при дослідженні впливу ряду аніонів та катіонів, що становлять основу солей електролітів, на кінетику тепловиділення встановлені закономірності взаємозв'язків між значеннями екзоєфектів на термодинамічних кривих  $dQ / d\tau = f(\tau)$  і  $Q = f(\tau)$  з тривалістю індукційного і прискореного періодів гідратації [43].

Ці показники прямо або побічно пов'язані з технологічними ефектами. В результаті аналізу калориметричній інформації було обгрунтовано явище кінетичної селективності і виділений ряд схем впливу добавок на початкові стадії твердіння [49].

Можливий нейтральний варіант. В якості основного використовується показник зміни ступеня гідратації а в'язучого в часі.

На залежності  $\alpha = f(\tau)$  виділяються три кінетичних параметра:

- тривалість індукційного періоду  $\tau$ ;
- швидкість взаємодії  $\varphi$ ;
- ступінь гідратації за 24 год  $\alpha$ .

З багатьох варіантів можливого впливу обрані три основні і дві додаткові схеми. Ставлення значень параметрів  $k$  під впливом добавок прийнято в якості критерію ефективності (табл. 3.4). [43].

Таблиця 3.4 - Критерій ефективності

Критерій	Символ	Вираження*
Тривалість індукційного періоду	$k_\tau$	$k_\tau = \frac{\tau_\alpha}{\tau_c}$
Швидкість взаємодії	$k_\varphi$	$k_\tau = \frac{\varphi_\alpha}{\varphi_c}$
Ступінь гідратації	$k_\alpha$	$k_\tau = \frac{\alpha_\alpha}{\alpha_c}$

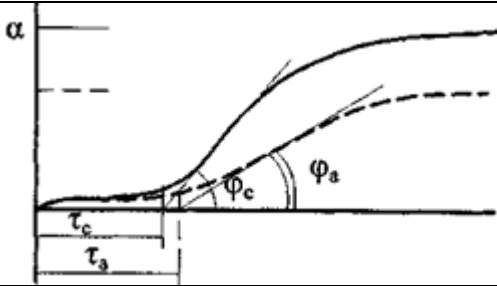
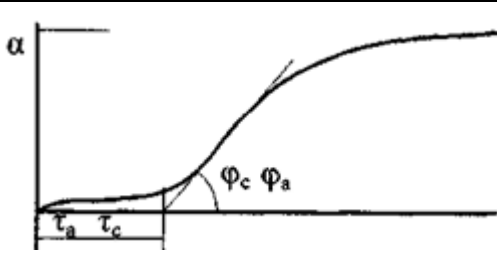
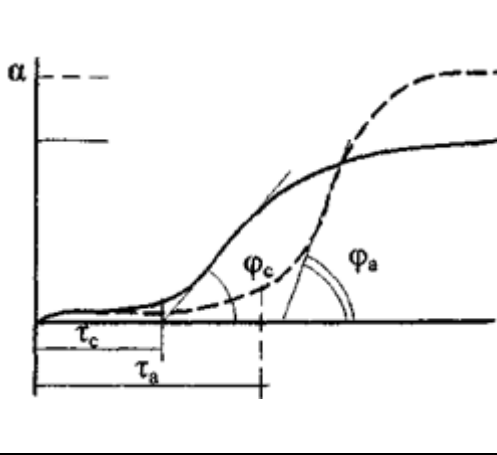
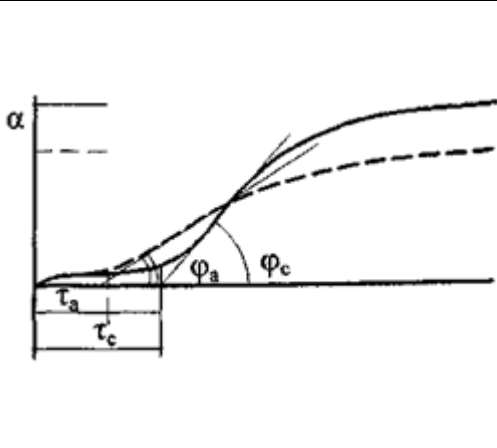
\* Символ «с» віднесен до тверднення цементу, «а» - теж в присутності добавки.

Побудова схем впливу (таблиця 3.5) засновано на феноменологічному підході. Сутність його полягає в тому, що дія добавок будь-якого типу і механізму обумовлює прискорення або уповільнення темпів тверднення, а значить, і тепловиділення [43].

