

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет
Кафедра "Будівельні, дорожні машини і будівництво"

Допустити до захисту
зав. кафедрою БДМБ
канд. техн. наук, професор
_____ Настоящий В.А.
" ____ " _____ 2024 р.

Кваліфікаційна магістерська робота

на тему:

**«Дослідження фібропінобетону для будівництва Собору Святого
Павла у місті Суми»**

ДФБС 2319203 А
Альбом документів

Керівник магістерської роботи
канд. техн. наук, доцент
_____ Дарієнко В.В.
" ____ " _____ 2024 р.

Виконав студент гр. БІ-23М-1
спеціальності
192 Будівництво та цивільна інженерія

_____ Босенко М.А.
" ____ " _____ 2024 р.

Кропивницький – 2024 рік

Центральноукраїнський національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет, відділення **БТЕ**

Кафедра, циклова комісія **Будівельні, дорожні машини і будівництво**

Освітньо-кваліфікаційний рівень **магістр**

(шифр і назва)

Спеціальність **192 Будівництво та цивільна інженерія**

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри БДМБ,

к.т.н. проф. Настоящий В.А.

“ ” 2024 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Босенко Максим Андрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) **Дослідження фібропінобетону для будівництва Собору Святого Павла у місті Суми**

керівник проекту (роботи) к.т.н. доцент Дарієнко В.В.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ 07”08 2024 року №34 -13

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 25 листопада 2024р

3. Вихідні дані до проекту (роботи): нормативна та довідкова література по темі завдання.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. *Архітектурно-будівельний розділ.*

2. *Науково-дослідний розділ.*

3. *Охорона праці.*

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

Не менше 10 плакатів графічних матеріалів які ілюструють методику та результати досліджень

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Архітектурно-будівельний	доцент Яцун В.В.		
Науковий	доцент Дарієнко В.В.		
Охорона праці	доцент Дарієнко В.В.		

7. Дата видачі завдання 02. 09. 2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Розробка архітектурно-будівельного розділу	27.09.24 - 10.10.24	
2	Розробка наукового розділу	10.10.24 - 15.11.24	
3	Розробка заходів з охорони праці	15.11.24 - 20.11.24	
4	Оформлення альбому документів	20.11.24 - 25.11.24	

Студент

(підпис)

Босенко М.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Дарієнко В.В.

(прізвище та ініціали)

Анотація

Дана кваліфікаційна магістерська робота присвячена дослідженню властивостей фібропінобетону неавтоклавного твердіння, зокрема його міцності, деформативності та тріщиностійкості при дисперсному армуванні поліамідними волокнами. Фібропінобетон є перспективним будівельним матеріалом завдяки своїм високим теплоізоляційним властивостям, низькій щільності та можливості підвищення механічних показників за рахунок введення армуючих волокон.

У роботі розроблено методику виготовлення фібропінобетону з додаванням поліамідних волокон, проведено дослідження оптимальних параметрів дисперсного армування та проаналізовано вплив волокон на фізико-механічні властивості матеріалу. Основною метою роботи є визначення ефективності застосування фібропінобетону у конструкційних елементах будівель, що дозволить зменшити матеріаломісткість та підвищити стійкість будівельних конструкцій до навантажень і тріщиноутворення.

Застосування фібропінобетону у будівництві дозволяє значно знизити тепловтрати через стіни, зменшити вагу конструкцій та знизити витрати на матеріали. Результати досліджень демонструють, що введення поліамідних волокон у фібропінобетон не тільки підвищує його міцність на стиск і розтяг, а й покращує тріщиностійкість, зменшуючи ризик руйнування при експлуатаційних навантаженнях. Отримані результати можуть бути використані при проєктуванні та будівництві житлових і громадських споруд, зокрема для несучих і огорожувальних конструкцій.

Анотація

This qualification master's thesis is devoted to the study of the properties of non-autoclaved fibre-reinforced concrete, in particular its strength, deformability and crack resistance when dispersed reinforced with polyamide fibres. Fibre-reinforced concrete is a promising building material due to its high thermal insulation properties, low density, and the possibility of improving mechanical properties by introducing reinforcing fibres.

This paper develops a methodology for manufacturing fibre-reinforced concrete with the addition of polyamide fibres, studies the optimal parameters of dispersed reinforcement, and analyses the effect of fibres on the physical and mechanical properties of the material. The main objective of the work is to determine the effectiveness of fibre-reinforced concrete in structural elements of buildings, which will reduce material consumption and increase the resistance of building structures to loads and cracking.

The use of fibre-reinforced concrete in construction can significantly reduce heat loss through walls, reduce the weight of structures and cut material costs. Research results show that the introduction of polyamide fibres into fibre-reinforced concrete not only increases its compressive and tensile strength, but also improves its crack resistance, reducing the risk of failure under operational loads. The results obtained can be used in the design and construction of residential and public buildings, in particular for load-bearing and enclosing structures.

ВСТУП

На сучасному етапі будівельної індустрії питання підвищення теплоізоляційних характеристик будівельних матеріалів стає дедалі актуальнішим. Серед найбільш перспективних матеріалів для цього є пористі бетони, зокрема фібропінобетон. Основна перевага фібропінобетону полягає в його високих теплоізоляційних показниках, низькій щільності, а також у можливості поєднання з армуючими волокнами, що значно покращує механічні властивості матеріалу, роблячи його більш стійким до навантажень.

Фібропінобетон належить до групи неавтоклавних пористих бетонів, які є економічнішими в порівнянні з автоклавними аналогами, але мають деякі недоліки, такі як усадка та нижча однорідність. Додавання дисперсної арматури з поліамідних волокон значно підвищує міцність фібропінобетону, змінюючи його характер руйнування з крихкого на більш в'язкий, що, у свою чергу, дозволяє використовувати його в несучих конструкціях будівель. Експериментальні дослідження показали, що оптимальна концентрація волокон у фібропінобетоні становить до 2% об'єму твердої фази, що дозволяє підвищити міцність на 20-25%.

Таким чином, фібропінобетон має високий потенціал для використання в будівництві житлових і громадських будівель, зокрема для стінових огорожувальних конструкцій та несучих елементів, що робить його конкурентоспроможним порівняно з традиційними будівельними матеріалами.

Об'єкт дослідження

Вплив дисперсного армування на механічні властивості фібропінобетону при його використанні в конструкційних елементах будівель.

					ДФБС 2319203 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Дослідження фібропінобетону для будівництва Собору Святого Павла у місті Суми	Стадія	Лист	Листів
Розробив	Босенко					МР	1	
Перевір.	Дарієнко					ЦНТУ гр. Бі-23М-1		
Н. контр.	Яцун В.В.							
Затвердив	Настоящий							

Предмет дослідження

Фібропінобетон неавтоклавного твердіння, армований поліамідними волокнами, його міцність, деформативність і тріщиностійкість.

Методи дослідження

Теоретичні та експериментальні дослідження, які включають тестування зразків фібропінобетону на стиск, розтягування при вигині та розколювання.

Метою роботи є теоретичне обґрунтування та експериментальне підтвердження можливості застосування конструкційного фібропінобетона неавтоклавного твердіння в елементах цивільних будівель.

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити **наступні завдання:**

- встановити оптимальні параметри дисперсного армування при виготовленні фібропінобетонів конструкційного призначення;
- дослідити вплив дисперсного армування на параметри міцності і деформативних властивостей конструкційних фібропінобетонів неавтоклавного твердіння;
- теоретично обґрунтувати та експериментально підтвердити ефективність застосування конструкційних фібропінобетонів в елементах цивільних будівель, розрахованих на сприйняття згинальних навантажень.

					ДФБС 2319203 ПЗ	Арк.
						2
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АРХІТЕКТУРНО-БУДІВЕЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Розробка варіантів об'ємно-планувальних рішень

При проектуванні об'ємно-планувального рішення будівлі особливу увагу звертають на унікальність конструктивних елементів, намагаючись відходити від стандартів і типових рішень. Це пов'язано з тим, що об'єкт будівництва має свої специфічні архітектурні особливості, які вимагають індивідуального підходу.

Церква спроектована у формі хреста з круглими кутами та центральним внутрішнім радіусом 5 м. На західному фасаді розміщений вхід з тамбуром, який служить бар'єром для тепловтрат. Східний фасад має спеціальне заокруглення для розміщення вівтаря.

У проекті приміщення детально розподілені за призначенням: під номером 1 – вхідний тамбур, який виконує функцію теплоізоляції. Під номером 2 – дзвіниця на другому поверсі, яка має дерев'яні огорожі і сходову клітину (№7). Центральна зала (№3) розташована перед іконостасом і розширюється на північ і південь (№4 та №5 відповідно). Під номером 6 позначений вівтар, що є ключовим елементом для проведення богослужінь. Приміщення під номером 8 – дяковська, призначена для продажу церковних предметів (ікони, свічки, хрестики тощо). Запасники (№10) та інвентарна (№9) використовуються для зберігання церковного інвентарю.

Загальні розміри будівлі – 18 x 21 м, з відстанню між головними вісями 6 м. Тамбур має розміри 6 x 3 м. Стіни основного плану мають товщину 640 мм, а стіни тамбура і заокруглених частин – 510 мм. У конструкції передбачено стовпи розміром 770 x 770 мм.

Будівля має безкаркасну структуру з несучими стінами, зведеними з керамічної цегли, виготовленої на місцевому цегельному заводі. Вогнестійкість будівлі відповідає II класу. Враховуючи незначну агресивність

					ДФБС 2319203	Лист
						3
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

середовища, для облаштування покрівлі доцільно використовувати дерев'яні конструкції.

На кресленні подано різні варіанти фасадів будівлі, які відповідають українському бароковому стилю з елементами базилікальної архітектури, гармонійно вписуються в архітектурний вигляд міста.

1.2 Генеральний план

Запропоновано збудувати Собор Святого Миколая в місті Суми. Фасад церкви спроектований на основі існуючого проекту культової споруди в місті Ямпіль Сумської області.

Генеральний план майбутньої будівлі базується на ситуаційному плані, поданому на аркуші 1, в масштабі 1:2000. У центрі міста розташовано проектну будівлю – християнський храм. Він буде оточений іншими важливими будівлями, такими як хлібокомбінат, селищна рада, школа, автовокзал, житлові будинки, базар і адміністративні установи. Таке сусідство підкреслює вигідність розташування споруди саме на центральному перехресті міста, що створює зручність для мешканців.

Деталі розміщення будівлі представлені на генеральному плані в масштабі 1:500. Церква займе ділянку на вершині пагорба, як це видно з горизонтальних позначок, і буде розташована на околиці основних вулиць міста, поруч із меморіальним комплексом, присвяченим перемозі у Другій світовій війні. До західного фасаду церкви, який точно орієнтований за сторонами світу, веде асфальтована доріжка, оздоблена декоративною огорожею з ліхтарями з обох боків. Навколо храму планується розбити квітники, які будуть гармоніювати з кольорами фасадів, створюючи привабливий зовнішній вигляд.

Навколо церкви буде облаштована зона відпочинку з лавками, кущами та плодово-ягідними деревами. Зелені насадження разом з асфальтованими доріжками створять паркову зону в центрі житлового району. Поруч із

					ДФБС 2319203	Лист
						4
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

парковою зоною запроектовано автомобільну стоянку, яка буде відокремлена зеленими насадженнями від основної зони відпочинку.

На північному сході від паркової зони планується будівництво автономної котельні, яка обслуговуватиме церкву. Також передбачено пожежний резервуар для дотримання норм безпеки. У глибині парку облаштовано санітарний вузол на 12 осіб, що є важливою умовою для функціонування об'єкта.

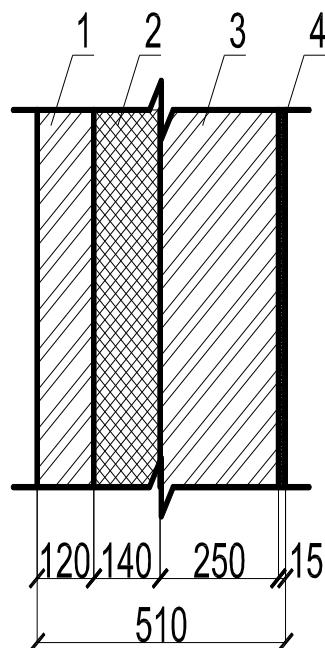
Розташування церкви в центрі міста не порушує загальний архітектурний ансамбль, а навпаки – гармонійно доповнює його. Церква органічно поєднується з іншими будівлями в місті, підкреслюючи його архітектурний стиль. Будівля матиме зручний під'їзд з усіх боків, враховуючи сполучення з головними магістралями, а також з в'їздами та виїздами. По периметру заплановано пішохідні доріжки, що поєднуються з проїжджою частиною вулиць.

ТЕП до генплану

№ п/п	Найменування	Од. вим.	Кількість
1	Площа ділянки	м2	13600
2	Площа забудови	м2	269
3	Площа зелених насаджень	м2	11690
4	Площа твердого покриття	м2	378

1.3 Розрахунок зовнішньої стінової огорожі на опір теплопередачі

Прийнята конструкція стінової огорожі показана на схемі:



1. шар цегли $\delta_1=0,120$ м, $\gamma_1=1800$ кг/м³;

2. утеплювач $\delta_2=0,140$ м;

3. шар цегли $\delta_3=0,250$ м, $\gamma_3=1800$ кг/м³;

4. вапняно-піщаний розчин $\delta_4=0,150$ м,
 $\gamma_4=1600$ кг/м³;

Зона будівництва – 1.

Нормативне значення опору теплопередачі, яке вимагається, становить 2,2 м²°С/Вт. Для обраної огорожувальної конструкції рівняння, що описує опір теплопередачі, має такий вигляд:

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_B} + \frac{\delta_1}{\gamma_1} + \frac{\delta_2}{\gamma_2} + \frac{\delta_3}{\gamma_3} + \frac{\delta_4}{\gamma_4} + \frac{1}{\alpha_H};$$

Фактичний опір теплопередачі огорожувальних конструкцій (R_0) має дорівнювати або перевищувати нормативне значення опору теплопередачі ($R_{0тр}$). Іншими словами, повинна виконуватися умова: $R_0 \geq R_{0тр}$.
 $R_0 \geq R_0^{mp}$,

Значення нормативного опору теплопередачі ($R_{0тр}$) для огорожувальних конструкцій, виражене в м²°С/Вт, визначається

					ДФБС 2319203	Лист
						6
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

відповідно до додатку 1 і залежить від кліматичної зони, де здійснюється будівництво.

Фактичний опір теплопередачі огорожувальних конструкцій (R_0), також виражений в $\text{м}^2\text{°C/Вт}$, обчислюється за спеціальною формулою. Ця формула враховує характеристики матеріалів та конструктивні особливості огорожувальної конструкції.

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_B} + R_k + \frac{1}{\alpha_H}, \text{ де}$$

α_B - це коефіцієнт теплосприйняття внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції. Його значення можна знайти у таблиці 4 джерела [1] або в додатку 2. Вимірюється у $\text{Вт/м}^2\text{°C}$.

α_H - це коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції. Його значення наведені у таблиці 6 джерела [1] або в додатку 3. Також вимірюється у $\text{Вт/м}^2\text{°C}$.

