

**ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет інженерно-технологічний**

**Кафедра будівництва та професійної освіти**

Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи

на тему: **«Оптимізація складу газобетону на основі відходів промисловості з використанням математичного планування»**

КРМ.192БЦмд\_21 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти  
за освітньо-професійною програмою  
«Технології будівельних конструкцій,  
виробів і матеріалів»  
спеціальності 192 «Будівництво та  
цивільна інженерія»  
ступеня вищої освіти магістр  
групи 192БЦмд\_21  
Земенко Андрій Анатолійович

Керівник: Попович Н.М.

**Полтава 2024 року**

## Вступ

Будівельна галузь вимагає використання ефективних будівельних матеріалів, що відповідають зростаючим вимогам при проектуванні, будівництві та експлуатації будівель і споруд різного призначення. У той же час проблеми, пов'язані з екологічною безпекою навколишнього середовища, можуть вирішуватися і за рахунок залучення різних відходів для виробництва будівельних матеріалів, в тому числі технологічних.

При будівництві сучасних будівель і споруд необхідно використовувати матеріали з високими експлуатаційними властивостями. Основним матеріалом в основному є бетон. Його якість залежить від матеріалів, що використовуються, властивості яких повинні відповідати чинним стандартам і технічним умовам, забезпечувати заданий клас міцності та інші фізико-механічні характеристики.

Розробка складів будівельних матеріалів на основі комплексного використання матеріалів обумовлена екологічним фактором - поліпшенням екологічної обстановки в результаті накопичення промислових відходів.

В даний час в якості мінеральної сировини використовуються штучні матеріали з подальшим виготовленням нових видів високоякісної продукції. Основними сферами застосування ЗШВ є: виробництво цементу, цегли, виготовлення керамічних матеріалів, у виробництві зідруютих бетонів, пористих заповнювачів.

Виробництво будівельних матеріалів передбачає можливість використання ЗШВ у вигідній сировині приблизно на 25%, при цьому собівартість виробництва будівельних матеріалів із застосуванням золи і шлаку знижується на 12-15%.

## РОЗДІЛ 1

### ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

#### 1.1 Відомості про ніздрюваті бетони

Бетоном називають штучний камінь, отриманий зв'язуванням суміші сипучих матеріалів ( звичайно піску, щебеню або гравію) за допомогою цементу, вапна і т. д., тверднучий без випалу, від хімічної сполуки з водою [1].

Ніздрюваті бетони – це особливо легкі бетони з великою кількістю рівномірно розподілених в ньому дрібними замкнутими повітряними порами розміром до  $1,5$  мм (до 85% загального об'єму бетону) [1].

Ніздрюватий бетон, залежно від способу приготування, називається або «газобетон» або «газобетоном». Газобетон виготовляється шляхом утворення в розчині цементу осередків, які утворюються внаслідок утворення бульбашок газу. Газ же виходить від хімічного впливу цементу на особливі газоутворюючі добавки. Газ спучує незатверділий ще цементний розчин; розчин же схплюється і твердне в такому ступені, зберігаючи в собі осередки.

Газобетоном називають штучний кам'яноподібний матеріал з рівномірно розподіленими в ньому дрібними замкнутими повітряними порами, що виготовляється шляхом змішування портландцементного тіста з газом, одержуваної з різних газоутворюючих речовин. Однак, немає ніяких причин думати, що газобетон не можна виготовляти і з інших в'язучих речовин, але поки єдиний тільки газобетон на портландцементі.

Ніздрюваті бетони за густиною і назначенням ділять на теплоізоляційні з густиною  $300-600$   $\text{кг}/\text{м}^3$  і міцність  $0,4-1,2$  МПа і конструкційні з густиною  $600-1200$   $\text{кг}/\text{м}^3$  (найчастіше  $800$   $\text{кг}/\text{м}^3$ ) і міцність  $2,5-15$  МПа [2].

Також виготовляють автоклавні ніздрюваті бетони, процес тверднення відбувається в автоклавах під тиском  $0,8-1$  МПа. Вони виготовляються з наступних сумішей:

а) цементу з кварцевим піском, при цьому частину піску зазвичай домішують;

б) мелену негашене вапно з кварцевим частково подрібненим піском; такі ніздрюваті бетони називають газосилікатами або газосилікатами;

в) цементу, вапна та піску з різних співвідношень. [2]

## 1.2 Особливості газобетону

### Міцність

Міцність газобетону залежить, в основному, від активності застосовуваного цементу і його витрати. Рисунки 1.1 та 1.2 ілюструють взаємозв'язок між вихідними факторами і тимчасовим опором газобетону стисненню в місячному та тримісячному віці. Тимчасовий опір газобетону згину становить 50-60% від опору стисненню[3].