Таблиця 3.5 - Схеми впливу на темпи твердіння

Тип	Схеми	Умови
	Основні	
Прискорення		$\tau_c > \tau_a$ $\varphi_c < \varphi_a$ $\alpha_c < \alpha_a$



Уповільнення		$\tau_c > \tau_a$ $\varphi_c > \varphi_a$ $\alpha_c > \alpha_a$
Нейтральний		$\tau_c = \tau_a$ $\varphi_c = \varphi_a$ $\alpha_c = \alpha_a$
Комбіновані		
Прискорення з початкових уповільненням		$\tau_c < \tau_a$ $\varphi_c < \varphi_a$ $\alpha_c < \alpha_a$
Уповільнення з початковим прискоренням		$\tau_c > \tau_a$ $\varphi_c > \varphi_a$ $\alpha_c > \alpha_a$

В результаті дії домішок критерії можуть набувати значень більше або менше 1. У таблиця 3.6 вони виражені знаками «+» або «-», що свідчить про тенденцію зростання або зниження значення критерію k. Кожній схемі впливу відповідає конкретний набір знаків, що характеризує взаємозв'язок критерію з окремим технологічним ефектом.

Наприклад, подовження індукційного періоду  $\tau$  - життєздатність бетонної суміші або збільшення швидкості взаємодії  $\varphi$  - прискорення твердіння і т. п. Такі порівняння будь-яких показників складів і властивостей бетону використовуються при оцінці ефективності добавок в нормативних документах, розробках і ін.

Таблиця 3.6 - Баланс критеріїв ефективності домішки.

Тип впливу	I	II	III	IV	V
Критерії	$k_\tau, k_\varphi, k_\alpha$	$k_\tau, k_\varphi, k_\alpha$	$k_\tau, k_\varphi, k_\alpha$	$k_\tau, k_\varphi, k_\alpha$	$k_\tau, k_\varphi, k_\alpha$
Знаки критеріїв	- + +	+ - -	000	+++	- - -
Вираження індексу $E_{a/c}$	$\frac{k_\varphi k_\alpha}{k_\tau}$	$\frac{k_\tau}{k_\varphi k_\alpha}$	—	$k_\tau, k_\varphi, k_\alpha$	$\frac{1}{k_\tau, k_\varphi, k_\alpha}$

Однак термодинамічний підхід дозволяє не тільки зафіксувати отриманий ефект, але і наблизитися до розуміння суті дії добавок і до прогнозу ефективності.

Автор досліджень [43] припускає, що інтегральна характеристика - своєрідний баланс критеріїв найбільш повно відображає ефект впливу добавки з точки зору регулювання початкових швидкостей твердіння.

Наприклад, для схеми 1 очевидно, що прискорення тим більше, чим вище значення критеріїв  $k_\alpha$  і  $k_\varphi$  і нижче -  $k_\tau$ . Баланс критеріїв є новий кількісний показник - індекс ефективності домішки.

У табл. 3.14 наводяться набори знаків критеріїв ефективності і вирази індексів для п'яти обговорюваних схем одночасно.

Можна розглядати ефективність впливу добавок на ранні стадії твердіння з точки зору їх сумісності з цементами [43].

Сумісність добавок з цементами - проблема, обумовлена значним зростанням ефективності дії і композиційним ускладненням, розглядається до цього часу в основному в зв'язку з необхідністю тривалого збереження властивостей сумішей цих.

Сумісність - результат кінетичної селективності дії і функціональності слід трактувати як здатність добавок забезпечувати і підтримувати технологічні ефекти на заданому рівні необхідний час з урахуванням факторів, що діють на стадіях приготування і служби бетонних виробів.

До теперішнього часу, незважаючи на велику кількість досліджень впливу складів домішок і цементів, у тому числі змісту  $C_3A$ , гіпсу, лугів, не вироблені спільні підходи до оцінки сумісності [43].

На одному з найбільш авторитетних форумів по суперпластифікаторам і іншим домішкам (Canmet, Ніцца, 2000) задача кількісної оцінки сумісності була охарактеризована першочерговою.

Пізніше на тій же конференції (Canmet, Сорренто, 2006) обговорювалася сумісність у двох напрямках - компонентів комплексних домішок між собою і домішок з цементами.

Результативність вирішення цієї нової для бетоноведення завдання може бути досягнута залученням термокінетичного аналізу ранньої гідратації цементів в присутності хімічних і мінеральних домішок [50].

Дійсно, кількісна оцінка зміни найважливіших термокінетичних параметрів під впливом добавок доповнює дані фізико-механічних випробувань інформацією фізико-хімічного плану [43].

Це дозволяє на феноменологічному рівні прогнозувати ефект дії добавок за допомогою індексу ефективності  $E_{a/c}$ .

Наприклад, встановлена і кількісно оцінена більш висока ефективність, а значить, і сумісність добавок нового покоління зі шлакопортландцементом в порівнянні з бездобавочним цементом.

Про це свідчить індекс сумісності добавок (рисунок 3.6).