R_k - це термічний опір огорожувальної конструкції, що вимірюється у $\text{м}^2\text{°C/Вт}$. Для конструкцій, що складаються з кількох шарів, R_k розраховується за спеціальною формулою, яка враховує характеристики кожного шару.

$$R_k = R_1 + R_2 + \dots + R_N + R_{ВП}, \text{ де}$$

$R_1, R_2, \dots, R_N$ - це термічні опори окремих шарів огорожувальної конструкції. Кожен шар має свій власний опір, і всі вони вимірюються в $\text{м}^2\text{°C/Вт}$.

$R_{ВП}$ - це термічний опір замкнутих повітряних прошарків у конструкції. Його значення можна знайти в додатку 4 джерела [1] або в додатку 5. Також вимірюється в $\text{м}^2\text{°C/Вт}$.

Термічний опір кожного окремого шару огорожувальної конструкції обчислюється за спеціальною формулою. Ця формула враховує характеристики матеріалу та товщину конкретного шару.

$$R = \frac{\delta}{\lambda}, \text{ де}$$

					ДФБС 2319203	Лист
						7
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

- δ - товщина окремого шару огорожувальної конструкції, вимірюється в метрах (м).
- λ - коефіцієнт теплопровідності окремого шару огорожувальної конструкції. Його значення можна знайти в додатку 3 джерела [1] або в додатку 7. Вимірюється у Вт/м²°С. Вибір значення залежить від умов експлуатації конструкцій (А або Б).
- Умови експлуатації огорожувальних конструкцій (А або Б) визначаються згідно з додатком 3 джерела [1] та залежать від вологової зони району будівництва.
- Встановлені значення:
 - α_B (коефіцієнт теплосвоєння внутрішньої поверхні) = 8,7 Вт/м²°С
 - α_H (коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні) = 23 Вт/м²°С
 - Вологовий режим приміщення: нормальний (згідно з додатком 4, при $t_{в} = 18$ °С та $\psi_{в} = 55\%$)
 - Вологова зона району будівництва: нормальна (додаток 9)
 - Умови експлуатації огорожувальних конструкцій: Б (додаток 6)
 - Коефіцієнти теплопровідності матеріалів у конструкції стіни потрібно визначити окремо для кожного шару.

$$\lambda_1=0,81 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}, \lambda_3=0,81 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}, \lambda_4=0,81 \text{ Вт/м}^\circ\text{С},$$

$$R_0 = \frac{1}{8.7} + \frac{0.12}{0.81} + \frac{0.14}{\lambda_2} + \frac{0.25}{0.81} + \frac{0.02}{0.81} + \frac{1}{23} \geq R_0^{mp} = 2,2$$

					ДФБС 2319203	Лист
						8
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

$$\lambda_2=0,089 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}.$$

В якості утеплювача конструкції стіни можна використовувати такі матеріали:

- мати мінераловатні прошивні $\gamma=125 \text{ кг/м}^3$, $\lambda=0,07 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$;
- пінополістирол $\gamma=150 \text{ кг/м}^3$, $\lambda=0,052 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$;
- пінополіуретан $\gamma=80 \text{ кг/м}^3$, $\lambda=0,05 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$;
- та інші.

Висновок: в якості утеплювача приймаємо фібропінобетон ($\gamma=400 \text{ кг/м}^3$, $\lambda=0,07 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$).

1.4 Конструктивне рішення

Фундамент для будівлі Собору Святого Миколая заплановано як монолітний залізобетонний. Цей фундамент призначений для того, щоб витримувати статичні навантаження від несучих цегляних стін, куполів, сводів церкви.

Підлога будівлі піднята на 1,5 м над рівнем землі, а детальна схема її шарів подана на кресленнях. Основні несучі стіни, які підтримують купольне покриття, мають товщину 640 мм, що забезпечує необхідну жорсткість для конструкції. Для додаткової стійкості в кутах передбачено цегляні стовпчики. Товщина заокруглених стін та стін тамбура становить 510 мм, оскільки в цих ділянках навантаження від покрівлі менші.

Внутрішні стіни церкви мають арочні отвори, що надає інтер'єру легкості. Зовнішні стіни мають вікна напіварочної форми, як це вказано в специфікації на кресленнях. У західному фасаді є двоє воріт, а в південному та північному фасадах – ще двоє. Підлога утеплена шаром керамзиту для забезпечення теплоізоляції.

Вікна та двері будуть індивідуально виготовлені з дерева, що надасть споруді унікального вигляду, як це зазначено на кресленнях. Інтер'єр храму прикрашений фресками та розписами різнокольоровими фарбами поверх

					ДФБС 2319203	Лист
						9
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

високоякісної штукатурки. Передбачено місця для розміщення навісних ікон та церковного приладдя.

Покрівля над заокругленими приміщеннями, вівтарем та тамбуром виконана за крокв'яно-балочною системою з використанням місцевих дерев'яних матеріалів, таких як балки, крокви, мауерлати тощо. Хрестоподібний план храму плавно переходить у цегляний барабан, який завершується восьмигранними сводами. Як ззовні, так і всередині, своди прикрашені фресками та розписами.

Барабани мають восьмикутний план із віконними отворами на кожній грані. Завершенням конструкції є купольне покриття з металопрокату та металевих покрівельних листів, увінчане хрестами.

Західний, південний та північний фасади обладнані сходовими маршами із залізобетону та цегли. Відмостка навколо будівлі має товщину 80 мм, ширину 1000 мм і ухил менше 1:10 для відведення води від фундаменту.

Фасади будівлі зовні покриваються штукатуркою, а потім розписуються фарбами та доповнюються декоративними елементами у стилі, що відповідає архітектурному задуму. Для додаткового акценту використовується фігурна кладка цегли та барельєфи.

					ДФБС 2319203	Лист
						10
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

2 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Сучасні проблеми отримання ніздрюватих бетонів

Сьогодні промислове виробництво активно розвивається, і з'являються все нові технології, що стають дедалі досконалішими. Люди почали мислити по-іншому, що вплинуло і на вимоги до будівельних матеріалів. Тепер важливо не тільки, наскільки матеріал міцний, але й наскільки він привабливий з точки зору зовнішнього вигляду, а також наскільки добре зберігає тепло та блокує шум. У зв'язку з цим останніми роками з'являється багато нових досліджень та розробок, що стосуються виробництва ніздрюватих бетонів, зокрема пінобетону [16].

Щоб отримати бетон із порами всередині, застосовують три основні способи:

- Додають піноутворювач у розчин і спінюють суміш.
- Змішують вже готову піну з рідким бетонним розчином.
- Викликають виділення газу в суміші, що призводить до утворення пор під час хімічної реакції між газоутворювачем і іншими компонентами суміші.

Багато дослідників зараз намагаються зрозуміти, як структура ніздрюватого бетону впливає на його властивості. Наприклад, дослідження Р. П. Сахарова та П. В. Корнієнка [18] показали, що для кращої структури бетону важливо зменшити кількість води у вихідній суміші. Це дозволяє отримати більш щільні пори, які утворюються в процесі випаровування води, що залишилася, а також забезпечити заповнення міжпорових проміжків.

Формування структури ніздрюватого матеріалу є ключовим процесом у виробництві таких бетонів. Його тривалість та умови завершення залежать не тільки від щільності бетону, але й від властивостей в'язучих матеріалів, заповнювачів та піни, що використовується у суміші [5].

					ДФБС 2319203	Лист
						11
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

У виробництві ніздрюватих бетонів можна використовувати різні види в'язучих матеріалів, серед яких цементи, вапно та магнезіальні в'язучі. Проте, за словами П. І. Баженова, М. С. Сатина та А. Т. Баранова в їхніх дослідженнях [16,18], найважливішим в'язучим для пінобетону є портландцемент.

Відповідно до інструкцій з виробництва ніздрюватих бетонів [17], початок тужавіння цементу повинен настати не пізніше, ніж через 2 години після замішування, а завершення - не пізніше, ніж через 4-6 годин. Якщо суміш тужавіє повільно, вона може піддатися усадці та розшаруванню, що часто призводить до появи тріщин під час автоклавної обробки [18]. Також затримка в тужавінні може подовжити виробничий цикл, що є небажаним для великих обсягів виробництва.

Однак при невеликих обсягах виробництва, де вироби твердіють у нормальних умовах, точні строки схоплювання мають менше значення. Проте вони все ж можуть вплинути на фізико-технічні характеристики пінобетону [10]. Для досягнення стабільної структури пінобетонної суміші, швидкість тужавіння має бути достатньо високою, щоб суміш не осідала під час формування структури, яка зазвичай займає 2-3 години.

На практиці часто використовують цементи, які не відповідають вимогам за швидкістю тужавіння. У таких випадках на заводах застосовують прискорювачі, як-от сірчаноокислий глинозем, пергідроль, хлористий натрій, хлористий кальцій та інші реагенти. Водночас додавання рідкого скла у вапняно-піщану суміш може уповільнити тужавіння [21].

Окрім в'язучих, важливу роль у виробництві пінобетону відіграють піноутворювачі, які містять поверхнево-активні речовини. На сьогодні, разом із традиційними клеєканіфольними та алюмосульфанафтоновими піноутворювачами, з'явилися нові продукти, як-от вітчизняні Пеностром та МОРПЕН, а також зарубіжні НЕОПОР і БВ-31. Дослідники зазначають, що тип піноутворювача значно впливає на характеристики піни, структуру

пінобетону, гідратацію цементу та загальні експлуатаційні властивості продукції. Хімічні властивості піноутворювачів, а також якість використовуваної сировини безпосередньо впливають на технологічні та економічні параметри виробництва пінобетону [22].

Останні кілька років було розроблено нове покоління піноутворювачів, що є результатом постійних досліджень і вдосконалення технологій. Це призвело до появи нових назв пінобетону, які часто відображають особливості його складу або методи виробництва: іпоритобетон, бетাপорит, целлебет, ітонгоромен, неопор тощо [23].

Процес виготовлення пінобетону складається з кількох основних етапів:

1. Отримання піни.
2. Підготовка цементно-піщаного розчину.
3. Змішування піни з розчином для отримання пінобетонної суміші.
4. Формування виробів, їх твердіння, зняття опалубки та складування.

На сьогодні існує три способи створення піни:

- механічне збивання в лопатевому пінозбивателі;
- барбатація (пропускання повітря через розчин піноутворювача у спеціальному апараті);
- змішування потоків повітря і розчину піноутворювача під високим тиском у піногенераторі [21].

Найбільш поширеним є останній метод, оскільки піногенератори дають можливість отримувати піну з різною щільністю, що є важливим параметром при визначенні складу пінобетону [22]. Зміна щільності піни дозволяє регулювати водоцементне відношення і рухливість суміші. У.К. Махамбетов [20] пропонує підбирати щільність піни в залежності від

середньої щільності кінцевого продукту, адже дрібнопориста і однорідна піна має вищу стійкість і кращі експлуатаційні властивості.

З фізичної точки зору, піноутворення детально описано у працях [24], де зазначено, що однокомпонентні системи не здатні утворювати стійкі піни. Для стабільної піни необхідно зменшити поверхневий натяг рідини за допомогою поверхнево-активних речовин (ПАР). ПАР утворюють адсорбційні шари в оболонці піни, надаючи їй механічну стабільність. На стабільність і властивості піни впливають кілька факторів, серед яких: хімічний склад і концентрація ПАР, поверхневий натяг, в'язкість, рН розчину, а також умови утворення піни, як-от конструкція апарату, інтенсивність процесу і температура.

Піни належать до типових колоїдних систем, де одним із ключових факторів є в'язкість [20]. Підвищення в'язкості рідини, з якої формуються плівки піни, сприяє покращенню її стабільності. У дослідженні [16] розглядалися реологічні властивості піни, і було встановлено, що піна поводить себе як складна структурована система з вираженими пружньо-пластичними властивостями. Зокрема, доведено, що збільшення концентрації піноутворюючих розчинів підвищує в'язкість піни.

Вплив стабільності піни на процес утворення ніздрюватої структури пінобетону вивчався в роботі [21]. У дослідженні використовували піноутворювач ПО-6НП, що є сумішшю вторинних алкілсульфатів натрію. Виявлено, що руйнування піни на ранніх стадіях твердіння пінобетону значною мірою впливає на його структуру. Це руйнування відбувається через витягування рідини з піни розчинною складовою пінобетону, а також через витікання рідини по каналах Плато-Гіббса, що призводить до ущільнення і руйнування плівок. Отже, для отримання пінобетону без осадків важливо, щоб процес стабілізації структури переважав над її ослабленням через надмірний витік рідини з піни в розчин.

Концентрація піноутворювача в розчині є основним показником якості піни. У сучасних методиках концентрація визначається безпосередньо з властивостей піни, без урахування властивостей самого пінотворчого розчину [21]. Зміна концентрації розчину дозволяє отримувати піну з різною стійкістю, що дає змогу регулювати щільність пінобетону. Регулюючи потоки стисненого повітря і розчину піноутворювача в піногенераторі, можна отримати піну з необхідними характеристиками, що забезпечують приготування пінобетону з бажаною щільністю. Зокрема, піна, отримана в піногенераторах з компресорами великої продуктивності, демонструє кращу стійкість, меншу усадку і менш інтенсивний відтік рідини, оскільки такі компресори забезпечують достатній обсяг стиснутого повітря [25].

Оптимальна пориста структура має бути стабільною протягом усього процесу твердіння. Для досягнення цього потрібно:

1. Сформувати структуру пористого бетону з заданою щільністю.
2. Забезпечити її стабільність до моменту затвердіння.

Багато досліджень присвячено створенню моделі оптимальної структури пористого матеріалу, де як еталон розглядається кристалічна структура твердих тіл (аналогічно до атомів або іонів у кристалах) [2].

Проблема стійкості пористих матеріалів була вивчена на прикладі газобетонів, і отримані висновки часто застосовуються до пінобетонів без врахування впливу властивостей піни на процес структуроутворення. Однак залучення повітря під час формування структури пінобетону має принципове значення [25].

Додавання поверхнево-активних речовин (ПАР) до розчину сприяє кращому утриманню повітряних бульбашок у цементно-піщаних розчинах порівняно з бетоном, причому кількість бульбашок зростає зі збільшенням вмісту піску [24]. Це, у свою чергу, покращує структуру і властивості матеріалу, зокрема зменшує водопоглинання, підвищує водонепроникність,

стійкість до сульфатів і морозу завдяки замкненості повітряних бульбашок та їх рівномірному розподілу [25].

Водоцементне відношення (В/Ц) є важливим фактором утримання пор у цементному тісті. Знижене водоцементне відношення підвищує пластичну міцність і напругу зсуву, що може спричинити порушення плівок пор під час твердіння. З іншого боку, занадто високе В/Ц призводить до змивання цементного тіста з плівок, що створює нерівномірний розподіл пор і неоднорідну структуру [26].

Вплив піни на основі ПАР на процеси гідратації цементу досліджено недостатньо. Дослідження А.Н. Адамовича, В.Р. Батракова та інших учених виявили, що ПАР впливають на гідратацію цементу через фізико-хімічну адсорбцію на поверхні зерен цементу, гідроліз, утворення нових фаз і мікроструктури цементного каменю [25].