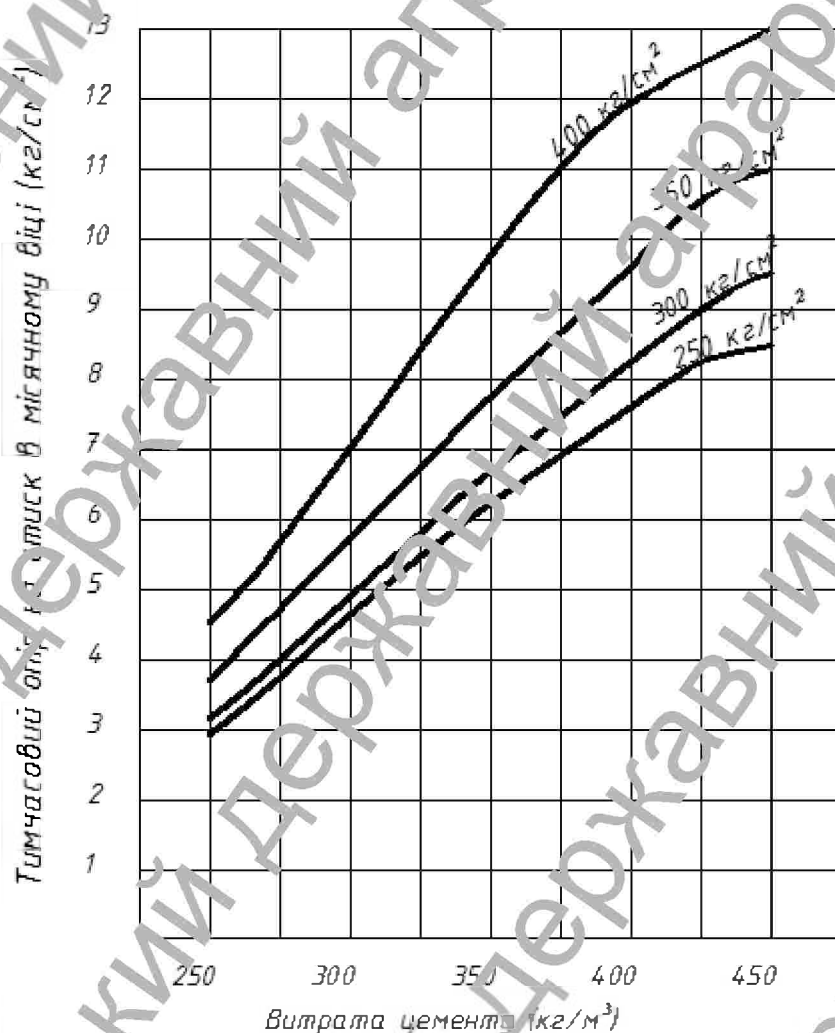


Рис.1.1. Міцність газобетону в місячному віці, в залежності від витрати та активності цементу

Виходячи з практичних даних, слід вважати, що з міркувань транспортування мінімальна міцність на стиск газобетонних виробів, при випуску їх з заводу, повинна становити 7-8 кг/см<sup>2</sup>. Ця міцність відповідає при цементі активністю 250-300 кг/см<sup>2</sup> газобетон з витратою 350 кг/м<sup>3</sup>. Останній і являється найбільш уживаним видом теплоізоляційного газобетону, що застосовується в будівництві.

Для газобетону, що укладається в конструкцію не у вигляді виробів, а так званім «монолітним» способом, мінімальна міцність на стиск може бути знижено і повинна становити в місячному віці 4-5 кг/см<sup>2</sup>.

Газобетон, будучи правильно виготовлений і належним чином витриманий, зростає в міцності з часом. Це збільшення становить для тримісячної міцності 30 - 35%, а для річної - 60 - 70% від міцності в місячному віці[3].

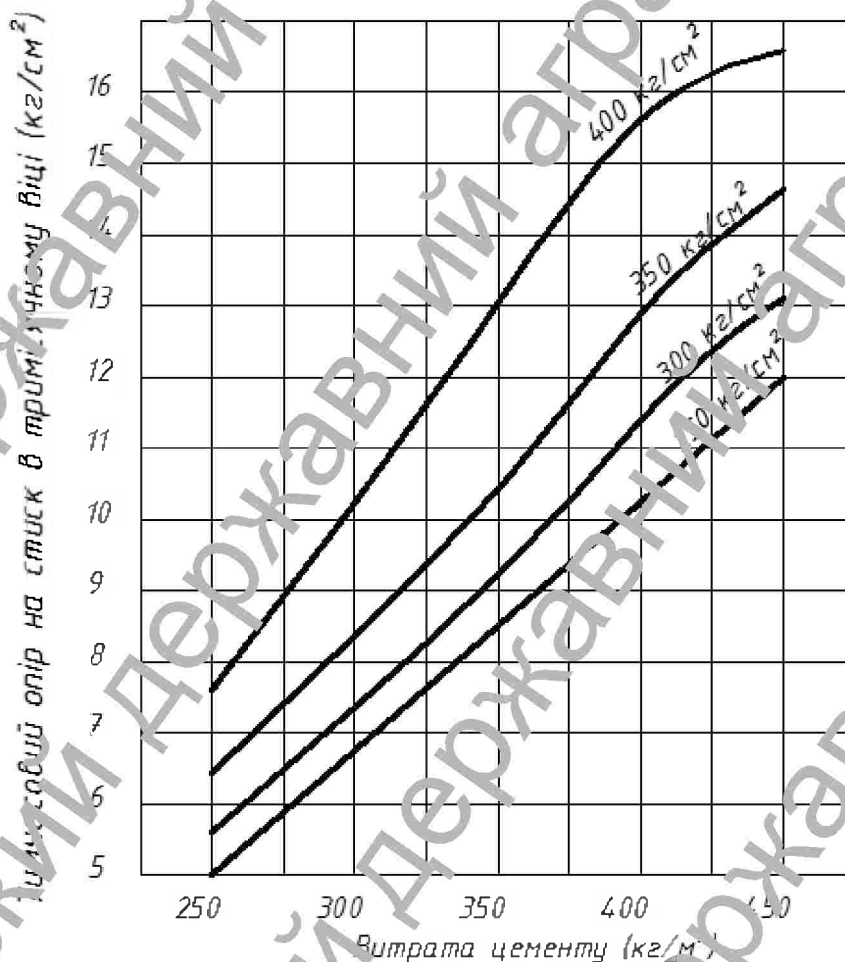


Рис. 1.2 Міцність газобетону в тримісячному віці, в залежності від витрати та активності цементу

## Густина

Середня густина газобетону, в основному, залежить від витрати цементу, і для сухого стану може бути визначений множенням витрати цементу на коефіцієнт 1,18 - 1,2.

У конструкції газобетон володіє деякою часткою вологості, яка, погрудно, відбивається на його об'ємній вазі. Величина цієї вологості, згідно з низкою практичних даних за ричай не перевищує 6 - 8%, в середньому, 7% за об'ємом. Додатком цієї вологості до об'ємною вагою сухого газобетону і визначається його Середня густина в так званому «розрахунковому» стані [3].