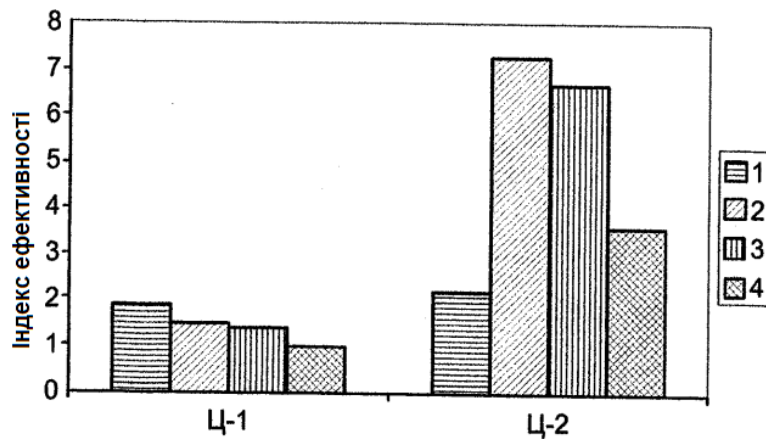


Рисунок 3.6 - Значення індексу Еа/С ефективності (сумісності) добавок: Ц-1 - портландцемент; Ц-2 - шлакопортландцемент; 1 - суперпластифікатор полікарбоксилатний; 2 - сповільнювач фосфатний; 3 - прискорювач алюмінатний; 4 - мікрокремнезем.

Взагалі інформаційне забезпечення - важлива умова досягнення максимальної ефективності технології виготовлення штучних стінових виробів з використанням домішок. «Асиметричність» - цей термін стосовно технології бетону позначає неадекватність арсеналу даних (знань) про властивості компонентів бетону і їх зміни в ході технологічних процесів складності розв'язуваних технологічних завдань [43]. Виробники і споживачі бетонних виробів, як правило, не мають у своєму розпорядженні точних і своєчасних відомостей про склад і властивості цементів. Те ж відноситься до домішок для бетону. Асиметричність інформації посилюється в ринкових умовах можливістю застосування фальсифікованих добавок.

Ситуацію неможливо вирішити силами і засобами тільки технологічного та лабораторного контролю [43]. Явно неадекватно сучасному рівню науково-технологічне та нормативно-технічний супровід. Практично у зародковому стані знаходяться підходи до проектування і оперативному коригуванні складів бетону з хімічними і мінеральними добавками. Ліквідація причин і наслідків асиметричності технологічної інформації, гармонізація українських стандартів з європейськими нормами, вироблення єдиної термінології, способів оцінки ефективності добавок і її підвищення - актуальні завдання.

### **3.3 Дослідження технологічного процесу виготовлення та властивостей сухопресованих стінових виробів**

Найбільш важливим завданням в сучасних умовах є створення комфортного середовища проживання і життєдіяльності для людини, яка дозволить не тільки задовольняти житлові потреби, але і забезпечити високу якість життя в цілому.

Термін «комфорт» можна розглядати як сукупність побутових зручностей, таких як впорядкованість і затишок осель, громадських установ, засобів інформації та ін.

Для досягнення цих цілей ставляться завдання сприяння впровадженню нових сучасних, енергоефективних і ресурсозберігаючих технологій в житлове будівництво і виробництво будівельних матеріалів, використовуваних в житловому будівництві.

Важливою складовою в ряду потреб людини, пов'язані з екологією довкілля, є екологічно комфортне житло. У поняття «комфорт» входять такі основні складові як параметри мікроклімату, рівень шуму, освітленості і т.д.

Питання екологічності виробництва будівельних матеріалів і безпеку самих матеріалів сьогодні набувають все більшого значення.

Матеріали, використовувані в будівництві, не повинні виділяти токсичних речовин, рівень радіоактивного випромінювання повинен бути мінімальним, шкоди навколишньому середовищу в процесі виробництва повинен бути зведений до мінімуму.

Сухопресовані вироби виготовлені відповідно до розроблених нормативним стандартам можуть містити різні види наповнювачів, мають привабливий зовнішній вигляд, рівномірне забарвлення, можуть бути пофарбовані природними барвниками різної кольорової насиченості.

Ця цегла крім високої міцності володіє поліпшеною якістю поверхні (без тріщин, просічок, слідів перепалу і ін.), постійністю геометричних форм і

розмірів. Це дозволяє зводити будівлі з мінімальною витратою будівельного розчину, високою якістю зовнішніх поверхонь, які не потребують штукатурних робіт.

Важливим завданням в сучасних умовах виступає збільшення виробництва ефективних стінових виробів з використанням наявних виробничих фондів і з найменшими витратами енергії на їх виробництво, що суттєво вплине на ціноутворення і споживчий попит на ці вироби.