Дослідження [26] показують, що у менш щільному пінобетоні утворюється більше гідратних фаз, ніж у більш щільному. Гідратація та твердіння пінобетону проходять через рідку фазу, а не топохімічно. Механізм формування гідратних фаз включає:

- дифузію реагуючих компонентів до місця реакції;
- фізико-хімічну реакцію з утворенням гідратних фаз;
- перенасичення розчину і кристалізаційні процеси;
- осадку новоутворень на поверхні продуктів і в рідкій фазі.

Для отримання пінобетону з необхідними фізико-технічними характеристиками важливо правильно підібрати його склад. Підбір оптимальної рецептури пінобетону зазвичай здійснюється експериментально, визначаючи взаємозв'язок між складом, щільністю та міцністю затверділого бетону [24].

Раціональний склад дрібнозернистого пінобетону залежить від кількох факторів: водоцементного співвідношення, середньої щільності та режимів твердіння [80,90]. Міцність на стиск затверділого пінобетону

залежить від середньої щільності матеріалу, співвідношення цементу і піску (Ц:П), виду цементу, умов твердіння та тривалості ізотермічного прогріву. З'ясовано, що в нормальних умовах зберігання пінобетон має вищу міцність, ніж після тепловологісної обробки, оскільки прискорене твердіння обмежує тривалість природних процесів структуроутворення [25].

До важливих характеристик пористих матеріалів належать сорбційна вологість, паропроникність та усадка при висиханні. Ніздрюваті бетони з щільністю понад 500 кг/м^3 відрізняються за призначенням від теплоізоляційних матеріалів. У них підвищені вимоги не тільки до теплофізичних, але й до будівельно-технічних властивостей, оскільки від них залежить надійність конструкцій. Вищі показники щільності матеріалу зазвичай означають і вищу міцність [26].

Для щільних ніздрюватих пінобетонів характерні нижчі значення вологості, водопоглинання та сорбційної вологості, ніж у теплоізоляційних пінобетонів, причому зі збільшенням щільності ці показники знижуються [25]. Однак значна кількість досліджень, присвячених автоклавним і монолітним ніздрюватим бетонам, здебільшого зосереджені на термоізоляційних пінобетонах [25].

Виробництво автоклавних матеріалів зазвичай базується на утворенні гідросилікатів кальцію, які відіграють ключову роль у формуванні властивостей і процесах твердіння. Дослідження показали, що склад гідросилікатів кальцію значно варіюється залежно від вихідної сировини, співвідношення компонентів та умов синтезу. За словами Х. Тейлора [19], гідросилікати кальцію містять ізольовані тетраедри SiO_4 , які можуть легко поєднуватися з великими іонами Ca^{2+} , утворюючи стабільні з'єднання, як-от кальцієвий хондродид, на відміну від інших мінералів, де структура з'єднання менш гнучка через пов'язані тетраедри.

Гідросилікати практично не розчиняються у воді, і при гідратації цементу за температури нижче 100°C утворюються аморфні

новоутворення, подібні до затверділого цементного тіста. Для отримання кристалів конкретних гідросилікатів кальцію необхідні належні умови гідротермального синтезу, які можуть тривати до 1000 годин за температур 500-1000 °С.

Використання ніздрюватих бетонів не обмежується виготовленням штучних елементів конструкцій. Монолітне домобудівництво набуває дедалі більшої популярності в сучасному будівництві, де пінобетон застосовують як для несучих, так і для ненесучих стін, теплоізоляції покрівлі, підлоги, перекриттів тощо. Однак через недостатнє вивчення поведінки пінобетону в умовах низьких температур, фактор сезонності стає важливим у технології монолітного пінобетону.

Під час зимового будівництва основну небезпеку становлять негативні температури, які призводять до замерзання води в бетоні. Вода, що не встигла вступити в реакцію з цементом, замерзає і перетворюється на лід, припиняючи процес гідратації. Водночас у бетоні виникають значні сили внутрішнього тиску через розширення об'єму води під час замерзання, що може пошкодити незміцнілу структуру матеріалу. Після відтавання вода знову переходить у рідкий стан, і процес гідратації поновлюється, однак відновлення зруйнованих зв'язків у бетоні відбувається не повністю, що погіршує його міцність і цілісність.

Пінобетон – це вид будівельного матеріалу, в якому завдяки спеціальним речовинам, що називаються поверхнево-активними речовинами (ПАР), утворюється система дрібних порожнин (сферичних осередків) діаметром від 0,1 до 2 мм. Вони з'являються в матеріалі, наприклад, у сумішах цементу та піску. Крім таких осередків, у пінобетоні також присутні капілярні пори, що утворюються через випаровування надлишкової води при затвердінні матеріалу. Таким чином, пористість матеріалу формується за рахунок як сферичних комірок, так і капілярних пор, які з'являються під час висихання та гідратації.

Основні фізичні та механічні властивості пінобетону, що використовується у будівництві, включають міцність, щільність, морозостійкість, теплопровідність, усадку та водопоглинання. Ці властивості значно варіюються залежно від типу вихідних матеріалів та способу виготовлення пінобетону. Існують різні типи пінобетону, які поділяються на три основні групи: теплоізоляційні (щільність від D200 до D400), конструкційно-теплоізоляційні (D500-D700) та конструкційні (D800-D1200).

Міцність пінобетону в основному залежить від його щільності, типу вихідних матеріалів, режиму термічної обробки та вологості. Під час висихання пінобетон може деформуватися – зменшуватися в об'ємі, що називається усадкою. Рівень усадки варіюється від 0,2 до 7,0 мм/м і залежить від вихідного вмісту води, рівноважної вологості, середньої щільності матеріалу та типу в'язучих компонентів.

Пінобетон, що твердне у природних умовах, менш стійкий до тріщин порівняно з автоклавним газобетоном, особливо при зміні вологості або карбонізації. У процесі експлуатації пінобетонні стіни можуть піддаватися впливу зовнішнього середовища, включаючи зміну відносної вологості повітря від 30 до 100%. Це призводить до нерівномірного зволоження по товщині конструкції, оскільки зовнішній шар може бути більш вологим, ніж внутрішній, з різницею у вологовмісті від 3 до 6 разів.

Подібні відмінності в розподілі води можуть спостерігатися не лише в пінобетоні, але й в інших пористих матеріалах, таких як керамзитобетон або цегла. Ступінь нерівномірності залежить від того, наскільки добре матеріал здатний поглинати та зберігати вологу у своїх капілярних порах. Через це виникають розтягуючі напруження в матеріалі, що призводить до утворення тріщин або інших деформацій.

Усадка та набухання матеріалів залежать від кількості капілярних пор у структурі. Зовнішні шари, які контактують з навколишнім

середовищем, демонструють більшу усадку, ніж внутрішні шари, розташовані всередині конструкції. Водночас при низькій відносній вологості зовнішнього середовища збільшуються деформації усадки.

Теплопровідність пінобетону також значною мірою залежить від його вологості. Збільшення вологості на 1% підвищує теплопровідність на 6-8%. Загальноприйнято вважати, що головним фактором зниження теплопровідності є збільшення загальної пористості матеріалу.

Морозостійкість конструкційно-теплоізоляційних пористих бетонів зазвичай перевищує 25 циклів заморожування-відтавання. Вона залежить від будови міжпорових стінок і типу в'язучого матеріалу. Наприклад, пінобетони, що виготовлені на основі портландцементу, мають кращу морозостійкість, ніж газосилікати або газозолобетони. У пінобетонів із рівноважною вологістю в межах 4-6% цей показник сягає понад 50 циклів.

Якість пінобетонів залежить не лише від типу та кількості вихідних матеріалів, але й від методу їх перемішування. Щоб пришвидшити затвердіння пінобетонів, можна застосовувати електричний прогрів, швидкотвердіючі цементи або хімічні добавки-прискорювачі. Існує багато технологій виробництва пінобетонів. До найпоширеніших методів відносять:

- Традиційну двостадійну технологію, яка полягає в змішуванні вихідного розчину зі спеціальною піною (прикладі реалізації – ВНИИстром, АТ "Співдружність", "Neopor").

- Баротехнологію, що передбачає одностадійне приготування піномаси у герметичному змішувачі під тиском, з подальшим транспортуванням її по трубах до місця укладання (ТОВ "Стромінноцентр").

- Технологію турбулентно-кавітаційного змішування, яка забезпечує повітрозбагачення при перемішуванні компонентів (ЗАТ "Фібробетон").

					ДФБС 2319203	Лист
						20
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

- Метод сухої мінералізації піни, розроблений на кафедрі оздоблювальних і ізоляційних матеріалів КНУБА.

- Одностадійну технологію, де суміш цементу, піску та піноутворювача змішується у високошвидкісному змішувачі (УКРНІЗБ).

Експлуатаційні характеристики неавтоклавних пінобетонних виробів, зокрема стінових блоків, відрізняються залежно від технології виробництва, що підтверджується даними таблиці 2.1. Багато наукових колективів працюють над удосконаленням властивостей пінобетонів. Наприклад, С. А. Коломацький виявив, що оптимальний розмір зерен в'язучого для теплоізоляційних пінобетонів має бути не більше 50 мкм. Це дозволяє створювати матеріали марок D100...D500 з оптимальним розподілом гелевої, капілярної та повітряної пористості.

Лабораторія інженерно-хімічних проблем під керівництвом Л. Б. Сватовської досліджує процеси структуроутворення пінобетонів, базуючись на сучасних досягненнях фізики та колоїдної хімії. Серед факторів, що впливають на властивості пінобетонів, важливим є характер піни. А. В. Хитров зазначає, що тип піноутворювача має великий вплив на якість пінобетону. Сучасні синтетичні піноутворювачі, які виробляються хімічною промисловістю, дозволяють значно покращити технологію пінобетонів. Вони мають низьку вартість, добре зберігаються при температурах від -5°C до +40°C та володіють іншими перевагами.

Синтетичні піноутворювачі класифікуються за хімічною природою, поверхневим натягом у воді та концентрацією іонів водню. Це дозволило краще зрозуміти, як взаємопов'язані здатність ПАР до утворення піни та їх стійкість у піномінеральних системах, що залежить від хімічного складу компонентів суміші.

Таблиця 2.1 - Експлуатаційні властивості стінових пінобетонних виробів неавтоклавного твердіння

Найменування розробника чи виробництва	ПОКАЗНИКИ					
	Середня щільність, кг/м ³	Тип технологічного процесу	Середня міцність на стиск, МПа	Коефіцієнт теплопровідності в сухому стані Вт/(мК)	Морозостійкість, цикли	Усадка при висиханні, мм/м
ЗАО "Корпорація будматеріалів"	400-600	Баротехнологія	0,9-2,2	0,11-0,15	25	2,5-3,0
	700-1000		2,9-11	0,18-0,29	35	
АО НВК "Стройпрогрес"	600-800	Двустадійна	2,5-5	0,15-0,2	25	2,5-3,0
НДІХБ (поробетон)	400-800	Одностадійна	2,4-3,7	0,12-0,16	25-35	1,7-1,8
АО (Київський завод будівельних матеріалів)	600-700	Одностадійна	2,3-2,5	0,14-0,18	25	2,5-3,0
ТОВ "Будспектр"	400-600	Одностадійна	1,0-2,5	0,11-0,15	25-35	2,5-5,0

Неавтоклавні пінобетони набувають дедалі більшого поширення у сучасному будівництві [10, 26]. Однак досягнення їх високої якості стикається з певними проблемами, головною з яких є значні деформації усадки, які можуть сягати 5-7 мм/м. Це часто призводить до утворення тріщин у конструктивних елементах будівель [28]. На відміну від них, автоклавні пінобетони з такою ж щільністю демонструють усадку у 2-3 рази

меншу. Проте їх використання в стінових конструкціях вимагає додаткового захисту від зовнішніх факторів, таких як опади та вологість, через високу капілярну пористість. Тому фасади з автоклавних пінобетонів потребують обов'язкового оштукатурювання, що ускладнює роботу, особливо в холодну пору року, і вимагає кваліфікованих робітників.

При аналізі фізико-механічних властивостей пористих бетонів, які використовуються для будівництва та реконструкції цивільних будівель, можна зробити наступні висновки:

- Автоклавні пінобетони мають підвищену міцність, що дозволяє виготовляти різноманітні будівельні вироби, такі як стінові блоки, плити перекриття, покриття та перемички. Однак їх виробництво є капіталоємним, енергоємним і потребує складного обладнання. Висока вартість таких виробів обумовлена зростанням енергетичної складової у собівартості.

- Неавтоклавні пінобетонні вироби, зокрема стінові блоки та армовані панелі, мають значні недоліки у порівнянні з автоклавними виробами. Вони відрізняються великими допусками у розмірах, низькою однорідністю та міцністю, а також підвищеними значеннями щільності та усадки. Окрім цього, через недостатню міцність на розтяг при вигині такі матеріали не можуть використовуватись для конструктивних елементів, які піддаються згинальним навантаженням.

Таким чином, для ефективного використання неавтоклавних пінобетонів необхідні додаткові дослідження і вдосконалення технології, щоб зменшити усадку та підвищити міцність матеріалу.

Таблиця 2.2 - Експлуатаційні показники виробів з пінобетонів автоклавного твердіння для громадських будівель

Найменування розробника технології	Перетички				Панелі перекриття і покриття			
	Показники							
	Максимальний розмір провідної перекриб-ельськ, мм	Середня щільність, кг/м³	Клас міцності, МПа	Допустиме навантаження, кН/м²	Розмір, мм	Середня щільність, кг/м³	Клас міцності, МПа	Клас навантаження, кН/м²
"Хедель" (Німеччина)	1500	700	B 3,5	16	2690* 625* 100	600	B3,5	19
	1750			15	4750* 625* 150	700	B5,0	19
"Танко" (Швейцарія)	1250	700	B 3,5	18	5980* 600* 250	700	B3,5	3,0
	1500			16	3580* 600* 250			4,0
	1750			15	2980* 600* 250			6,0
"Мала-Ханка" (Вітчизнина)	1350	700	B 3,5	18	2980* 625* 150	500	B3,3	2,0
	1500			16	2980* 600* 250	600	B4,4	3,0
	1750			15	5980* 500* 400	700	B4,4	4,0
"Аерок" (Естонія)	2400	400	B 2,5	20	До 6000* 600* 300	500	B3,5	До 4,0

Таблиця 2.3 - Експлуатаційні властивості стінових пінобетонних виробів неавтоклавного твердіння

Найменування розробника чи виробництва	ПОКАЗНИКИ					
	Середня щільність, кг/м ³	Тип технологічного процесу	Середня міцність на стиск, МПа	Коефіцієнт теплопровідності в сухому стані, Вт/(м·К)	Морозостійкість, цикли	Усадка при висиханні, мм/м
ЗАО "Капітрація будматеріалів"	400-600	Бареточно-печін	0,9-2,2	0,11-0,15	25	2,5-3,0
	700-1000		2,9-11	0,18-0,29	35	
АО НВК "Стройпрогрес"	600-800	Двустадійна	2,5-5	0,15-0,2	25	2,5-3,0
НДЖБ (поробетон)	400-800	Одностадійна	2,4-3,7	0,12-0,16	25-35	1,7-1,8
АО (Київський завод будівельних матеріалів)	600-700	Одностадійна	2,3-2,5	0,14-0,18	25	2,5-3,0
ТОВ "Будствентр"	400-600	Одностадійна	1,0-2,5	0,11-0,15	25-35	2,5-5,0

Враховуючи всі властивості пінобетонів, особливо значні усадочні деформації неавтоклавних матеріалів, виникає потреба в розробці спеціальних заходів для мінімізації цих деформацій. Це критично важливо для їх успішного використання у будівельних виробах і конструкціях цивільного призначення.