Рисунок 1.3 ілюструє взаємозв'язок між витратою цементу і густинами газобетону в сухому і розрахунковому станах. За цим графіком можна встановити, що найбільш часо вживаний газобетон, з витратою цементу 350 кг/м<sup>2</sup>, має розрахунковий Середня густина 480 - 490 кг/м<sup>3</sup>.

Середня густина газобетону, в середньому, становить 2,75.

Рисунок 1.3 ілюструє взаємозв'язок між об'ємною вагою і обчисленої, виходячи з вищевизаного питомої ваги, пористості газобетону [3].

## Структура

Структура газобетону представляється у вигляді осередків, розділених між собою перегородками з отверділого цементного тіста. Осередки мають кулясту форму. Стінки між осередками. Частинами мають отвори, так що осередки певною мірою «зливаються» між собою.

Розмір осередків може піддаватися значних коливань в залежності від різних факторів: діаметр осередків коливається від 0,25 - 0,5 мм до 2 - 3 мм. Практично зручніше характеризувати розмір осередків кількістю відкритих пор на 1 см<sup>2</sup> поверхні розрізу газобетону.

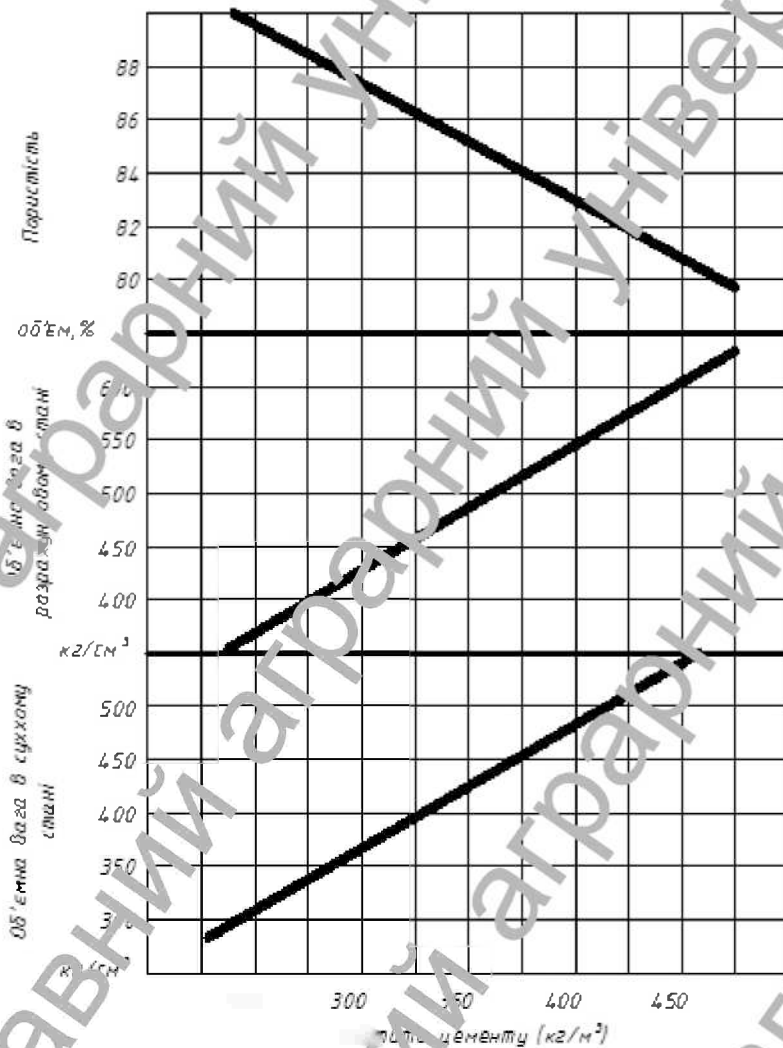


Рис. 1.3. Середня густина і пористість газобетону в залежності від витрат цементу

Газобетон, правильно виготовлений, володіє рівномірною структурою - осередки мають незначні відхилення один від одного за розмірами (рис.1.4). У разі неправильного технологічного процесу газобетон володіє нерівномірною структурою - осередки мають неправильну (не круглу) форму, стійки між осередками розірвані, а розмір осередків величезно нерівномірний (рис. 1.5). Це має, зазвичай, місце при недостатній кількості води при замішуванні цементного тіста [3].

Якщо ж води дано ще менше, то утворюються окремі грудки цементного тіста в газобетоні. Такий матеріал є вже браком, і в будівництві застосовувати його не слід.

Як буде показано нижче, структура газобетону відображається на його теплопровідності і водопоглинанні.

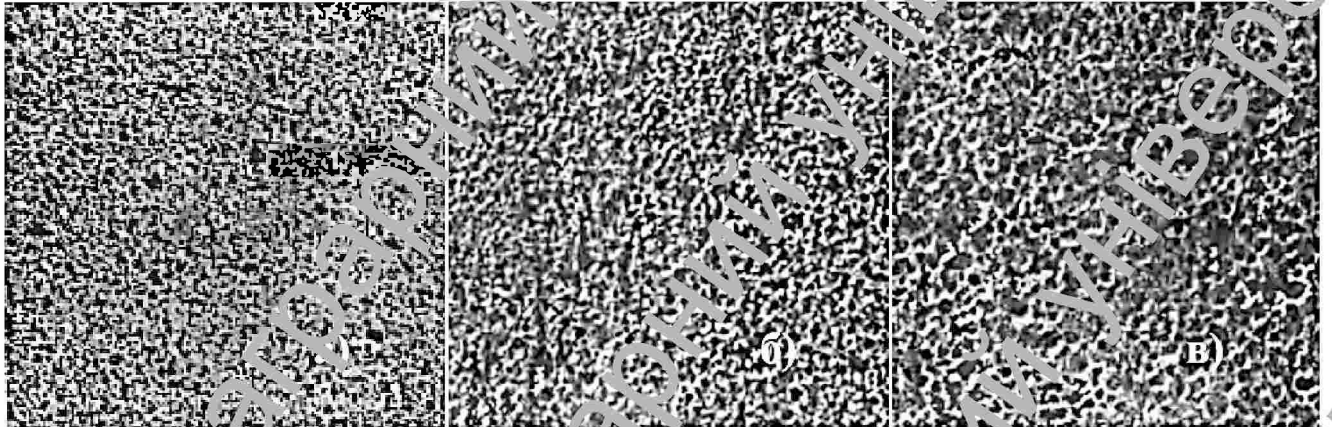


Рис 1.4. Структура: а) дрібнозернистий, б) середньозернистий, в) крупнозернистий ніздреватий бетон