Основним способом підбору складів сумішей для пресування залишається підбір співвідношення між в'язучим і заповнювачем за заданими фізико-механічними, технологічними та експлуатаційними властивостями [41]. При цьому випробовуються зразки з різним співвідношенням в'язуче-заповнювач. Підібравши в'язуче, проектують склад суміші. Під цим розуміється встановлення оптимального кількісного співвідношення складових суміші, що забезпечують задану надійність матеріалу в процесі експлуатації та економічну доцільність з урахуванням його призначення.

Проектування складів сумішей здійснюється в декілька стадій: - вибір показників властивостей композиційних матеріалів, що визначаються умовами експлуатації матеріалу в споруді [41]:

- визначення властивостей вихідних компонентів (заповнювачів, в'язучих, домішок) відповідно до існуючих ДСТУ;
- вибір виду в'язучого і добавок; виготовлення сумішей і зразків на основі заповнювачів, в'язучих і добавок та їх зберігання в необхідних умовах;
- випробування зразків відповідно до існуючих методик.

З метою розробки технологій для підвищення експлуатаційних властивостей стінових виробів проводилися дослідження [51] в яких була запропонована технологічне рішення отримання ефективних безвипалювальних стінових будівельних матеріалів на основі горілих порід родовищ Красноярського краю. Наведено результати досліджень основних експлуатаційних властивостей розроблених матеріалів. Розглянуто технологічні способи виготовлення безвипалювальних стінових матеріалів на основі горілих

порід. Встановлено, що вироби на основі горілих порід можна порівняти по міцності при стисненні з керамічною цеглою (ГОСТ 530-2012), але мають значно більш високу міцність при вигині, ніж у керамічної цегли даної марки. Використання горілих порід (глієжі), є попутним продуктом при видобутку вугілля і для виробництва місцевих стінових будівельних матеріалів економічно доцільно їх застосування на думку авторів, так як вони поєднують в собі ряд позитивних властивостей - низьку щільність, необхідну міцність, знижений водопоглинання. Декоративність таких виробів представлена яскравою, красивою забарвленням горілих порід, що дає можливість виготовляти з них лицьові стінові вироби світло-рожевих, жовтих, бурих і червоних тонів без введення фарбувальних пігментів.

Авторами цих досліджень [51] був зроблений вибір на користь методу напівсухого пресування, який максимально ефективний при виробництві даної розробленої рецептурою суміші і дає можливість отримати цеглу ідеальної форми з мінімальними відхиленнями геометричних розмірів, глянсовою поверхнею всіх площин, високої міцності, з невеликим водопоглинанням при зниженій витраті цементу. І до того ж забезпечує достатню морозостійкість (ГОСТ 530-2012).

Таким чином, розроблені склади і технологія [51] можуть бути рекомендовані для виробництва ефективних безвипалювальних стінових будівельних матеріалів, що відповідають потребам сучасного будівництва.

На сьогоднішній день дослідженням можливостей застосування горілих порід займаються у ряді промислових регіонів України. [52].

Близькість мінералогічного складу відвальних вугільних порід до неорганічних будівельних матеріалів дозволяє розглядати терикони як техногенні поклади корисних копалин. Однак існує ряд факторів, що впливають на експлуатаційні характеристики будівельних матеріалів які мають горілі породи [53]. Актуальність цієї проблеми визначається недоліком кондиційної сировини для виробництва неорганічних в'язучих матеріалів в

Україні. В роботі [53] вивчені відвальні горілі породи шахти "Ольховатська" Донецької області.

Головним недоліком є нерівномірний випал породи в терриконі і, отже, варіювання хімічного і мінералогічного складу породи по террикону. Найбільше варіюється вміст оксиду заліза (III). Горілі породи також можуть містити небажані домішки незгорілого вугілля і глинистих сполук.

Розглядати відвальні породи в цьому випадку необхідно як компоненти техногенно-зміненого радіаційного фону [53]. Тому їх використання в складі сумішей для виробництва цегли може привести до підвищення дози опромінення людей.

Нормування враховує один з небезпечних факторів - гамма-випромінювання матеріалів. Другий фактор радіаційної безпеки - виділення ізотопів радону будівельними матеріалами в сьогоденній час нормами радіаційної безпеки України не враховується. Тому зберігається певна небезпека при використанні матеріалів з підвищеною питомою активністю ізотопів  $^{226}\text{Ra}$ , при природному розпаді яких утворюються ізотопи  $^{222}\text{Rn}$ .

Диффундируючи по порах і тріщинах будівельного матеріалу, ізотопи радону потрапляють в обсяг приміщення. Існує пряма кореляція між питомою активністю радію і об'ємною концентрацією радону в повітрі приміщення, підвищення якої є причиною збільшення легеневої дози опромінення людини. З розглянутих фракцій горілої породи найбільш небезпечними з позицій радоновиділення є дрібні фракції  $<2,5$  мм і особливо  $<0,63$  мм. Таким чином, з позицій радіаційної безпеки для використання у виробництві будівельних матеріалів можна рекомендувати найбільш велику фракцію  $> 20$  мм [53]. Отже, в кожному окремому випадку питання про використання відвальних горілих порід має вирішуватися після попереднього вивчення представницької проби і її поділу на окремі гранулометричні фракції.