Такі заходи можуть включати:

- Оптимізацію складу суміші: Використання швидкотвердіючих цементів, додавання мікронаповнювачів або модифікаторів, які зменшують вологовміст і прискорюють процес твердіння, що дозволить зменшити усадку матеріалу.
- Застосування спеціальних добавок: Використання пластифікаторів, модифікаторів або полімерних волокон, які можуть покращити пластичність пінобетону, підвищити міцність і зменшити ймовірність утворення тріщин під час усадки.
- Зміна технології виробництва: Введення додаткових етапів обробки, таких як попереднє висушування матеріалу або використання електропрогріву для прискорення процесу твердіння та зменшення усадочних деформацій.
- Покращення умов твердіння: Забезпечення оптимальної вологості та температури під час твердіння неавтоклавних пінобетонів для досягнення рівномірної пористості й мінімізації усадки.
- Розробка та впровадження таких технологічних рішень дозволить значно покращити якість неавтоклавних пінобетонів і розширити сферу їх застосування в будівництві, зокрема в стінових огорожувальних конструкціях та інших елементах будівель цивільного призначення.

2.2 Існуючий досвід застосування виробів з пористих бетонів при будівництві нових і реконструкції існуючих житлових і громадських будівель

Тенденції в сучасному будівництві все більше орієнтуються на використання ефективних матеріалів, що мають високу надійність, екологічність, доступність сировини та надійну технологію виготовлення. Серед таких матеріалів одним із найбільш перспективних є пористий бетон. У сфері виробництва цього матеріалу пріоритет віддається неавтоклавному пористому бетону, відомому під комерційною назвою – пінобетон.

Ідея виробництва поризованих бетонів виникла ще в 1889 році, коли пражський інженер Є. Гофман отримав патент на виготовлення бетонів з комірчастою структурою. Структура утворювалася внаслідок виділення вуглекислого газу під час реакції соляної кислоти з гідрокарбонатом натрію (NaHCO_3). Ще раніше, у 1880 році, винахідник Міхоелс запатентував технологію автоклавного запарювання вапняно-піщаної суміші протягом 9-10 годин під тиском 8-10 МПа [23].

На сьогоднішній день обсяг виробництва легкобетонних виробів у світі, переважно автоклавного типу, становить близько 50 млн м^3 на рік (без урахування України) [26]. Основну частку продукції виготовляють за технологіями відомих компаній, таких як "Хебель" і "Ітонг" (Німеччина), "Сіпорекс" (Швеція, Фінляндія), "Дюрекс-Калсилор" (Нідерланди), "Селкон" (Данія, Великобританія) та "Уніполь" (Польща). Типова потужність таких підприємств становить 160-200 тис. м^3 легкобетонних виробів на рік. Найбільший завод із виробництва пінобетону був збудований у 1987 році в Угорщині за ліцензією компанії "Хебель", його річна потужність становить 560 тис. м^3 .

У країнах СНД, Польщі, Китаї, Чехії та Японії, поряд із ліцензійними технологіями, широко застосовують власні розробки у виробництві пористих бетонів. Відмінності цих технологій зазвичай

пов'язані зі способами підготовки компонентів, формування бетонної суміші та розрізання готового масиву на вироби.

Автоклавна різальна технологія займає провідне місце в міжнародній практиці виробництва легкобетонних виробів і конструкцій [24]. Ця технологія дозволяє досягти високої якості та точності виробів, а також забезпечує ефективне використання матеріалів. На сучасних автоматизованих заводах, оснащених передовим обладнанням, виробляється широкий асортимент продукції, включаючи дрібні пористі блоки та армовані конструктивні елементи різного призначення.

Серед найбільш поширених виробів, що виготовляються за допомогою автоклавної різальної технології, можна виділити наступні:

Армовані стінові панелі, плити перекриттів та перегородкові плити. Ці елементи виробляються, зокрема, фінською фірмою "Lohja", яка має багаторічний досвід у галузі виробництва легкобетонних конструкцій. Продукція "Lohja" відрізняється високою якістю та відповідністю суворим європейським стандартам.

Плити покриттів із розрахунковим навантаженням до 3-5 кН/м², які виробляються у Франції. Ці плити характеризуються оптимальним поєднанням міцності та легкості, що робить їх ідеальними для використання в різноманітних будівельних проектах.

Повністю готові елементи значних розмірів - до 1,2 x 8 м, які виготовляються шведською компанією "Siporex". Такі великогабаритні вироби дозволяють суттєво прискорити процес будівництва та зменшити кількість монтажних робіт на будівельному майданчику.

Стінові панелі та перекриття для житлових і громадських будівель, виготовлені з нового виду пористого бетону PLC. Цей інноваційний матеріал був розроблений японською компанією "Місава". PLC відрізняється покращеними теплоізоляційними властивостями та підвищеною міцністю порівняно з традиційними видами пористого бетону.

Використання автоклавної різальної технології дозволяє досягти високої точності розмірів виробів, що значно спрощує їх монтаж на будівельному майданчику. Крім того, ця технологія забезпечує отримання однорідної структури матеріалу, що позитивно впливає на його фізико-механічні характеристики.

Дані про експлуатаційні характеристики деяких стінових виробів та конструктивних елементів, виготовлених за автоклавною технологією, представлені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 - Експлуатаційні показники виробів з пінобетонів автоклавного твердіння для громадських будівель

Найменування розробника технології	Перемички				Панелі перекриття і покриття			
	Показники							
	Максимальний розмір проїма що перекривається, мм	Середня щільність, кг/м ³	Клас міцності, МПа	Допустиме навантаження, кН/м.п.	Розмір, мм	Середня щільність, кг/м ³	Клас міцності, МПа	Корисне навантаження, кН/м ³
"Хейдель" (Німеччина)	1500	700	В 3,5	16	2490* 625* 100	600	В3,5	1,9
	1750			15	4750* 625* 150	700	В5,0	1,9
"Ітонг" (Швеція)	1250	700	В 3,5	18	5980* 600* 250	700	В3,5	3,0
	1500			16	3580* 600* 250			4,0
	1750			15	2980* 600* 250			6,0
"Маза-Хенке" (Німеччина)	1350	700	В 3,5	18	2980* 625* 150	500	В3,3	2,0
	1500			16	2980* 600* 250	600	В4,4	3,0
	1750			15	5980* 500* 400	700	В4,4	4,0
"Аерок" (Естонія)	2400	400	В 2,5	20	До 6000* 600* 300	500	В3,5	До 4,0

Застосування пористого бетону в малоповерховому будівництві вважається високоефективним [21]. Досвід багатьох підприємств показує, що вироби та конструкції з пінобетону можуть не лише виконувати функцію огорожувальних елементів, але й бути несучими. Вони можуть використовуватися для створення комплексних конструкцій зовнішніх і внутрішніх стін, перегородок, перекриттів, покриттів, перемичок і сходів. Також були проведені спроби використання пористих бетонів у конструкціях фундаментів і стін підвалів [25], проте для їх повномасштабного впровадження потрібна додаткова перевірка довговічності та надійності цих рішень.

Пінобетон є одним із найбільш ефективних матеріалів для реконструкції будівель. Він широко застосовується для покращення теплоізоляції стін житлових і громадських споруд, а також для утеплення горючих перекриттів та дахів у реконструйованих будівлях [25].

У багатоповерхових будівлях пористий бетон використовують для зведення несучих стін і перегородок. Однак для уникнення надмірного навантаження на плити перекриття рекомендується зводити одношарові зовнішні стіни з пористого бетону щільністю 350-450 кг/м³ [10]. На думку автора, це рішення є недоцільним, оскільки такі матеріали, навіть при автоклавному виробництві, мають низьку міцність (0,5-1,5 МПа), що не гарантує надійності стін. У будівельній практиці часто замість штукатурення, яке має сезонний характер і потребує додаткових підмостей, використовують облицювання цеглою, що збільшує навантаження на перекриття.

Більш популярною є тришарова конструкція стін, де середній шар виконує функцію утеплювача. Проте вона має певні недоліки: злежуваність мінераловатних утеплювачів, токсичність пінополістиролу під час горіння та інші негативні фактори [24].

Аналізуючи наведений матеріал, можна зробити висновок, що на сучасному етапі неавтоклавні пінобетони використовуються здебільшого для огорожувальних стінових конструкцій. Це зумовлено їх нижчими фізико-механічними показниками порівняно з автоклавними газобетонами.

Дисперсне армування неавтоклавних пінобетонів є перспективним напрямом для підвищення їх властивостей. Це відкриває можливість застосування таких пінобетонів не лише в огорожувальних, але й у несучих елементах житлових і громадських споруд. Також удосконалення теплотехнічних властивостей огорожувальних стінових конструкцій може бути досягнуто за рахунок створення високоточних і різноманітних за геометрією виробів. У зв'язку з цим дослідження способів підвищення характеристик пінобетонів з вищою щільністю є надзвичайно актуальним.

2.3 Способи поліпшення властивостей пінобетонів неавтоклавного твердіння.

Дослідження під керівництвом таких фахівців, як А.Т. Баранов, А.С. Коломацький, Л.Є. Ліпатов, А.Д. Павловський, І.І. Попов, Г.П. Сахаров, Т.А. Чернишов, Ю.Д. Чистов та інших, було зосереджене на пошуку нових способів поліпшення властивостей ніздрюато-бетонних сумішей. Головною метою цих робіт було краще розуміння впливу якості та кількості традиційних матеріалів на міцність бетону. Зокрема, під час досліджень встановили, що зміна таких факторів, як хімічний склад наповнювачів і в'язучих матеріалів, їх дисперсність, а також температура суміші і довкілля, сприяє підвищенню міцності на стиск до 30%.

Також було проведено значну кількість досліджень щодо оптимізації параметрів теплової обробки, що дозволяє отримати високоміцні пористі бетони. Ці дослідження проводилися під керівництвом таких учених, як А.Т. Баранов, В.В. Макаричев та А.П. Меркін. В результаті вдалося значно

розширити сировинну базу для виробництва пористих бетонів, зберігаючи або навіть покращуючи їх міцнісні характеристики.

Додатково до цього виявилось, що застосування хімічних добавок сприяє виготовленню безавтоклавного швидкотвердіючого золобетону зі зниженою щільністю. Введення таких добавок у технологічний процес знижує енерговитрати і дещо покращує експлуатаційні якості матеріалу. Проте ці підходи не повністю вирішують проблему покращення ключових характеристик пористого бетону, а саме: збільшення тріщиностійкості та міцності на розтяг, що є важливим для застосування матеріалу не лише у зовнішніх огорожувальних конструкціях, а й у несучих елементах будівель.

За даними П.Г. Комохова та А.І. Мінаса, важливо також вдосконалювати деформаційні властивості бетону. Згідно з іншими публікаціями, істотне підвищення міцності на розтяг можливо шляхом дисперсного армування пористого бетону відрізками волокнистих матеріалів, що робить бетон більш стійким і надійним у застосуванні.

2.4 Дисперсне армування як ефективний напрямок вдосконалення властивостей пінобетонів підвищеної щільності

Сучасні дослідження щодо зміцнення матеріалів на основі мінеральних в'язучих виділяють два основних підходи.

Перший підхід полягає в застосуванні спеціальних добавок, які сприяють процесам твердіння цементного каменю та покращують його фізичні та механічні властивості. Наприклад, в результатах досліджень [22] показано, що використання ниткоподібних кристалів гідросилікатів кальцію дозволяє збільшити міцність бетону при згині в 2-4 рази. Ці кристали сприяють формуванню спрямованої кристалізації в новоутвореннях, що призводить до самоармування цементного каменю. Це відбувається за

рахунок утворення всередині структури орієнтованих зростків кристалогідратів, які суттєво покращують якість бетону [25].

Другий підхід передбачає використання армуючих волокон для покращення експлуатаційних властивостей бетону. Ці волокна виготовляють із матеріалів, відмінних від основної матриці бетону, і вони здатні витримувати більші розтягуючі навантаження, ніж сама матриця. Такий підхід допомагає збільшити міцність композиційного матеріалу в процесі його експлуатації [26].

Таблиця 2.4 - Фізико-механічні властивості волокон, що рекомендуються для армування мінеральних в'язучих

Найменування волокна	Щільність г/см ³	Модуль пружності, МПа	Границя міцності на розтяг, МПа	Подовження при розриві, %	Діаметр, мкм
Хризотил азбест	2,6	164000	3100	2,0...3,0	0,2...0,4
Дережина	1,5	71000	900	13...15	50...2000
Целюлоза	1,2	10000	300-500	10...15	20...1000
Сизалеве	1,5	–	800	3,0	10...50
Вуглецеве	1,9	230000	2600	1,0	5...10
Скляне	2,6	70000... 80000	2000...4000	0,5...2,7	8...100
Сталеве	7,8	200000	500...2000	0,5...3,5	5...500
Поліетиленове	0,95	300	0,7	8...12	50...200
Поліпропіленове	0,9	500... 7500	500...750	6,0...9,0	20...200
Поліамідне	1,14	8000... 12000	800...1200	4,0...15,0	10...25
Арамідне	1,45	70000... 135000	3500... 4000	2,0...4,0	5...10

Основною проблемою неавтоклавного пінобетону є його низька здатність чинити опір розтягуючим зусиллям і підвищена крихкість. Це призводить до виникнення сколів і тріщин під час виготовлення, транспортування та монтажу, що негативно впливає на експлуатаційні

властивості матеріалу. За даними досліджень [24], питання дисперсного армування пористих бетонів заслуговує значної уваги.

Як було виявлено [25], ефективність дисперсного армування безпосередньо залежить від співвідношення міцності та деформативних властивостей армуючих волокон (фібри) і самої матриці бетону. Коли модуль пружності фібри значно перевищує (у 3-10 разів) модуль пружності бетону, можна очікувати підвищення механічної міцності, тріщиностійкості та інших експлуатаційних властивостей. Наприклад, в природі кісткова тканина має модуль пружності у 35-100 разів вищий, ніж м'язова, що забезпечує високу працездатність і зносостійкість організмів. Якщо ж модуль пружності фібри є близьким або трохи меншим за показник бетону, матеріал стає більш стійким до руйнування, але це знижує його конструкційні властивості.

Ще один важливий фактор ефективності фібри в бетоні – гранична розтяжимість. Дослідження [26] рекомендують використовувати фібру з деформативністю, що перевищує граничну деформативність бетону. У випадку, коли об'ємна частка арматури є достатньою, утворення тріщин під впливом максимальних навантажень буде свідчити про наближення до руйнування. Це робить конструкцію з такого матеріалу безпечнішою в експлуатації, оскільки навіть за повної втрати несучої здатності матриці процес руйнування проходить повільніше і в'язкіше, а не миттєво, як у крихких матеріалах [26].