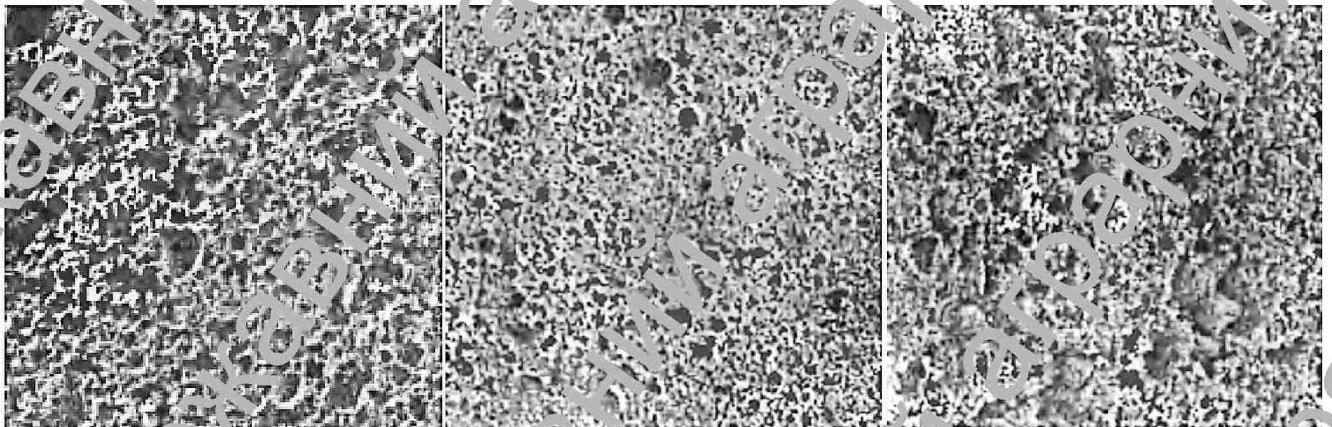


Рис 1.5. Зразки газобетону нерівномірної структури

### **Водопоглинання та гігроскопічність**

Величини водопоглинання і гігроскопічності газобетону залежать від витрати цементу і розміру пор газобетону. На рисунках 1.6 – 1.7 наведені дані про водопоглинання газобетону після 5-добового перебування у воді і гігроскопічності його після 5-добового перебування на вологому (100%) повітрі, залежно від структури та витрати цементу [3].

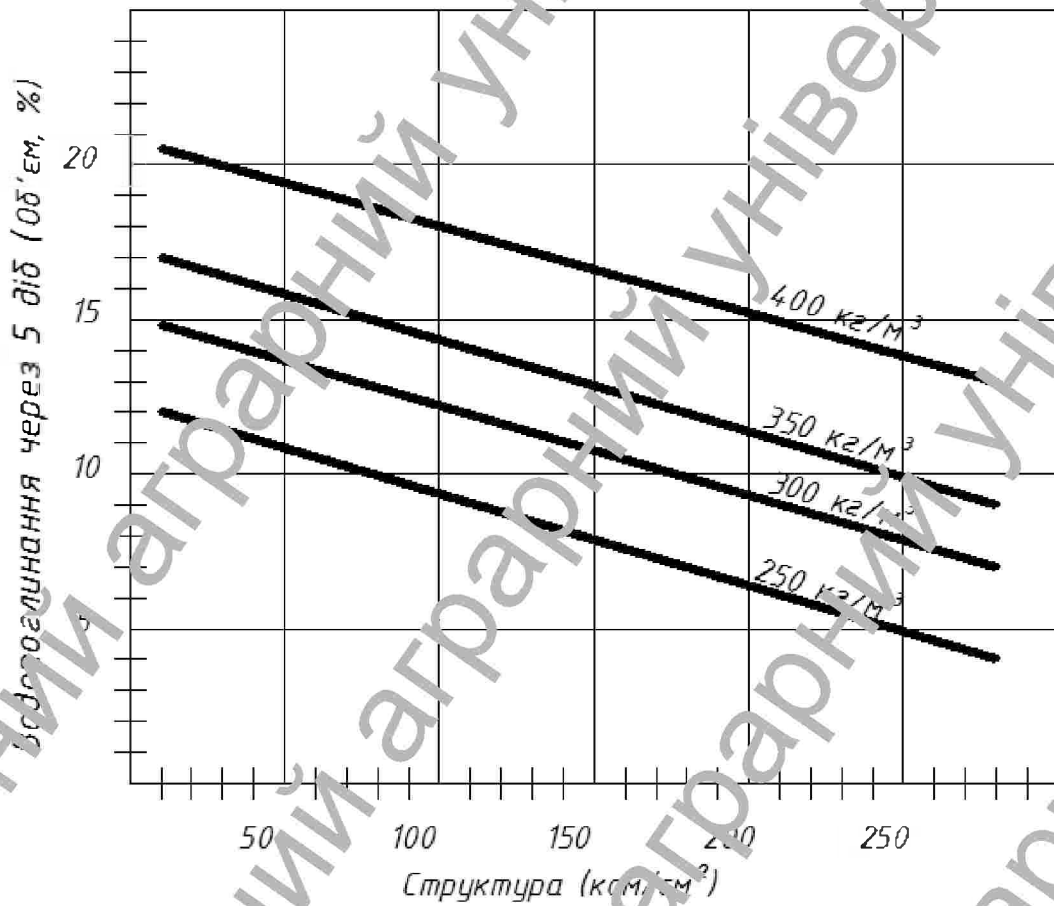


Рис 1.6. Водопоглинання газобетону через 5 діб, в залежності від структури і витрати цементу