Позитивною рисою при оцінці горілих порід з позицій їх використання в якості наповнювачів бетонів є відсутність незгорілого вугілля і колчеданів (піриту і маркізіта). Дані домішки володіють високим водопоглинанням,



великим капілярним всмоктуванням, гідрофільним характером поверхні і здатністю вступати в реакції з киснем і водою, що призводить до змін в об'ємі отверділого виробу [54].

Застосування високоміцного бетону і деякі особливості його властивостей і поведінки при циклічному впливі негативної температури дають привід звернутися до проблеми об'єктивної оцінки довговічності бетонних дрібноштучних сухопресованих виробів при сезонному заморожуванні і наступному витримуванні в нормальних умовах.

Властивості високоміцного бетону (міцність, проникність, статичний і динамічний модулі пружності), знижені при циклічному заморожуванні-відтаванні, при наступному витримуванні в нормальних умовах і особливо в водному середовищі можуть бути частково відновлені [55]. Зниження фізико-технічних характеристик пов'язано з деструктивними процесами, а відновлення - з триваючою в нормальних умовах гідратації цементу, реалізацією залишкового клінкерного фонду. Ступінь деструкції модифікованого добавкою МБ-30С бетону при морозному впливі в порівнянні зі звичайним менше, що є наслідком підвищеної міцності, пов'язаної з особливостями фазового складу цементного каменю і дисперсністю його структури. Ступінь самозалікування, навпаки, вище, ніж у звичайного бетону, що пов'язано з інтенсивністю гідратації залишкового клінкерної фонду. Явище самозалікування бетону має затухаючий характер. Його потенціал зменшується в міру вичерпання залишкового клінкерної фонду і підвищення ступеня гідратації, а також інтенсифікації деструктивних процесів. Автори виявили тенденції [55], які свідчать, що експлуатаційні властивості бетону з органо-мінеральним модифікатором МБ-30С, що зазнає в зв'язку з кліматичними умовами циклічного заморожування-відтавання і витримуванню в нормальних температурно-вологісних умовах, зберігаються значно довше, ніж у звичайного бетону. Реальна довговічність бетону з органо-мінеральну модифікатором МБ-30С при морозному впливі вище рівня, який зазвичай визначається маркою бетону по морозостійкості.

Тенденції підвищення міцності при використанні цементу з невеликою кількістю шлаку спостерігається для всіх добавок. В нормальних умовах найкращі показники для бетонів з пластифікатором підвищеної ефективності "Релаксол 3.3" і суперпластифікаторів С-3. Такі властивості сухопресованих виробів представлені згідно запропонованої технології (таблиця 3.7; рисунок 3.7).

Таблиця 3.7- Кінетика зростання міцності сформованих виробів

Домішка	Марка цементу	Міцність при стиску сухопресованих виробів, МПа, діб		
		3	7	28
Еталон	ПЦ II/A-III 400	15,7	22,9	31,4
«Релаксол 3.3»		26,4	33,9	46,5
ПФС		21,6	29,4	40,8
СП-7		26,3	34,0	48,7
С-3		27,8	35,8	49,5

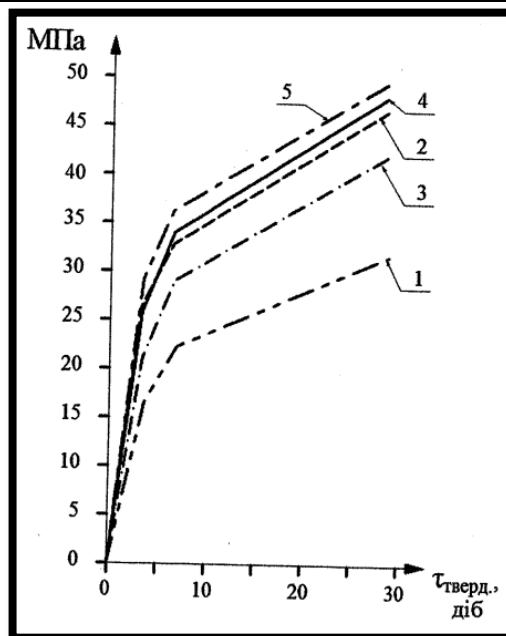


Рисунок 3.7 Кінетика зростання міцності сформованих виробів.

1- еталон; 2- "Релаксол 3.3"; 3 - ПФС; 4- СП-7; 5- С-3.

Вироби на цементних в'язучих використовують для зведення несучих і самонесучих огорожувальних конструкцій житлових, громадських і виробничих будинків, на гіпсових в'язучих - для внутрішніх стін і перегородок.