2.5 Характеристика сировини і методика дослідження властивостей піно- і фібропінобетонів

Для виготовлення піно- та фібропінобетонних сумішей були обрані матеріали, які широко застосовуються в будівельній практиці Кіровоградської області. До таких матеріалів належать портландцемент, пісок, вода, піноутворювач і дисперсна арматура.

Таблиця 2.4 – Хімічний склад портландцементу

Портландцемент	Хімічний склад, мас%						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	R ₂ O
М500 ПрАТ "Кривий Ріг Цемент"	21,05	5,10	3,90	64,61	0,74	2,64	0,80

Таблиця 2.5 – Мінералогічний склад портландцементу

Портландцемент	Хімічний склад, мас%			
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
М500 ПрАТ "Кривий Ріг Цемент"	21,05	5,10	3,90	64,61

У ході експериментальних досліджень використовували різні типи піноутворювачів та дисперсної арматури.

Піноутворювач

Основним піноутворювачем, що застосовувався у дослідженнях, був ПО-ЗНП, який виготовляється ЗЛО "Черкаський завод синтетичних продуктів". Цей піноутворювач обрали через його поширеність і стабільні якісні характеристики, що робить його надійним вибором для виготовлення піно- та фібропінобетону.

Дисперсна арматура

В якості дисперсної арматури використовували поліамідне волокно для технічних цілей, що виробляється ПАТ · Полімерконтейнер, Харківський завод. Цей тип волокна має хорошу зносостійкість у поєднанні з низьким коефіцієнтом тертя [22]. Окрім цього, волокно відзначається високою стійкістю до лужних середовищ та звичайних розчинників [22].

Параметри використовуваних волокон:

Діаметр: 13-17 мкм

Довжина: 30-70 мм

Відношення довжини до діаметру (L/D): 300-2400

Питоме розривне навантаження: не менше 26 МПа

Подовження при розриві: 15%

Масова частка замаслювання: до 1%

Упаковка: мішки по 30 кг

Такі волокна є ефективними для дисперсного армування, забезпечуючи покращення міцності, тріщиностійкості та інших характеристик бетону.

Таблиця 2.6 – Стандартні методи випробування

Види матеріалів і властивості, що випробовуються	Нормативні документи
Портландцемент	ДСТУ Б В.2.7-114:2002
Мілкий заповнювач	ДСТУ Б В.2.7-32-95
Піноутворювач	ДСТУ-Н Б В.2.7-308:2015
Пінобетонна суміш	ДСТУ Б В.2.7-114:2002
Пінобетон:	
-середня щільність;	ДСТУ Б В.2.7-278:2011
- міцність на стиск; - міцність на розтяг при згині; - міцність на розтяг при сколюванні	ДСТУ Б В.2.7-115:2002
- призмova міцність, - модуль пружності, - коефф. Пуассона;	ДСТУ Б В.2.7-116:2002
- морозостійкість.	ДСТУ Б В.2.7-117:2002

2.6 Методика експериментальних досліджень міцності деформативних властивостей фібропінобетонів

Під час експерименту використовували прес для дослідження будівельних матеріалів з максимальною потужністю 50 kN. На ній проводили тестування зразків на стиск, розтягування при вигині та розтягування під час розколювання. Установка автоматично реєструвала всі параметри навантаження, а спеціальна комп'ютерна програма будувала графіки, що показували залежність між навантаженням і прогинами.

Експериментальні дослідження включали випробування наступних зразків:

- На стиск: кубики розміром 10x10x10 см і призми 7x7x28 см.
- На розтяг під час розколювання: кубики 10x10x10 см.
- На розтяг при вигині: балочки розміром 4x4x16 см.

Всі зразки виготовлялися за одностадійною технологією (відповідно до [5]), а їхня вологість під час тестування становила 2,1–2,4% від загальної маси.

Випробування зразків на осьовий стиск проводилися на пресі відповідно до чинних стандартів України (ДСТУ Б В.2.7-214:2009). Тести на розколювання кубів та вигин балочок також виконувалися на цьому пресі, але із застосуванням спеціальних шаблонів згідно з сучасними нормативами ДСТУ Б В.2.7-169:2008.

Силове навантаження було стабільним, зі швидкістю 50 мм/хв. Ступені навантаження збільшувалися поступово, складаючи приблизно 10% від очікуваної міцності матеріалу.

На рисунку 2.1 наведено зображення установки, яка використовувалась під час проведення випробувань.



Рисунок 2.1 - Загальний вигляд установки для проведення досліджень.



Рисунок 2.2 - Характер руйнування дослідних зразків при дослідженні міцності на стиск

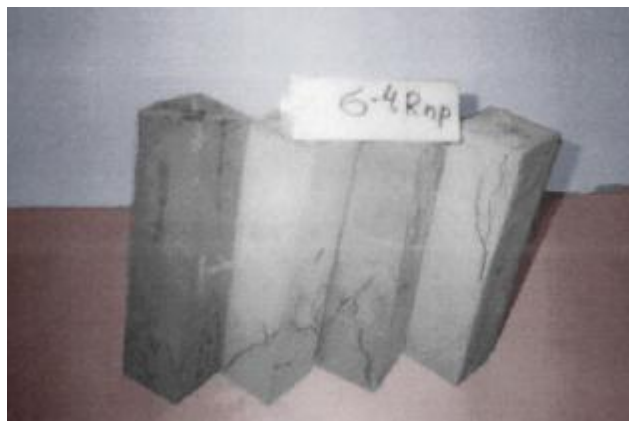


Рисунок 2.3 - Характер руйнування дослідних зразків при дослідженні на призмову міцність



Рисунок 2.4 - Характер руйнування дослідних зразків при дослідженні на розтяг при згині

2.7 Теоретичне обґрунтування доцільності дисперсного армування конструкційних пінобетонів поліамідними волокнами

Результати багатьох досліджень, які виконувалися під керівництвом таких вчених, як Б.Л. Крилов, І.Л. Лобанов, Л.В. Моргун і М. Сарі, показують, що синтетичні волокна можуть бути корисними як дисперсна арматура для бетонів. Вони покращують його характеристики та забезпечують міцність конструкції.

Основна структура пористого фібробетону включає два основні елементи: бетонну матрицю та армуючі волокна. Бетонна матриця має тендітну природу, але додавання волокон робить її більш пластичною та

гнучкою. Дисперсне армування допомагає утворити більш оптимальну пористість бетону та покращити його міцність, особливо на ранніх етапах твердіння. Це також дозволяє краще розподіляти внутрішні розтягуючі зусилля, які виникають у процесі затвердіння, завдяки чому матеріал стає стійкішим до тріщиноутворення.

Введення синтетичних волокон у бетон не тільки знижує ризик виникнення тріщин, але й затримує їх розвиток, зменшуючи ймовірність руйнування матеріалу навіть при високих навантаженнях. Оскільки міцність і деформативні властивості пористих бетонів значною мірою залежать від їхньої середньої щільності, важливо визначити оптимальне армування для конструкційних пінобетонів.

Загалом, експерименти з пінобетонами з різною кількістю дисперсної арматури мали на меті з'ясувати, який ступінь насичення є найбільш ефективним. Найчастіше ці дослідження фокусуються на теплоізоляційних пористих бетонах. Однак у випадках, коли щільність бетону становить від 500 до 800 кг/м³, дисперсне армування поліамідними волокнами виявляє позитивний вплив на його міцність. Зі збільшенням міцності бетонної матриці покращується також зчеплення між її компонентами, що додатково підвищує ефективність дисперсного армування.

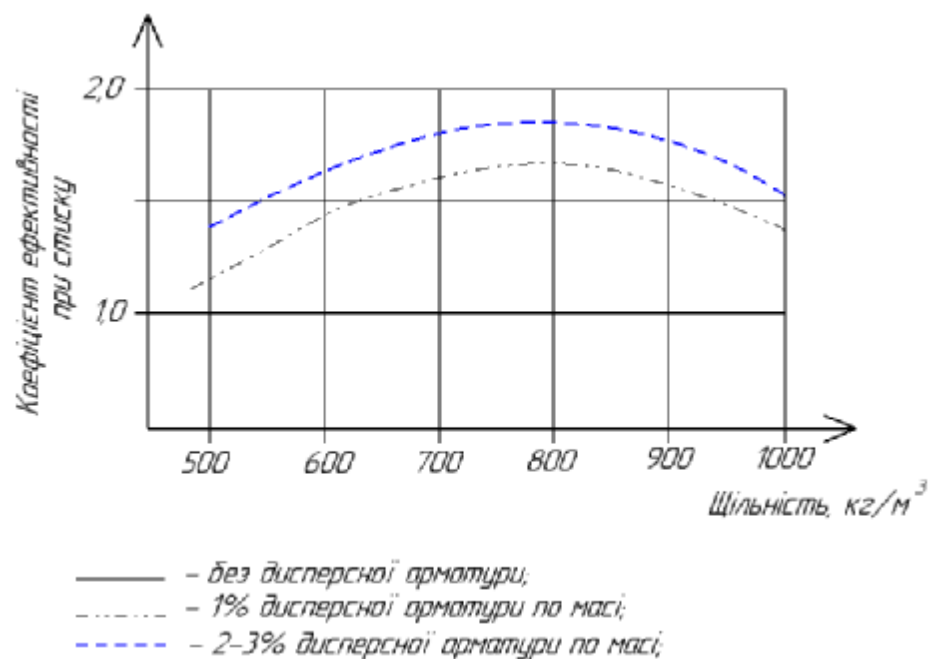


Рисунок 2.5 - Ефективність дисперсного армування при стиску

При щільності пінобетонів, яка перевищує 800 кг/м³, ефективність дисперсного армування знижується. Це відбувається тому, що армуючі волокна досягають своєї максимальної міцності, встановленої текстильною промисловістю (між 8 та 12 тисяч МПа), тоді як міцність самої бетонної матриці продовжує зростати. У результаті співвідношення між модулем пружності волокон (E_v) і модулем пружності матриці (E_b) поступово зменшується.

Для пінобетонів середньої щільності (900-1200 кг/м³) введення волокон не призводить до значного збільшення загальної міцності матеріалу на стиск. Однак, як було виявлено в дослідженнях Л.В. Моргун, при розтягуючих навантаженнях ефективність дисперсного армування може збільшуватися в 2,5-3,5 рази. Це свідчить про те, що у випадках, коли конструкції будівель піддаються не лише стиску, а й розтягу або вигину, використання армованих пінобетонів може бути ефективним і економічно вигідним.

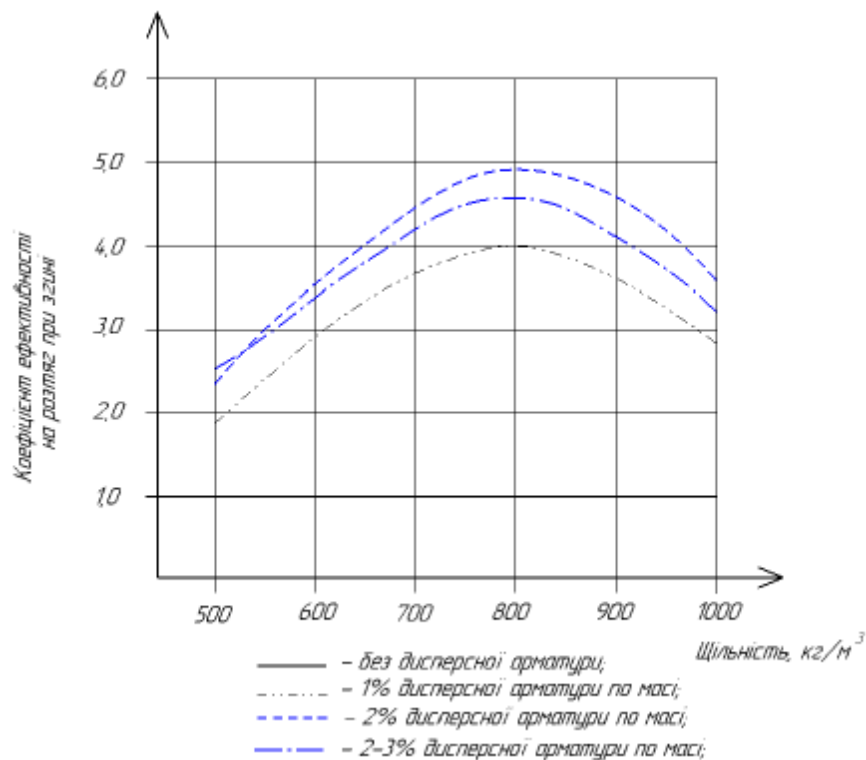


Рисунок 2.6 - Ефективність дисперсного армування на розтяг при згині

Підсумовуючи сказане, можна стверджувати, що аналіз як теоретичних, так і практичних досліджень у сфері будівельного матеріалознавства підтверджує доцільність використання синтетичних волокон для дисперсного армування конструкційного пінобетону. З точки зору міцності, таке армування може виявитися ефективним рішенням для підвищення надійності та стійкості матеріалу в реальних будівельних умовах.

2.8 Дослідження вплив довжини н витрати армуючих волокон на ефективність роботи фібри в пінобетоні

У кількох дослідженнях, присвячених технології фібропінобетону, зазначено, що збільшення довжини армуючих волокон позитивно впливає на міцність матеріалу. Наприклад, Ю.В. Пухаренко вказує, що пінобетонні суміші, розроблені для конструкційних цілей при водоцементному

відношенні $V/T = 0,4-0,6$, демонструють вищу в'язкість бетонної матриці та зниження співвідношення модулів пружності волокна та матриці (E_v/E_m).

Однак у технічній літературі з будівельних матеріалів бракує інформації про зв'язок між витратою фібри та її геометричними параметрами, що ускладнює оптимізацію процесу. З огляду на це, ми провели експериментальні дослідження, спрямовані на вивчення впливу довжини та кількості поліамідної фібри на ефективність її роботи в конструкційних фібропінобетонах.

Таблиця 2.7 – Фізико-механічні властивості волокон, що рекомендуються для армування мінеральних в'язучих

Найменування волокна	Щільність г/см ³	Модуль пружності, МПа	Границя міцності на розтяг, МПа	Подовження при розриві, %	Діаметр, мкм
Хризотил азбест	2,6	164000	3100	2,0...3,0	0,2...0,4
Дерешина	1,5	71000	900	13...15	50...2000
Целюлоза	1,2	10000	300-500	10...15	20...1000
Сизалеве	1,5	–	800	3,0	10...50
Вуглецеве	1,9	230000	2600	1,0	5...10
Скляне	2,6	70000... 80000	2000...4000	0,5...2,7	8...100
Сталеве	7,8	200000	500...2000	0,5...3,5	5...500
Поліетиленове	0,95	300	0,7	8...12	50...200
Поліпропіленове	0,9	500... 7500	500...750	6,0...9,0	20...200
Поліамідне	1,14	8000... 12000	800...1200	4,0...15,0	10...25
Арамідне	1,45	70000... 135000	3500... 4000	2,0...4,0	5...10

Щоб визначити оптимальні параметри армування, ми застосували ротатабельний план другого порядку, що дозволяє ефективно досліджувати вплив кількох факторів одночасно та враховувати їхні взаємодії. Основними факторами, що варіювалися під час експерименту, були:

Довжина волокон (L , мм) – цей параметр дозволяє регулювати ступінь армування, оскільки довші волокна забезпечують кращу зв'язність у матеріалі, проте можуть ускладнювати процес змішування.