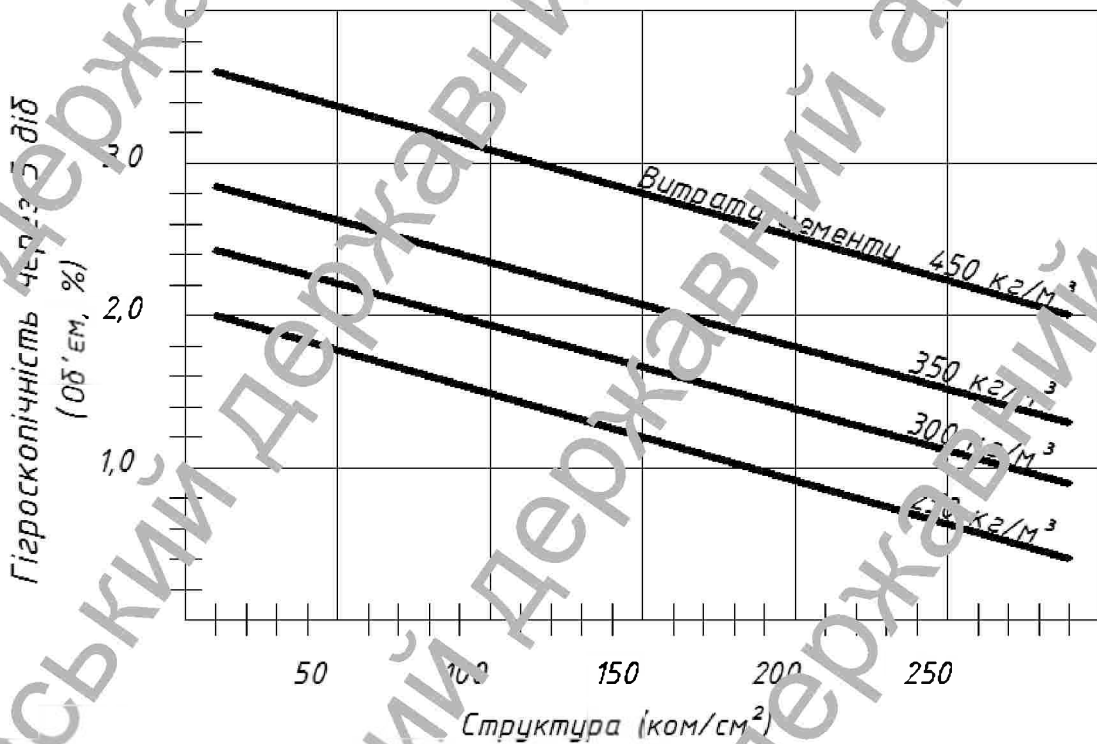


Рис 1.7. Гігроскопічність газобетону через 5 діб, в залежності від структури і витрати цементу

Рисунки 1.8 – 1.9 ілюструють водопоглинання і гігроскопічність газобетону з найбільш часто вживаною витратою цементу-350 кг/м<sup>3</sup>, залежно від тривалості перебування у воді або на вологому повітрі. З цих даних можна встановити, що водопоглинання і гігроскопічність газобетону досить невеликі (маючи на увазі малу його середню густину) порівняно із зазвичай більшою у інших термоізоляційних матеріалів. Його, зокрема, підтверджується даними табл. 1 в якій приводиться порівняння стабілізованого розміру гігроскопічності газобетону і термоізоляційних матеріалів органічного походження.

Зазначена обставина має дуже важливе значення, так як гігроскопічність зумовлює значною мірою фактичний вміст води в матеріалі в робочому стані (в конструкції), що в свою чергу, досить істотно відбивається на його тепло-технічних властивостях, які для матеріалів термоізоляційного призначення відіграють вирішальну роль [3].

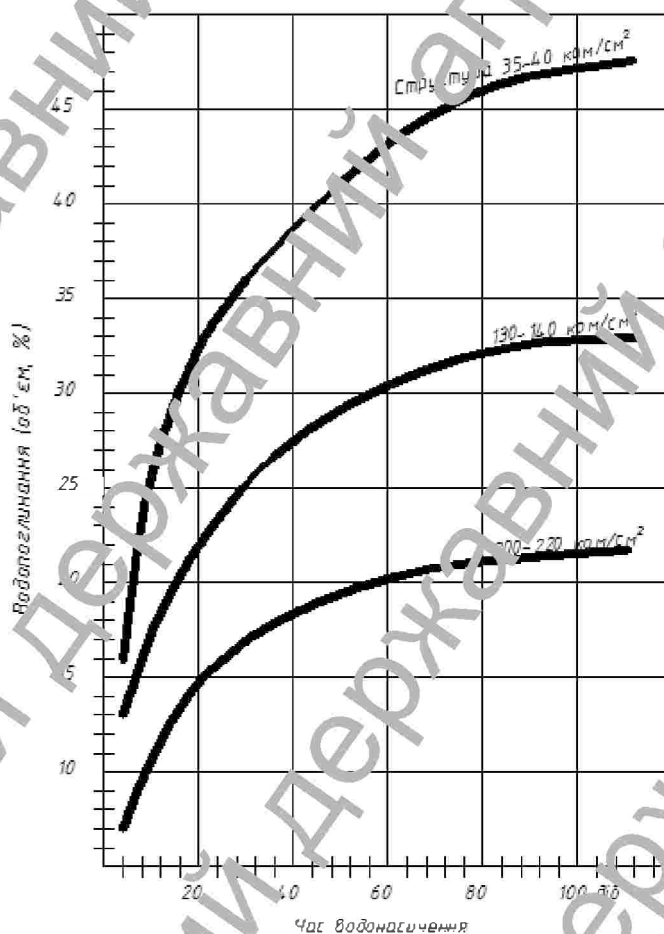


Рис. 1.8. Водопоглинання газобетону з витратою цементу 350 кг/м<sup>3</sup> в залежності від часу водонасичення і структури