Важливою умовою для експлуатації несучих і самонесучих огорожувальних конструкцій житлових, громадських і виробничих будинків є використання сухопресованих виробів відповідно до проектної документації з урахуванням усіх індивідуальних характеристик та властивостей цих виробів.

Також проведені дослідження та представлені фізико-механічні властивості сухопресованих виробів за результатами теоретичних та експлуатаційних досліджень в технологіях сухопресування.

Підібрані рецептури складів для виготовлення штучних сухопресованих стінових виробів наведені у таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 - Порівняння фізико механічних властивостей виробів серед відомих та запропонованих технологій виробництва

№ п.п.	Технології виробництва	Параметри технології			Властивості виробів			
		P, МПа	t°C	t, год	МПа	$\rho_0$ , кг/м <sup>3</sup>	F	W, %
Відомі								
1	Силікатна цегла	40	150-220	18	5-30	1700-1950	25	16
2	Керамічна цегла	30	1050	12	2,5- 25	1550-1700	25	12
Запропоновані								
3	цемент домений шлак супесь «Релаксол Темп» Милонафт	25-30	нормальна	2,5-3	17	2100-2200	35	8
4	цемент зола виносу ТЕС супесь «Релаксол Темп»	25-30	нормальна	2-3	15	1900-2100	35	7,5
5	цемент вапняк супесь «Релаксол Темп	25-30	нормальна	2-4	12	1600-1850	35	9

Таким чином, ефективними способами модифікації сухопресованих виробів з метою управління їх фізико-механічними характеристиками і істотного поліпшення експлуатаційних властивостей є використання заповнювачів оптимальної гранулометрії, а також введення до складу сумішей необхідних домішок, мінеральних компонентів и.т.п. в оптимальних концентраціях, що визначаються за спеціальними методиками та підібраними рецептурами складів для сухопресованих сумішей.

## ВИСНОВКИ

1. Аналіз літературних джерел свідчить про важливий напрямок розвитку технологій виготовлення штучних стінових виробів на основі цементних в'язучих, як альтернативний по відношенню до традиційних керамічних та силікатних з їхньою підвищеною енергозатратністю у зв'язку з необхідністю температурного обробітку.

2. В технологіях виготовлення цементних штучних стінових виробів використовують сухі суміші, які формують на пресовому обладнанні при високому тиску або зусилля тиску поєднується з вібраційною дією.

3. Однією з переваг технології сухопресованих штучних стінових виробів є їхнє виготовлення з використанням мінеральних складових, в тому числі промислових відходів як вторинної сировини та сировини природнього походження. В якості складових компонентів можуть бути доменні шлаки, шлами, зола виносу ТЕС, відсівні вапнякових і доломітових порід, супісі, леей, суглинки.

4. Для покращення технологічності процесу формування до складу суміші доцільно включати домішки, які дозволяють збільшити пластичність (С-3, «Релаксол»), терміни твердіння («Релаксол Темп»). Розширити кольорову виразність виробів для облицювання фасадів можливо за рахунок включення в якості пігментів відходів залізорудного переробітку (м. Кривий Ріг), піролюзиту (м. Марганець).

5. Проведені дослідження показали, що міцність штучних стінових сухопресованих виробів може досягати 2 200 МПа з вмістом: цементу становить 280-300 кг/м<sup>3</sup>, шлаку - 1600-1700 кг/м<sup>3</sup>, супсь 160-180.

Для виготовлення штучних стінових виробів на основі цементу можуть бути рекомендовані з вмістом компонентів для технології сухо пресування: портландцемент М500 11... 16%, тонкомолотий доменний шлак 30...60%, відсівні вапнякові та доломітові 30...60%, глиниста сировина 40... 70%.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сабитов Ерлан Енжилович. Технология прессования высокоточных пазогребневых пустотелых блоков из бетонов с заполнителями на основе промышленных отходов : автореферат. Дис. канд. техн. наук : 05.23.08 : 2003 171 с. РГБ ОД, 61:04-5/657-1.
2. Гошовський С. В., Красножон М. Д., Люта Н. Г., Василенко А. П., Костенко М. М. / Мінерально-сировинна база України / Стаття 1. Щодо необхідності внесення змін до Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року. - 02.2014
3. Загальна характеристика металургійних шлаків/ С. А. Щербак, Н. В. Калиниченко, М. О. Єлісеєва І Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. - 2010. - №2 - 3. С. 23 - 28. - рис. 2. - Бібліогр. : (21 назв).
4. Дворкин Л. И. Строительные материалы из отходов промышленности: учебно- справочное пособие / Л. И. Дворкин, О.Л. Дворкин.: Фенікс, 2007-368 с.
5. Шлакопортландцемент: вяжущие на основе шлаков. [Електронний ресурс] режим доступу: [http://www.vashdom.ru/articles/akpr\\_33.htm](http://www.vashdom.ru/articles/akpr_33.htm). Назва з екрану.
6. Никопольские ферросплавы / М. И. Гасик, В. С. Куцин, Е. В. Лапин и др. - Днепропетровск: „Системные технологии”, 2004. - 272 с.
7. Большаков В. И. Возможности использования отходов промышленности при изготовлении строительных материалов/ В. И. Большаков, Н. В. Калиниченко, С. А. Щербак. // Строительство, материаловедение, машиностроение. Сб. науч. тр. Вып. 48, ч.3, (серии «Стародубовские чтения»). - Днепропетровск, ПГАСА, 2009. - С. 255-259.
8. Металургія марганцю України / Б. Ф.Величко, В. О. Гаврилов, М. І. Гасик та ін. - К.: Техніка, 1996. - 472 с.