Вміст армуючих волокон у відсотках від об'єму твердої фази (ρ , %) – зміна цього параметра дозволяє встановити оптимальну концентрацію волокон, яка сприяє підвищенню міцності та щільності пінобетону.

Як параметри виходу досліджувалися:

Щільність суміші (ρ) – визначає загальну якість матеріалу, а також його опірність фізико-механічним навантаженням. Вищий показник щільності свідчить про кращу однорідність та міцність матеріалу.

Призмova міцність (R_b) – є одним із ключових показників механічних властивостей, що характеризує здатність матеріалу протистояти стискувальним навантаженням.

Міцність на розтяг при вигині (R_{bt}) – вказує на здатність матеріалу витримувати розтягувальні зусилля, що особливо важливо для армованих матеріалів, які часто піддаються згинаючим навантаженням у конструкціях.

Зразки з дисперсно армованого поліамідними волокнами пінобетону мали розміри 4x4x16 см і виготовлялися за одностадійною технологією у лабораторному змішувачі. Процес виробництва передбачав ретельне перемішування компонентів для забезпечення рівномірного розподілу армуючих волокон у масі матеріалу. Співвідношення між цементом та піском складало 1:1 за масою, що сприяло отриманню однорідної структури суміші з мінімальною кількістю дефектів.

Для об'єктивної оцінки ефективності дисперсного армування також були виготовлені контрольні зразки пінобетону без волокон, але з

аналогічним складом. Це дозволило порівняти результати дослідження та виявити вплив армування на міцнісні та фізико-механічні характеристики матеріалу. Результати статистичної обробки отриманих даних наведені в таблицях 2.8 і 2.9, що дозволило детально оцінити вплив змінних параметрів на властивості матеріалу, а також визначити найкращі комбінації факторів для досягнення оптимальних властивостей пінобетону.

Таблиця 2.8 – Властивості пінобетонів в залежності від довжини і кількості фібри

Марка	Довжина волокан, мм	Вміст арматури по об'єму μ , %	Щільність суміші ρ , кг/м^3	Середнє значення призмової міцності R_{bm} , МПа	Коефіцієнт варіації $V_{\text{прм}}$, %	Середнє значення розтягу при згині R_{bt} , МПа	Коефіцієнт варіації $V_{\text{рзг}}$, %
Контр	0	0	847	4,42	9,8	0,93	13,2
Л-1	500	10	812	4,51	8,5	1,28	7,6
Л-2	500	15	795	4,33	9,7	1,37	6,9
Л-3	500	20	780	4,27	10,1	1,51	7,0
Л-4	500	30	801	4,11	9,3	1,62	7,7
Л-5	1000	10	807	4,41	8,9	1,63	7,1
Л-6	1000	15	788	4,34	7,5	2,01	6,5
Л-7	1000	20	792	3,99	6,9	2,06	6,6
Л-8	1000	30	819	4,01	7,3	1,94	8,3
Л-9	1500	10	796	4,15	8,1	1,92	7,2
Л-10	1500	15	777	4,06	8,4	2,15	6,8
Л-11	1500	20	785	3,84	7,0	2,07	6,7
Л-12	1500	30	810	3,85	8,4	2,00	9,4
Л-13	2000	10	798	4,21	9,1	1,95	5,5
Л-14	2000	15	780	4,10	8,9	2,19	6,2
Л-15	2000	20	801	3,92	7,7	2,11	9,4
Л-16	2000	30	829	3,76	8,3	1,93	11,3
Л-17	3000	10	784	4,03	7,5	1,91	7,8
Л-18	3000	15	788	4,09	9,9	1,95	10,4
Л-19	3000	20	807	3,95	10,8	1,98	11,5
Л-20	3000	30	841	3,75	11,2	1,91	15,0

Таблиця 2.9 – Ефективність дисперсного армування пінобетонів

Довжина валака, мм	Кількість фібр, % об'єму	Коефіцієнт конструктивної якості		Ефективність дисперсного армування, Еф	
		Призма міцність R_{bm}	Розтяг при згині $R_{bt\ m}$	Призма міцність R_{bm}	Розтяг при згині $R_{bt\ m}$
0	0	6,16	1,30	1	1
5,00	10	6,84	1,94	111	149
5,00	15	6,85	2,17	111	167
5,00	20	7,02	2,48	114	191
5,00	30	6,41	2,52	104	194
10,0	10	6,77	2,50	105	192
10,0	15	6,99	3,24	106	249
10,0	20	6,36	3,28	103	253
10,0	30	5,98	2,89	0,97	2,22
15,0	10	6,55	3,03	104	233
15,0	15	6,72	3,18	106	245
15,0	20	6,23	3,36	101	258
15,0	30	5,86	3,05	0,95	2,34
20,0	10	6,61	3,06	102	235
20,0	20	6,10	3,28	0,99	253
20,0	30	5,47	2,81	0,89	2,16
30,0	10	6,56	3,10	106	239
30,0	15	6,59	3,14	102	242
30,0	20	6,06	3,04	0,93	2,34
30,0	30	5,30	2,70	0,86	2,08
40,0	10	6,17	2,99	0,98	2,30
40,0	15	6,19	2,94	0,99	2,26
40,0	20	5,58	2,53	0,90	1,95
40,0	30	Визначити не змогли			

Експеримент показав, що збільшення довжини армуючих волокон з 5 до 20 мм при збереженні їх об'ємної частки призводить до зростання міцності пінобетону на розтяг при вигині (рис. 2.7). Це дозволяє зменшити витрати дисперсної арматури, роблячи процес армування не лише ефективним, а й економічно вигідним. Найбільшу міцність демонструють бетони з довжиною волокон 20 мм і вмістом фібри 1,5% від обсягу твердої фази. Однак, коли вміст волокон підвищується до 2% і 3%, коефіцієнт конструктивної якості знижується.

Згідно з [26], цей ефект пов'язаний із грудкуванням волокон, яке залежить від їх довжини та типу обладнання, на якому готуються суміші. Аналіз коефіцієнтів варіації міцності (табл. 2.9) підтверджує правильність цього висновку, демонструючи значущість впливу технологічних параметрів на результати армування.

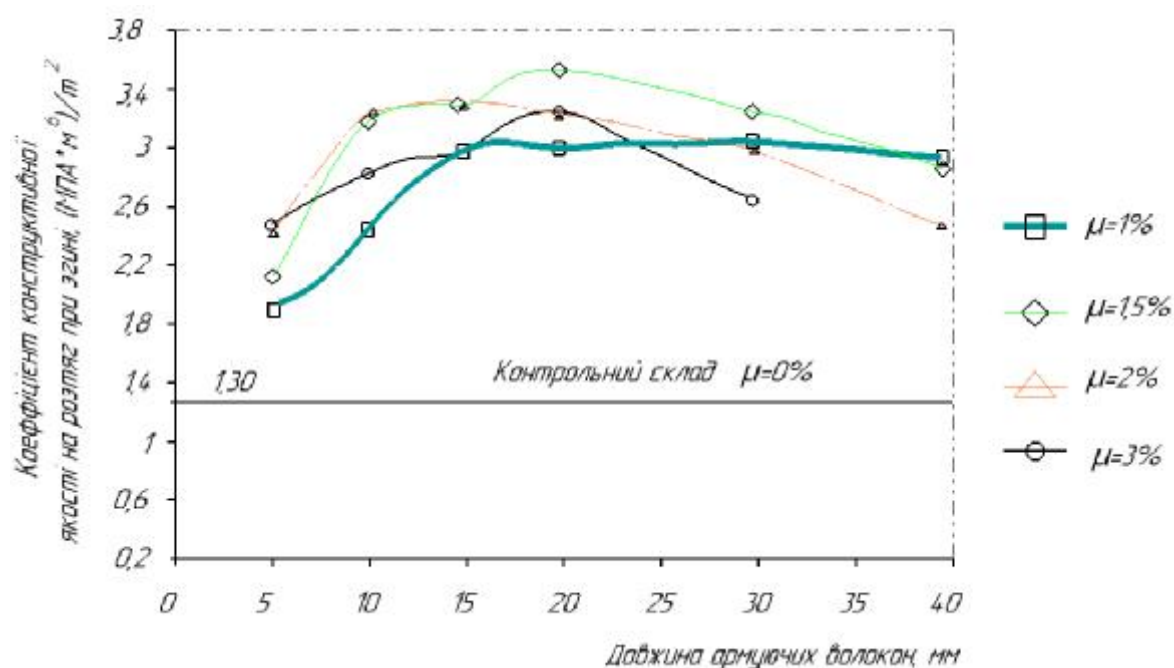


Рисунок 2.7 – Вплив довжини армуючих волокон на опір пінобетонів згинаючим навантаженням

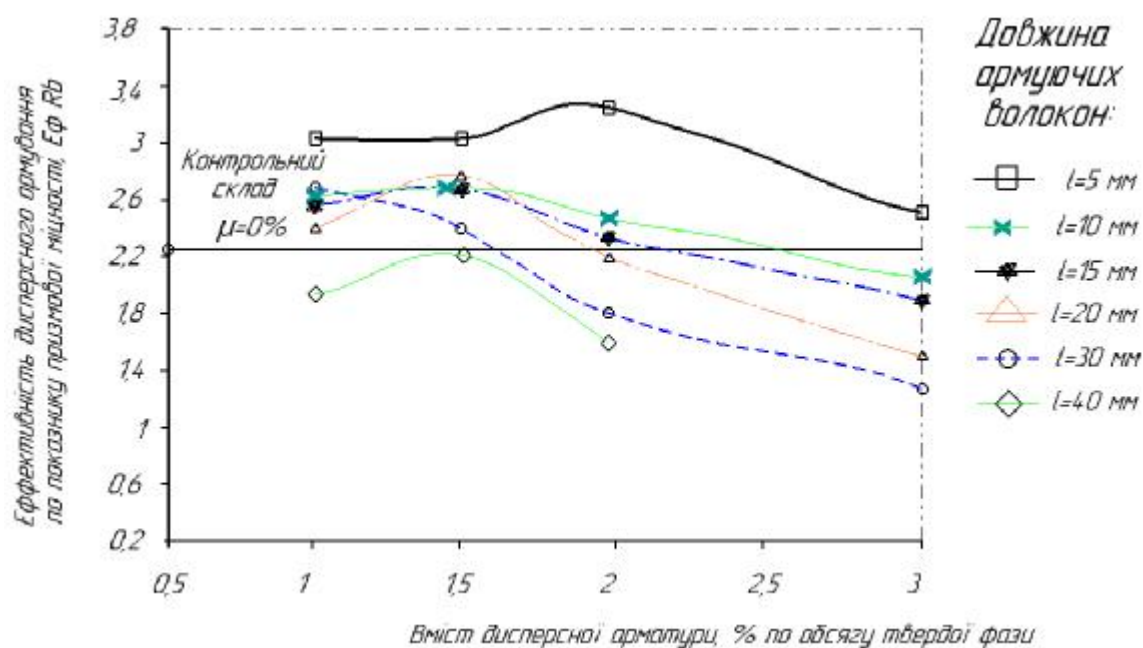


Рисунок 2.8 – Ефективність дисперсного армування пінобетонів за показником призмової міцності в залежності від довжини армуючих волокон

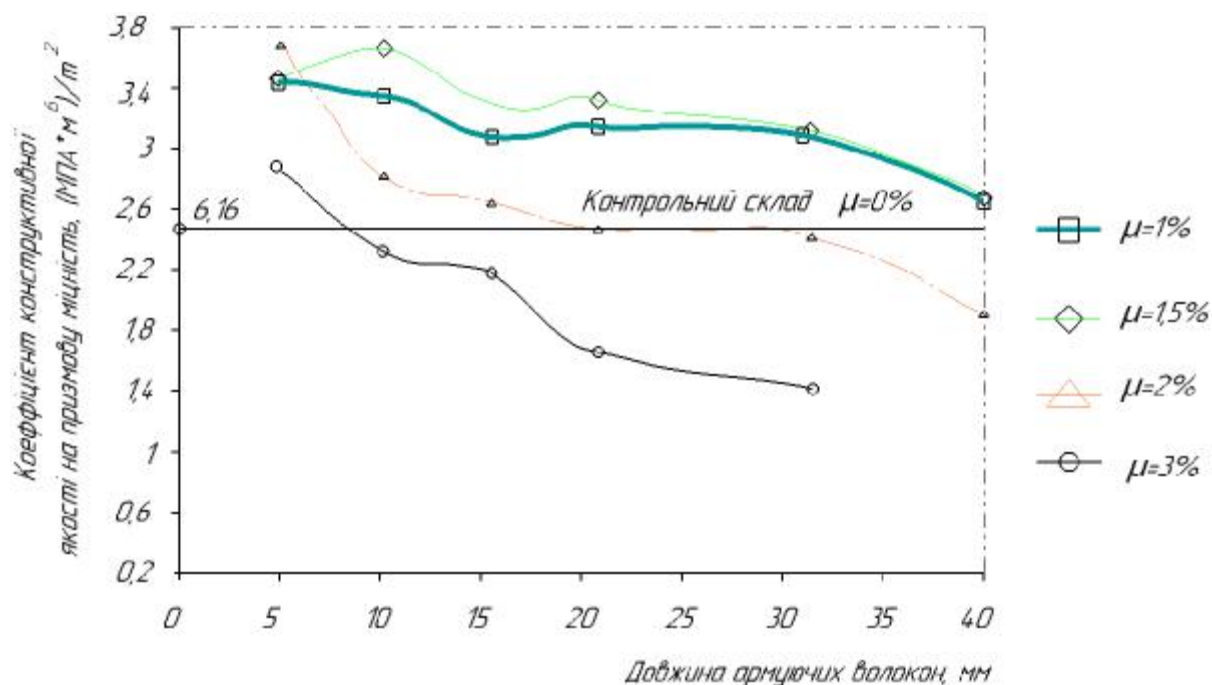


Рисунок 2.9 – Вплив довжини армуючих волокон на опір пінобетонів осьовому стиску

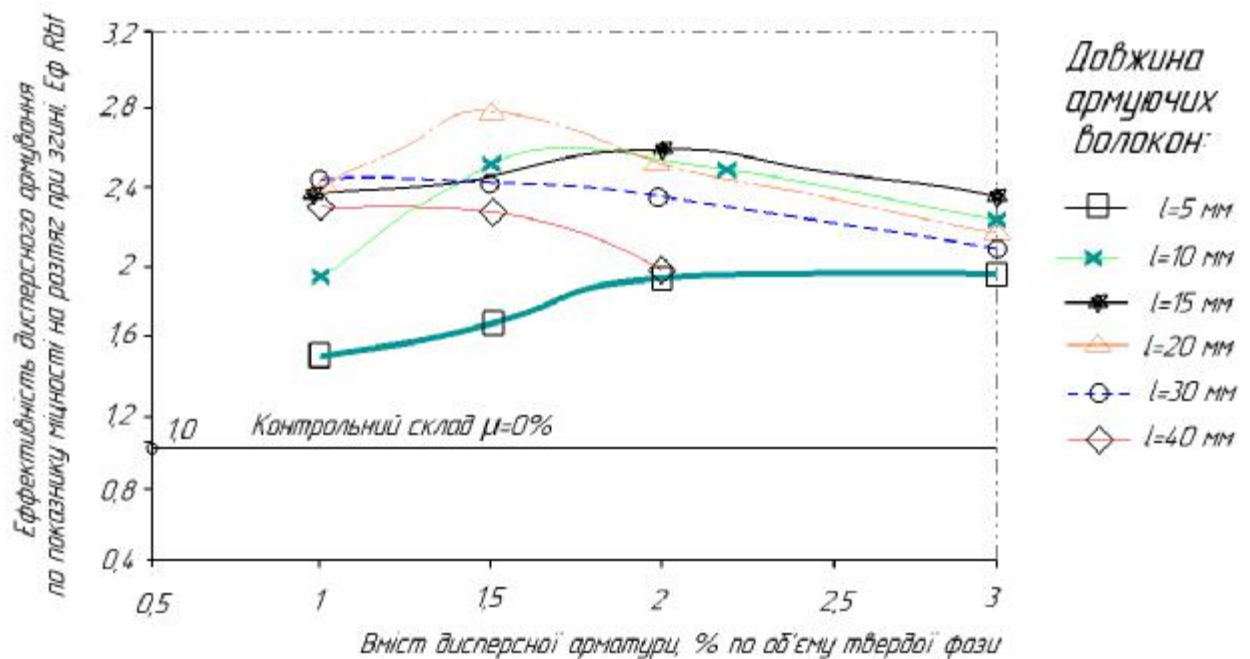


Рисунок 2.10 – Ефективність дисперсного армування пінобетонів по показнику міцності на розтяг при згині в залежності від довжини армуючих волокон

З огляду на викладений матеріал, можна зробити такі висновки:

- Дисперсне армування конструкційних пінобетонів поліамідними волокнами змінює характер руйнування матеріалу з крихкого на більш в'язкий і пластичний, що підвищує загальну стійкість конструкції.