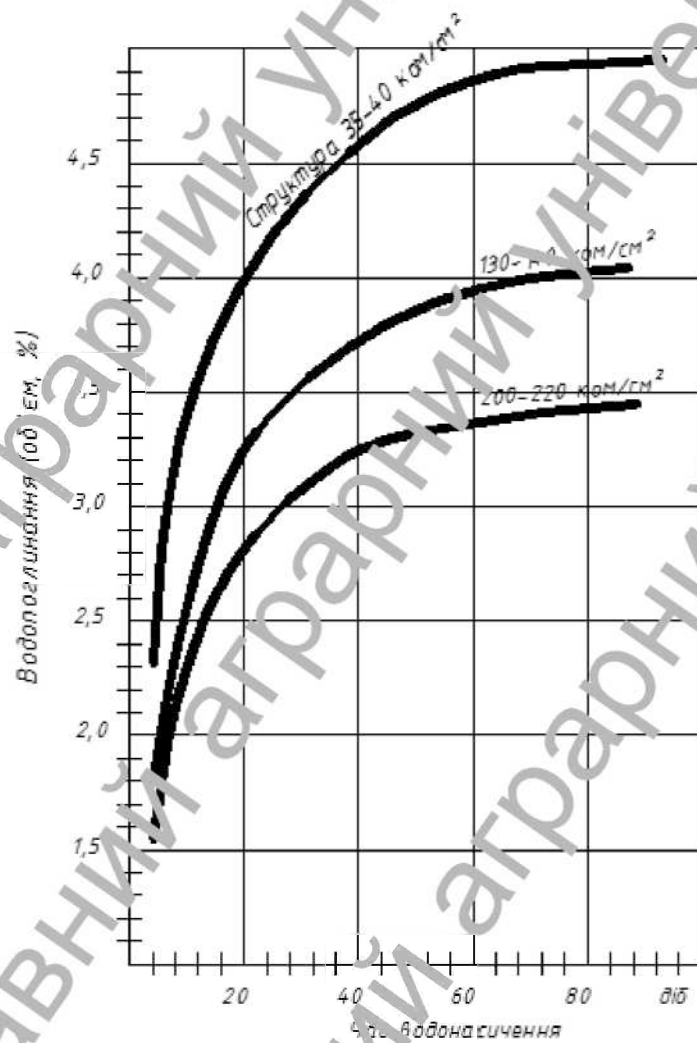


Рис. 1.9. Гігроскопічність газобетону з витратою цементу 350 кг/м<sup>3</sup> в залежності від часу водонасичення і структури

Таблиця 1.1 Порівняльна характеристика гігроскопічності різних теплоізоляційних матеріалів

№	Назва матеріалу	Середня густина сухого мат.	Гігроскопічність % по об'єму	
			Через 5 діб	Через 60 діб
1	Арболіт	154	2,5	4,1
2	Фіброліт магнез.	274	3,8	7,4
3	Проска	205	3,1	4,6
4	Газобетон дрібнозернистий	428	2,0	3,7

## Теплопровідність

Теплопровідність газобетону залежить від його об'ємної ваги (витрати цементу), розміру пор і ступеня вологості.

Графік 10 ілюструє зміну коефіцієнта теплопровідності залежно від витрати цементу при найбільш часто зустрічаємих розмірах пор - 200 ком./см<sup>2</sup>, причому на цьому графіку показана залежність як для сухого газобетону, так і для газобетону в стані розрахункової вологості. Для газобетону з витратою цементу 350 кг/м<sup>3</sup> наведені графіки на рис. 1.11 і 1.12, в яких показано вплив розміру пор і ступеня вологості на коефіцієнт теплопровідності. Розрахунковий коефіцієнт теплопровідності найбільш поширеного газобетону (з витратою цементу 350 кг/м<sup>3</sup> і структурою 200 ком/см<sup>2</sup>) зазвичай приймається різним  $X = 0,12-0,13-0,13$ .