9. Большая советская энциклопедия. [Электронный ресурс] режим доступа: bse\_lib.com. - Назва з екрану.
10. Щербак С. А. Научные основы управления структурой строительных материалов на основе металлургических шлаков: автореферат. Дисс. д-ратехн. наук: - Днепропетровск, 2000. - 345 с.
11. Никифоров А. П. Тяжелые бетоны на шлакосодержащих вяжущих с комплексными модификаторами. - Днепропетровск: „Пороги”, 1996. -232 с.
12. Волженский А. В. Минеральные вяжущие вещества: технология и свойства. Учебник для вузов/ Волженский А. В., Бузов Ю. С., Колокольников В. С. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Стройиздат, 1979. - 476 с.
13. Доменные шлаки в строительстве: труды совещания по комплексному использованию доменных шлаков в строительстве / Ред. Кол. А. Б. Виткуп и др. - К.: Госстройиздат УССР, 1956. - 450 с.
14. Устойчивость и активность шлаков. Вторичные строительные материалы. Технологии строительных материалов из отходов разборки зданий и металлургии. [Электронный ресурс]. - режим доступа: <http://s-center.ru/2009/06/ustojchivost-i-aktivnost-shlakov/>. - Назва з екрану.
15. Металлургические шлаки в строительстве: пособие для научных работников, инженеров и студентов высших технических учебных заведений. / В. И. Большаков, В. З. Борисовский, В. Д. Глуховский и др. - Днепропетровск, 1999.-114 с.
16. Комплексная переработка и использование металлургических шлаков в строительстве/ В. С. Горшков, С. Е. Александров, С. И. Иващенко, И. В. Горшкова., 1985. - 273 с.
17. Напрямки і перспективи використання відходів металургійної, гірничорудної та хімічної промисловості в будівництві. / В. І. Большаков, Г. М. Бондаренко, А. І. Головка та ін. - Дніпропетровськ: „Gaudeamus”, 2000. - 140 с.
18. В. І. Калашников, М.Ю. Малькова, І.А. Єлісеєв, В.В. Маслов ПДУАБ р Пенза, БДТУ

19. В. И. Калашников. Новые энерго- и ресурсосберегающие наукоемкие технологии в производстве строительных материалов: сборник статей международной научно-технической конференции. - под. ред, 2005.
20. В. Ю. Нестеров, М.А. Дудукин, Ю.С. Кузнецов, М.О.Коровкин, М.Н. Мороз, Сы Фан, Т.А. Войкина. Утилизация промышленных отходов в производстве карбонатношлаковых материалов. / Международная научно-техническая конференция: сборник статей. 2005.
21. В. А. Попов Материалы в машиностроении Неметаллические материалы: Справочник. Том5. - 1999 стр. 505.
22. В. Е. Лотош.: Переработка отходов природопользования. -1983 г. стр 183.
23. С. М. Ицкович: Заповнювачі для бетону. - 2002 р. стр 45.
24. О. В. Тараканов, В. М. Журавлев: Сухие строительные смеси с использованием местных сырьевых материалов / Международная научно-техническая конференция: сборник статей. - г. Пенза, 2005.
25. Ю. М. Бутт Химическая технология вяжущих материалов. - 1980. стр. 49.
26. П. А. Доржиев Безобжиговые цементно-глиняные стеновые материалы 05.23.2005 - Строительные материалы и изделия: автореферат. Дисс. на стиск, уч. степени канд. тех. наук.
27. В. О. Буцький. Рациональна вологість бетону на основі доломітового заповнювача для виробництва цегли методом напівсухого пресування. Збірник наукових праць УкрДАЗТ, вип.15, 2015.
28. В. О. Буцький. Активатор барабанно-валкового типу безперервної дії для комплексів по виробництву дрібноштучних виробів: Дис. канд. техн, наук: 05.05.021 Харк. держ. техн, ун-т буд-вата архіт. -Х., 2010. -208 с.
29. М.Ф. Друкований Очеретний В.П.: Технологія виготовлення пресованих стінових виробів на основі золокорбонатного бетону. -Збірник наукових праць « Будівельні конструкції» за ред. Кривошеев П.І. 2002 р.