- Зразки фібропінобетону після випробувань зберігають зовнішню цілісність, що свідчить про їхню підвищену міцність.

- Найбільший приріст кубикової та призмової міцності спостерігається при насиченні волокнами до 2% від обсягу твердої фази. Однак різниця між 1% і 2% армування не перевищує 10% від максимальних показників міцності, тому її можна вважати несуттєвою.

Ці висновки підкреслюють ефективність використання поліамідних волокон у пінобетонах для покращення механічних властивостей матеріалу та підвищення його надійності.

2.9 Розрахунок ефективності застосування фібропінобетонів в цивільних будівлях з різними конструктивними системами

Останні десять років активно ведуться пошуки нових ефективних легких матеріалів для теплоізоляції та конструкційних елементів стінових огорожень будівель. Це пов'язано з підвищеними вимогами до енергозбереження в будівництві, що, своєю чергою, стимулює розвиток сучасних теплоізоляційних рішень для огорожувальних конструкцій.

Для вирішення комплексних завдань, таких як енергоефективність, довговічність, пожежостійкість та екологічність огорожувальних конструкцій, була розроблена спеціальна система діагностики. Вона дозволяє проектувати різні типи стінових огорож, вузлів та з'єднань, використовуючи традиційні мінеральні будівельні матеріали, термін служби яких може перевищувати 100 років (рис. 2.11).

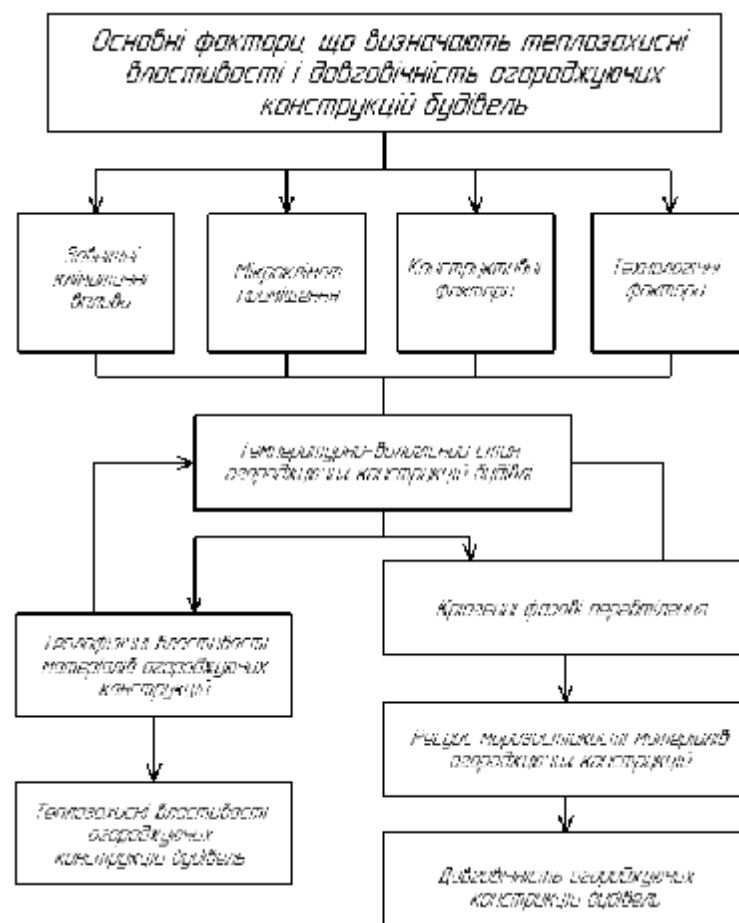


Рисунок 2.11 – Основні фактори, що визначають теплозахисні властивості і довговічність огорожувальних конструкцій будівель

Згідно з нормами, визначеними ДСТУ Б В.2.6-31:2006 "Теплова ізоляція будівель", були прийняті мінімальні значення опорів теплопередачі для різних елементів будівельних конструкцій. Це призвело до широкого використання багатошарових термічно неоднорідних стінових огорожень з полімервмісними утеплювачами. Однак такі матеріали викликають занепокоєння щодо їх довговічності, екологічності та пожежної безпеки.

Метод визначення експлуатаційного ресурсу", показали, що довговічність таких утеплювачів є значно меншою, ніж довговічність конструктивних частин стін.

У рамках досліджень були розглянуті дві базові стінові конструкції:

- конструкції з облицюванням і внутрішнім утепленням,
- конструкції із зовнішнім утепленням (рис. 2.9, 2.10).

Розрахункові кліматичні впливи були визначені для Києва, а результати аналізу наведені в таблиці 2.10. З таблиці випливає, що утеплювач має менший термін служби, ніж основна частина стіни, що підкреслює необхідність регламентування застосування полімерних утеплювачів у капітальному будівництві.

Традиційні матеріали, такі як керамзитобетон і цегла, хоча і мають низку переваг (доступність, простота використання, економічність), мають і суттєві недоліки — високу середню щільність і недостатні теплотехнічні властивості, що погіршує комфортні умови проживання.

Фібропінобетон може стати перспективним рішенням для огорожувальних конструкцій будівель. Експериментальні дослідження показали, що він має кращі фізико-механічні властивості порівняно з традиційними стіновими матеріалами (табл. 2.11). Аналіз результатів свідчить про те, що фібропінобетонні стіни перевершують традиційні матеріали як за експлуатаційними, так і за вартісними характеристиками.

Подальший аналіз ефективності фібропінобетонних виробів буде проводитися для двох найпоширеніших конструктивних систем житлових і громадських будівель, з метою повнішого оцінювання їх переваг та доцільності застосування.

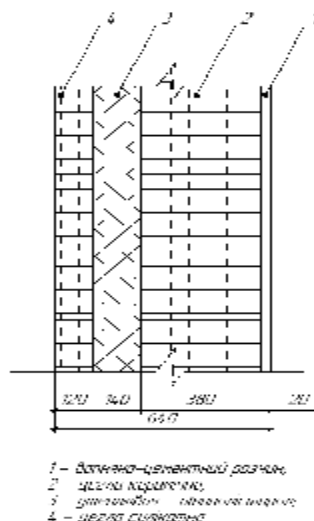


Рисунок 2.11 – Конструкція стіни з лицевальною цеглою і утеплювачем

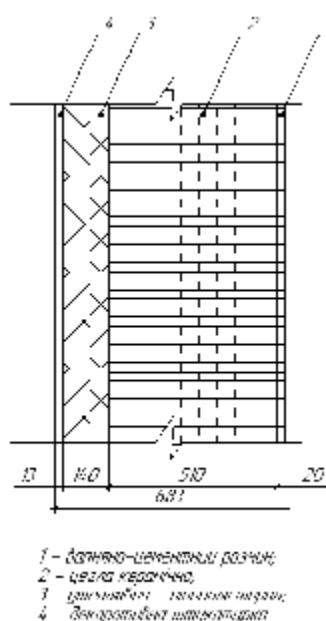


Рисунок 2.12 – Конструкція стіни з зовнішнім утеплювачем

Таблиця 2.10 – Довговічність утеплювача в огорожуючих конструкціях будівель

Найменування матеріалу, виробник	Строк природнього старіння, роки	Довговічність утеплювача (років)	
		Конструкція №1	Конструкція №2
ППС, ТОВ "Кнауф"	20,2	14	13
ЕППС, НПП "Експол"	50,0	36	34
ЕППС, ЗАТ "Темнікіль"	22,5	17	16
ЕППС Флореміт, "Dow Chemical"	48,3	39	37
ЕППС Рурфеміт, "Dow Chemical"	60,8	43	40

Таблиця 2.11 – Фактори конкурентоспроможності стінових матеріалів в експертних оцінках

Показники конкурентоспроможності	Цегло	Навітряні бетонні	Бетонні блоки	Кірпіч	Пінополіуретан	Фібриліно-бетон
Конфідентність конструктивної системи	5 16	0,5 1,1	4 17	1	4 17	1 14
Експлуатаційна безпека й умов для експлуатації	5	5	5	2	1	5
Термічний опір стіни, товщиною 0,5м ВТ/м²С	0,86...0,6	7,14...0,77	1,056	10...6,5	115...6,5	7,14...0,83
Коефіцієнт звукопоглинання	0,1 0,2	0,5 0,7	0,1 0,1	0,2 0,8	0,1 0,7	0,6 0,9
Стійкість до віброзбуредження і сейсмічних впливів	1	0,8	15	0	0,5	5
Пожарна безпека	5	5	5	3	0	5
Стійкість до корозії	5	4	5	4	3	4
Технологічність	2	3	2	3	3	5
Необхідність захисту від атмосферних впливів	4	3	5	0	2	5
Ітого балів	28...28,8	29...35,3	28,6...41,3	23,2...20,3	22,3...23,7	37,7...44,7
Нормованість (циклів)	15 50	0...75	50...200	0	0...50	10... 150
Втрати при транспортуванні, складуванні і монтажі, %	0,5...2	5...15	0,5...1	0,5...2	0,5...2	0,1...0,2
Ціна 1м² стіни з нормованим термічним опором, р	1400	810	1440			1140

3 ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1 Виробнича санітарія.

Будівництво виробничих і санітарно-побутових будівель обумовлено кількістю працівників і графіком їх роботи. Спираючись на ці фактори, виконують розрахунок необхідної площі приміщень для працівників.

Під час визначення потреб будівництва в електроенергії особлива увага приділяється штучному освітленню, яке повинно забезпечувати хорошу видимість на робочих місцях та уникати засліплення від джерел світла.

3.2 Техніка безпеки при виконанні кам'яних робіт.

Для переміщення та доставки цегли на робочі місця вантажопідйомними кранами необхідно використовувати піддони, контейнери та спеціальні вантажозахватні пристрої. Це запобігає випадковому падінню вантажу під час підйому, забезпечуючи безпеку робітників.

Не дозволяється виконувати кладку зовнішніх стін товщиною до 0,51 м, стоячи безпосередньо на стіні, щоб уникнути небезпеки падіння. Ширина робочих настилів на лісах і підмостках повинна бути не меншою за 2 м для кам'яних робіт, 1,5 м для штукатурних робіт і 1 м для малярних та монтажних робіт. Висота проходів на лісах має бути не меншою за 1,8 м, а зазор між стіною будівлі та робочим настилом не повинен перевищувати 50 мм для кам'яної кладки і 150 мм для оздоблювальних робіт.

Настили лісів, підмостки та драбини, розташовані на висоті понад 1,1 м від рівня землі або перекриття, повинні мати огорожу з поручнями, які мають висоту не менше 1 м і складаються з зовнішнього та проміжного горизонтального елемента, а також бордюрної дошки висотою не менше 150 мм. Огородження мають бути розраховані на горизонтальне навантаження в середині прольоту, що гарантує безпеку працівників.

					ДФБС 2319203	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		53

Ліси та підмостки потрібно встановлювати на очищені та вирівняні поверхні. Особливу увагу слід приділяти надійному опираю стійок трубчастих лісів на ґрунт, щоб забезпечити стійкість конструкції. При подачі цегли чи розчину на робочі місця необхідно дотримуватись правил безпеки, використовуючи піддони, контейнери та інші пристрої, що унеможливають падіння матеріалів під час підйому.

Усі працівники, що знаходяться на будівельному майданчику, повинні носити захисні каски відповідно до ДСТУ 7239:2020.. Роботи виконуються відповідно до сучасних норм, таких як ДБН А.3.2-2-2009, які регламентують безпеку праці у будівництві.

Щодо організації будівельного майданчика, необхідно встановити небезпечні зони, де є потенційний ризик впливу небезпечних виробничих факторів. Безпечна зона для перебування людей під час монтажу конструкцій або переміщення вантажів має бути визначена так, щоб унеможливити ризик травмування від падіння вантажу під час роботи крана.

$$\rho = \sqrt{L(m(1 - \cos \alpha) + n)}, \text{ де}$$

ρ - величина вильоту конструкцій при максимальному підйому, м;

L – відстань від землі до крюка крана, м;

m – довжина вітки стропа;

n – відстань від центра тяжіння елемента до його найбільш довгого конуса:

$$R = r + \rho; \text{ де } r - \text{максимальний виліт стріли};$$

$$\rho = \sqrt{0.7(12(1 - \cos 0^\circ) + 9)} = 2,5 \text{ м};$$

$$R = 17 + 2,5 = 19,5 \text{ м};$$

Небезпечна зона роботи підйомника визначається як простір, де існує ймовірність падіння піднятого вантажу. Вона охоплює не менше 5 м від

					ДФБС 2319203	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		54

крана по горизонталі, щоб забезпечити безпеку робітників і уникнути потенційних травм.

Детальніше розглянемо ключові параметри:

1. Вертикальні небезпечні зони - це простір над вантажем, який підіймається, що потрібно враховувати для уникнення зіткнень з іншими конструкціями чи обладнанням.

2. Горизонтальна відстань від гака крана до найближчого елемента будівлі має бути не менше 1 м, щоб запобігти пошкодженням як будівлі, так і самого обладнання.

3. Відстань від гака крана або противаги до монтажного горизонту (рівня, на якому виконуються роботи) повинна складати щонайменше 2 м, що забезпечує додатковий простір для маневру та безпеки.