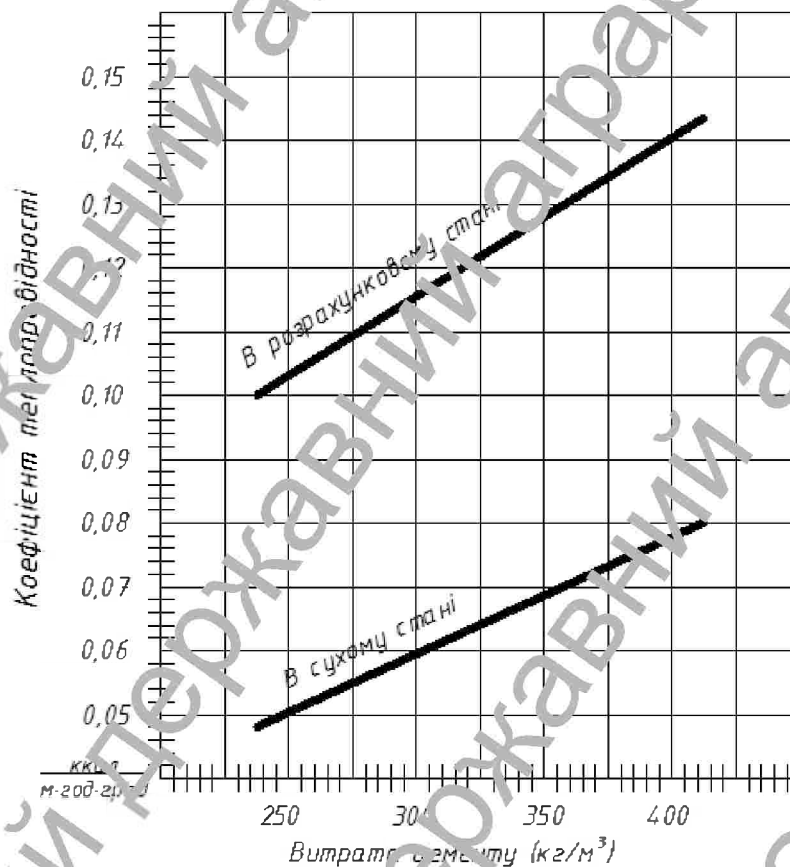


Рис. 1.10. Теплопровідність газобетону з дрібнопористою структурою в залежності від витрати цементу.

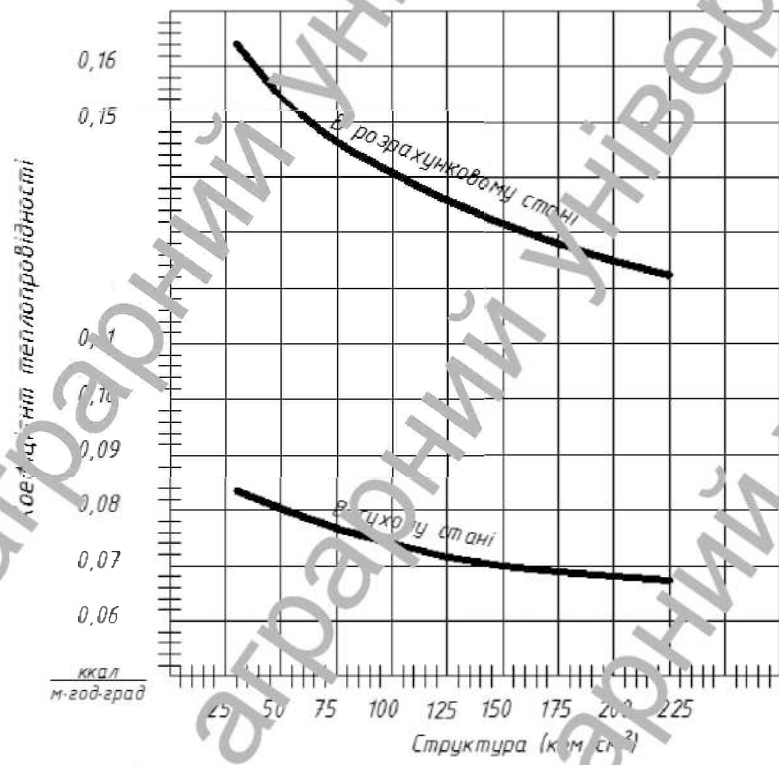


Рис 10. Теплопровідність газобетону з витратою цементу 350 кг/м<sup>3</sup> в залежності від структури.

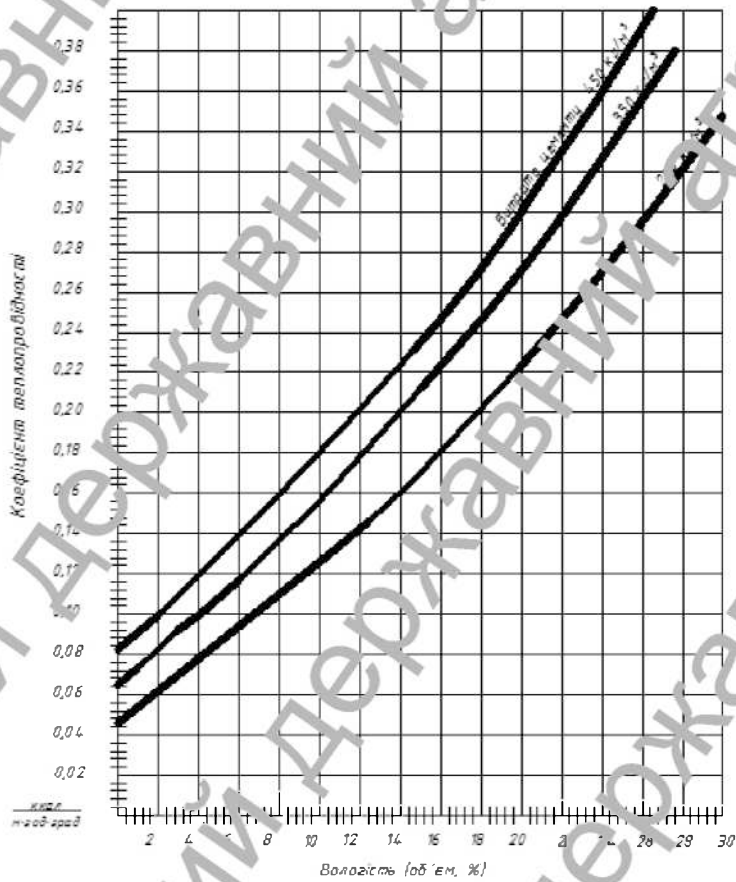


Рис 11. Теплопровідність газобетону з дрібнозернистої структури в залежності від ступеня вологості і витрати цементу.

## Вогнестійкість

Газобетон, будучи підданий нагріванню, втрачає відому частку своєї міцності. Табл. 2 ілюструє зміну міцності газобетону під впливом тривалого нагрівання при високих температурах і подальшого швидкого охолодження водою; тут же наведена аналогічна залежність для зразків з цементного розчину.

З цієї таблиці можна встановити, що нагрівання до температур  $100^{\circ}\text{C}$  не зменшує міцності газобетону. Подальше нагрівання веде до досить інтенсивному падіння міцності. Однак і для зразків з цементного розчину це падіння має місце, причому також у досить значній мірі, таким чином, слід вважати, що хоча газобетон і не є матеріалом цілком вогнестійким, ця особина не може послужити перешкодою до застосування його в звичайних умовах промислово-цивільного будівництва для цієї термоізоляції [3].