30. В. П. Очеретний, В.А. Королькевич. Лужне золо карбонатне в'язуче // Вісник ВПІ. - 1999. -№4 -С. 22-24.
31. В. П. Очеретний, В. А. Королькевич Методика визначення оптимальних параметрів пресування у залежності від фізико-механічних властивостей прес- суміші / Вісник ВПІ. - 1997. -№2 -С. 9-12.
32. В.Н. Красовский издательство. Технология переработки полимеров: Прессование изделий, изд.: Химия: -1989 г. стр: 120.
33. О.Ю. Крот. Наукові основи створення обладнання на базі валкових механічних активаторів для виробництва цегли. // Харківський національний університет будівництва і архітектури. Вісник ХНУБА, вип. 57, 2012.
34. Патент 56265UA, МКІ В02С 15/06, В28С 1/10. Активатор / Болотських М.С., Савченко О.Г., Федоров Г.Д., Крот О.Ю., Волков В.І. - №2000042077; заявл. 11.04.2000; опубл. 15.05.2003, Бюл. №5.
35. П.В. Кривенко. Будівельне матеріалознавство: підручник. - 2004. - 704 с.
36. К.К. Попов, М.Б.Каддо, О.В. Кульков. Оценка качества строительных материалов. - Москва. 2004.
37. ДСТУ Б В.2.7-7: 2008 Будівельні матеріали. Вироби бетонні стінові дрібноштучні. Технічні умови.
38. Т. О. Костюк. Цементно-піщані бетони та вироби, отримувані напівсухим пресуванням без тепловологової обробки: дис. на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук. - Харків. - 1999.
39. В.В. Белов, М.А. Смирнов. Модифицированные сухие общестроительные смеси оптимальной гранулометри.: научно-технический и производственный журнал // Строительные материалы. 09.2006.
40. Соломатов В.И., Бобрышев А.Н., Химлер Н.Г. Полимерные композиционные материалы в строительстве. М. : Химия. 1988. 309 с.
41. В. П. Очеретний, В. В. Смоляк, В. П. Ковальський, А. В. Бондар. Науково-технічний збірник: Сучасні технології, матеріали і конструкції в

м будівництв. Проектування складів сухих будівельних сумішей з мінеральними добавками. Том 8, № 1,- 2010.

42. Дергунов С. А. Проектирование составов сухих строительных смесей общестроительного назначения // Строительные материалы. - 2007. - № 10. - С. 9-12.

43. А.В. Ушеров-Маршак. Добавки в бетон: прогресс и проблемы. / журнал «Строительные материалы», 2006.

44. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. 2 е изд. М.: Стройиздат 1998. 768 с.

45. Ратинов В.Б., Розенберг Т.И., Добавки в бетон. М: Стройиздат. 1989. 188 с.

46. Химические и минеральные добавки в бетон / Под ред. А.В. Ушерова - Маршака. Харьков: Колорит. 2005. 280 с.

47. Вовк А.И. Современные представления о механизме пластификации цементных систем И Тр. 2-й Всероссийской конф. «Бетон и железобетон - пути развития». 5-9 сентября 2005 г. Москва. Т. 3. С. 740-753.

48. Штарк Й., Фриберг М. Некоторые аспекты химии цемента в самоуплотняющемся бетоне И Цемент и его применение. 2005. № 6. С. 58-60.

49. Ушеров-Маршак А.В. Кинетическая селективность действия добавок на процессы твердения цемента И Неорганические материалы. 1999. Т. 35. № 12. С.1531-1534

50. Ушеров-Маршак А.В. Оценка эффективности влияния химических и минеральных добавок на ранние стадии гидратации цементов // Неорганические материалы. 2004. Т. 40. № 8. С. 1014-1019.

51. И.Г. Енджиевская, Н.Г. Васильовская, Г.П. Баранова, И.С. Ворошилов Стеновые материалы на основе горелых пород / Журнал «Инженерные технологии». Сибирский федеральный университет. - Красноярск. - 04. 2016.

52. Мнухин А.Г. Породные отвалы - сырье будущего. Уголь Украины. 2009, 5, 28-32.

53. Э.Б. Хоботова М. И. Уханёва. Изучение минералогического и радионуклидного составов отвальной горелой угольной породы. УДК 622.333-17:691 Вісник ХНУ. - Харьков. - 2010.

54. Книгина Г.И. Строительные материалы из горелых пород / Г.И. Книгина. - М.: Стройиздат, 1966. - 297 с.

55. С.С. Каприелов, А.Л. Гольденберг. Свойства высокопрочного бетона, подвергнутого периодическому воздействию температуры. / Научно-технический и производственный журнал «Строительные материалы» -2013.