4. Відстань від противаги до найбільш виступаючого елемента будівлі повинна бути не менше 0,4 м, що гарантує захист від зіткнень під час роботи крана.

Ці параметри є мінімальними вимогами для забезпечення безпеки працівників та ефективної роботи вантажопідйомних механізмів на будівельному майданчику.

3.3 Техніка безпеки при виконанні штукатурних робіт.

До виконання штукатурних робіт допускаються лише ті працівники, які пройшли інструктаж з техніки безпеки та ознайомилися з принципами роботи лінії механізації штукатурних процесів. Перед початком кожної зміни обов'язково перевіряється справність розчинонасосу, інших механізованих засобів, а також стан шлангів, міцність підмостів і столиків, на яких працюють робітники.

Для забезпечення безпеки роботи з обладнанням слід уникати надмірного згинання шлангів під гострим кутом, а також не затягувати сальники під час роботи штукатурної станції, щоб не пошкодити

обладнання. Оператори, які наносять розчин за допомогою сопла, повинні бути одягнені у спеціальний захисний одяг, захисні окуляри або маску для захисту очей та обличчя від розбризкування розчину.

Тимчасова електропроводка для виконання внутрішніх штукатурних робіт має бути переносною та працювати на напрузі не більше 36 В, що мінімізує ризик ураження електричним струмом. Заборонено використовувати обігрівачі, що виділяють продукти згорання, для нагріву чи сушіння приміщень, оскільки це створює небезпеку для здоров'я працівників.

Засоби підмоцнування, які застосовуються під час штукатурних та малярних робіт, повинні мати настил без щілин, особливо в тих місцях, де проходять інші робочі або ведуться паралельні роботи, щоб уникнути травмування працівників.

Ці вказівки з техніки безпеки відповідають сучасним нормам, зокрема ДБН А.3.2-2:2009, які регулюють безпечну організацію будівельних робіт.

3.4 Електробезпека

Під час роботи з електроустановками часто виникають ситуації, коли навіть найсучасніше обладнання не здатне гарантувати безпеку працівників. У таких випадках потрібно використовувати спеціальні захисні засоби.

Забезпечення безпеки обслуговування електроустановок на будівельних майданчиках досягається такими способами:

1. Контроль стану ізоляції: Для забезпечення безпеки важливо підтримувати належний стан ізоляції всіх елементів електроустановки. У деяких випадках використовується підвищений рівень ізоляції, наприклад, подвійна ізоляція. Також слід дотримуватися безпечної відстані до струмопровідних частин.

2. Обмеження доступу до електромереж: Важливо забезпечити неприступність електричних мереж для сторонніх осіб, щоб уникнути випадкового дотику до небезпечних частин.

3. Використання захисних матеріалів і обладнання: Це включає використання ізолюючих підкладок та обладнання, корпуси якого виготовлені з ізоляційних матеріалів. Також варто застосовувати прилади, які працюють на низькій напрузі – до 42 В. Крім того, для захисту від помилкового включення електроустановок використовуються системи блокування пускових пристроїв. Електрообладнання та елементи, які можуть опинитися під напругою, мають бути заземлені. У деяких випадках застосовуються розділові трансформатори, які знижують ризик ураження струмом.

Важливим етапом забезпечення безпеки на будівельних майданчиках є правильне й своєчасне розроблення проєкту виконання робіт, де передбачений розділ «електропостачання, електрообладнання, електробезпека». Це дозволяє організувати роботи так, щоб мінімізувати ризики для працівників.

Небезпечна зона поблизу тимчасових електричних мереж визначається простором, у межах якого працівник може випадково доторкнутися до дротів або інших частин. Ця зона включає максимальну довжину використовуваних елементів плюс додатковий запас у 1 метр для уникнення контакту з електроустановками.

У будівництві найчастіше використовують електричні системи з глухо заземленою нейтраллю трансформатора або генератора електростанції. У таких системах важливо використовувати заземлення – занулення, яке забезпечує надійний металевий зв'язок між корпусами електрообладнання та виводами трансформатора. Цей зв'язок з'єднується із заземленою нейтраллю, що гарантує безпеку під час роботи з електроустановками.

					ДФБС 2319203	Лист
						57
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

При цьому забороняється використовувати заземлення без наявності металевого зв'язку з нейтраллю, оскільки це значно підвищує ризик ураження електричним струмом і не відповідає сучасним нормам безпеки.

3.6 Система штучного освітлення будівельного майданчика.

Штучне освітлення на будівельних майданчиках поділяється на кілька видів: робоче, охоронне, аварійне, а також загальне або комбіноване. Кожен із цих видів має свою функцію і особливості використання, які залежать від умов роботи та необхідного рівня освітленості.

Для будівельних майданчиків зазвичай передбачають рівномірне загальне освітлення, де рівень освітленості повинен бути не менше 2 Лк, що дозволяє забезпечити комфортні та безпечні умови роботи. Визначення освітленості для окремих ділянок і робочих місць здійснюється відповідно до таблиці 1 СН 81-80, де вказані рекомендовані значення для різних видів робіт та умов освітлення.

Охоронне освітлення призначене для освітлення території, де потрібен мінімальний рівень видимості, щоб забезпечити безпеку майданчика. Для цього типу освітлення рівень освітленості має бути не менше 0,5 Лк.

Аварійне освітлення використовується в ситуаціях, коли основне освітлення не працює, наприклад, під час відключення електроенергії. Воно забезпечує мінімальний рівень видимості, що становить 0,5–0,2 Лк, щоб працівники могли безпечно залишити зону робіт або виконати необхідні аварійні дії.

Для розрахунку освітлення на горизонтальній поверхні зазвичай застосовують метод світлового потоку, який дозволяє точно визначити кількість і розташування джерел світла для досягнення необхідного рівня освітленості.

$$E = \frac{F \cdot n \cdot \eta}{S \cdot k}, \text{ де}$$

E – освітленість, Лк;

F – світловий потік, прийнятий для освітлення лампи, Лк;

n- кількість ламп, джерел;

η – коефіцієнт, що приймається в залежності від пофарбування стін та стелі

$$\eta = 0,3-0,5;$$

S – площа підлоги, освітленого приміщення;

k – коефіцієнт запаса;

Для розрахунку освітлення вертикальної поверхні використовують точений метод за формулою:

$$E = \frac{1000 \cdot F \cdot k \cdot h^2}{E_0}, \text{ де}$$

h- висота підвіса лампи;

E_0 – відносна освітленість;

З данної формули знаходимо необхідну кількість ламп, приймаючи нормативну освітленість $E=2\text{Лк}$.

Для горизонтальної поверхні:

$$h = \frac{S \cdot E \cdot k}{F \cdot \eta} = \frac{254 \cdot 2 \cdot 1,3}{500 \cdot 0,5} = 4 \text{ шт.}$$

Для вертикальної поверхні знаходимо висоту підвіса ламп:

$$h = \sqrt{\frac{E \cdot E_0}{1000 \cdot F \cdot k}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 120 \cdot 105}{1000 \cdot 500 \cdot 1,3}} = 6 \text{ м};$$

Остаточно приймаємо 4 лампи потужністю 500 Вт, розміщених на висоті 6м.

3.7 Пожежна безпека.

Згідно з технологічною характеристикою переробного цеху, виробництво належить до категорій В і Д за вибухо- та пожежобезпекою. За експлуатаційними вимогами щодо капітальності та вогнестійкості, будівля відноситься до другого класу (II кл.).

Згідно з протипожежними нормами, будівельний майданчик, що розташований на відстані понад 200 метрів від власних джерел води, повинен мати пожежний водопровід із трубами діаметром 100 мм. Пожежні гідранти мають бути встановлені на відстані не більше 2 м від дороги та не менше 5-6 м від будівлі. Відстань між гідрантами має становити від 50 до 100 м.

Об'єкт будівництва повинен бути оснащений протипожежним обладнанням та первинними засобами пожежогасіння. На будівельному майданчику необхідно розмістити вогнегасник ОХП-10. Комплект першочергових засобів пожежогасіння слід розміщувати на видному місці на рівній поверхні.

За забезпечення протипожежної безпеки на будівельному об'єкті персонально відповідає начальник будівництва. Генпідрядник здійснює контроль за дотриманням усіх вимог пожежної безпеки.

Склади дерев'яних відходів мають розташовуватися на відстані не менше 50 м від найближчих будівель та меж складу лісоматеріалів. Розпалювання багаття на території будівельного майданчика суворо заборонене. Куріння дозволяється лише у спеціально відведених місцях, обладнаних засобами вогнегасіння. Фарби, розчинники та інші горючі рідини слід зберігати в незаймистих будівлях у закритих ємностях.

Кожен котел для варіння або нагріву бітуму та мастик має бути обладнаний кришкою з незаймистого матеріалу, яка щільно закривається. Заповнювати котли слід не більше, ніж на $\frac{3}{4}$ їхньої ємності.

					ДФБС 2319203	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		60

Пожежні щити необхідно встановлювати біля кожного будівельного об'єкта, а також біля тимчасових адміністративно-побутових і складських приміщень.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

1. На основі аналізу літературних джерел зроблено висновок про те, що вдосконалення технологій виробництва ніздрюватих бетонів, зокрема пінобетонів, є важливим напрямком розвитку сучасного будівництва, зважаючи на зростаючі вимоги до тепло- та звукоізоляційних властивостей матеріалів.
2. Виявлено, що автоклавні пінобетони демонструють вищу міцність і меншу усадку, проте їх виробництво є капіталоємним. Неавтоклавні пінобетони є економічнішими, однак мають значну усадку і нижчу однорідність, що вимагає подальших досліджень для поліпшення їх властивостей.
3. Проведені експериментальні дослідження показали, що додавання хімічних добавок, пластифікаторів та дисперсної арматури значно покращує міцнісні характеристики неавтоклавних пінобетонів, зокрема зменшує усадку та підвищує тріщиностійкість.
4. Встановлено, що дисперсне армування поліамідними волокнами змінює характер руйнування пінобетону з крихкого на в'язкий, що підвищує загальну стійкість конструкцій. Найбільший приріст міцності спостерігається при додаванні волокон у кількості до 2% від обсягу твердої фази.
5. Виявлено, що дисперсне армування призводить до підвищення призмової міцності матеріалу на 20-25% порівняно з кубиковою міцністю, що дозволяє знизити матеріаломісткість будівельних конструкцій та підвищити їхню економічність.
6. Встановлено, що при розтягуючих навантаженнях міцність дисперсно армованих пінобетонів зростає в 1,2-2,5 рази, що дозволяє застосовувати їх не лише в огорожувальних, але й у несучих елементах будівель.

GENERAL CONCLUSIONS ON THE WORK

1. Based on the analysis of literature sources, it is concluded that the improvement of technologies for the production of cellular concrete, in particular foam concrete, is an important direction of development of modern construction, given the growing requirements for heat and sound insulation properties of materials.
2. Autoclaved foam concrete has been shown to have higher strength and lower shrinkage, but its production is capital-intensive. Non-autoclaved foam concretes are more economical, but have significant shrinkage and lower homogeneity, which requires further research to improve their properties.
3. Experimental studies have shown that the addition of chemical additives, plasticisers and dispersed reinforcement significantly improves the strength characteristics of non-autoclaved foam concrete, in particular, reduces shrinkage and increases crack resistance.
4. It has been established that dispersed reinforcement with polyamide fibres changes the nature of foam concrete fracture from brittle to viscous, which increases the overall stability of structures. The greatest increase in strength is observed when fibres are added in an amount of up to 2% of the volume of the solid phase.
5. It was found that dispersed reinforcement leads to an increase in the prismatic strength of the material by 20-25% compared to the cubic strength, which reduces the material consumption of building structures and increases their efficiency.
6. It has been established that under tensile loads, the strength of dispersed reinforced foam concrete increases by 1.2-2.5 times, which allows them to be used not only in the enclosing but also in the load-bearing elements of buildings.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.2-9:2018. Громадські будинки та споруди. Основні положення. Київ: Мінрегіонбуд України, 2018.
2. Асєєв Ю. С. Архітектура Київської Русі. Київ: Видавництво Академії наук УРСР, 1969.
3. Тарас Я. Сакральна дерев'яна архітектура України (X–XXI ст.). Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2015.
4. Канони і принципи будівництва православного храму. Домінант, 2022.
5. Огляд та аналіз сучасного стану храмобудування в Україні. Архітектура та будівництво, 2018. Доступно: axi-rnam.com.ua.
6. ДСТУ Б В.2.7-17-95. Будівельні матеріали. Пінобетони. Технічні умови. Київ: Держстандарт України, 1995.
7. ДСТУ Б В.2.7-18-95. Будівельні матеріали. Пінобетони. Методи випробувань. Київ: Держстандарт України, 1995.
8. ДСТУ Б В.2.7-19-95. Будівельні матеріали. Пінобетони. Правила приймання, транспортування і зберігання. Київ: Держстандарт України, 1995.
9. ДСТУ Б В.2.7-20-95. Будівельні матеріали. Пінобетони. Вказівки щодо застосування. Київ: Держстандарт України, 1995.
10. ДСТУ Б В.2.7-21-95. Будівельні матеріали. Пінобетони. Методи контролю якості. Київ: Держстандарт України, 1995.
11. ДСТУ Б В.2.7-22-95. Будівельні матеріали. Пінобетони. Технічні вимоги до сировини. Київ: Держстандарт України, 1995.
12. ДСТУ Б В.2.7-23-95. Будівельні матеріали. Пінобетони. Методи визначення фізико-механічних властивостей. Київ: Держстандарт України, 1995.

- 13.ДСТУ Б В.2.7-24-95. Будівельні матеріали. Пінобетони. Правила проведення приймально-здавальних випробувань. Київ: Держстандарт України, 1995.
- 14.ДСТУ Б В.2.7-25-95. Будівельні матеріали. Пінобетони. Методи визначення теплопровідності. Київ: Держстандарт України, 1995.
- 15.ДСТУ Б В.2.7-26-95. Будівельні матеріали. Пінобетони. Правила оформлення технічної документації. Київ: Держстандарт України, 1995.
- 16.Батяновський Є., Мордіч М. Пінобетони: технологія та властивості. 2023.
- 17.Грушецький О.Р. та ін. Дослідження піноутворювачів та бетону на їх основі для виробництва автоклавного пінобетону. Вісник Національного університету "Львівська політехніка", 2020.
- 18.Перспективи впровадження пінобетону в дорожньому будівництві. 2018.
- 19.Ковальчук В.І. та ін. Випробування на пробивання плит з пінобетону. Вісник Національного університету "Львівська політехніка", 2019.
- 20.Foam Concrete: A State-of-the-Art and State-of-the-Practice Review. Open Ukrainian Citation Index, 2020.
- 21.A Review on Durability of Foam Concrete. Buildings, 2023.
- 22.A State-of-the-Art Review on Geopolymer Foam Concrete with Solid Waste Materials: Components, Characteristics, and Microstructure. Innovative Infrastructure Solutions, 2023.
- 23.Factors Influencing the Density and Compressive Strength of Foam Concrete: An Examination. Advances in Building Materials Research, 2024.
- 24.Thermal Properties of Foamed Concrete: A Review. Advances in Construction Materials, 2020.