Таблиця 1.2 Вплив нагрівання при високих температурах на міцність газобетону і цементного розчину

Назва матеріалу	Міцність на стиск до нагріву, %	Міцність на стиск (в %) після нагріву до температури			
		$100^{\circ}\text{C}$	$250^{\circ}\text{C}$	$750^{\circ}\text{C}$	$1000^{\circ}\text{C}$
Газобетон дрібнозернистий	100	104	64	55	45
Цементний розчин 1:0	100	100	89	71	61

## Морозостійкість

Рисунок 1.12 ілюструє вплив витрати цементу та розміру пор на морозостійкість газобетону – кількість повторних заморожувань перед початком руйнування. Ці дані відносяться до газобетону, виготовленому на цементі невисокої активності (марки «250»); при більш активному цементі морозостійкість газобетону підвищується [3].

Як видно з цих даних, газобетон з витратою цементу від  $300 \text{ кг/м}^3$  і вище є цілком морозостійким матеріалом і застосування його в зовнішніх шарах

огорожень (за умови, однак, захисту штукатуркою від зайвого зволоження) не повинна викликати сумнівів.

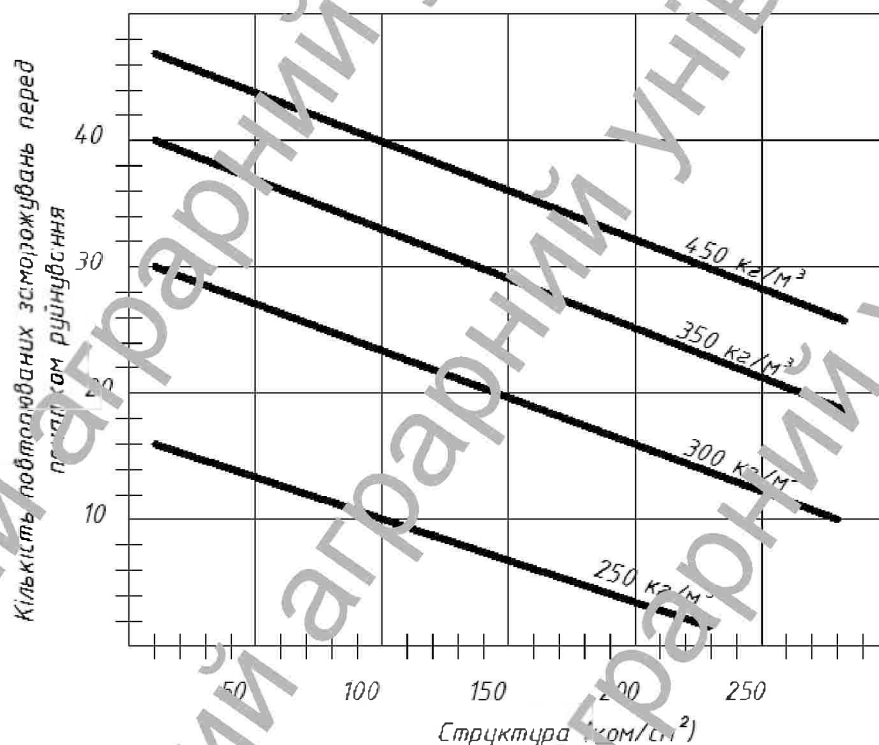


Рис. 1.12. Морозостійкість газобетону в залежності від структури та витрати цементу

### 1.3 Застосування піздрюватих бетонів у будівництві

Ніздрюватий бетон, будучи ефективним теплоізоляційним і конструкційно-теплоізоляційним матеріалом, широко використовується сьогодні більш ніж в 50 країнах світу.

Він використовувався як конструкційний матеріал у школах, кварталах та житлових комплексах таких країн, як Бразилія, Сінгапур, Росія, Кувейт, Нігерія, Ботсвана, Мексика, Індонезія, Лівія, Саудівська Аравія, Алжир, Ірак та Єгипет [15-17]. У Нідерландах газобетон використовується не тільки в житлових забудовах, але і як матеріал для заповнення карстових порожнин, де сталося просідання, і як базовий шар для дорожніх робіт на дуже слабких ґрунтах. Lafarge Industries South Африка (Pty) Ltd у своїй презентації промислового газобетону продемонструвала приклади його широкого використання в Південній Африці та Європі.

Згідно з даними, 5,6% виробництва бетонів з поровою структурою припадає на Африку і Північну Америку, 3,5% - на Австралію. Частки Азії та Європи становлять 50% та 33,3% відповідно. Це свідчить про те, що на Азію та Європу припадає понад 83% від загального обсягу. На інші три континенти, Африку, Північну Америку та Австралію, разом припадає близько 17% частки. В даний час Україна знаходиться в стані війни, але після перемоги Україна буде в процесі активного промислового розвитку з високими темпами будівництва. При високому економічному зростанні та швидкій урбанізації попит на міські будівельні площі зросте, відповідно зросте і попит на будівельну цеглу та бетонні блоки, оскільки на зведення будівель потрібно найменше часу.

Перший патент на газобетон датується 1923 роком [2]. Його застосування в будівництві в теплоізоляційних і конструкційних ізоляційних матеріалах значно розширилося протягом наступних десятиліть. Перший комплексний склад газобетону був представлений компанією Valore в 1954 році [7].

У 2000 році Чараянан Н. і Рамамурті К. [2] опублікували результати дослідження основних властивостей газобетону, включаючи водопоглинання, пористість капілярів, довговічність, теплопровідність, вогнестійкість і акустичні властивості.

У 2007 році Намбіар, Кунхамандан і Рамамурті К. [27] зосередили свої дослідження на характеристиках повітряних пор в газобетоні. Вони також розглянули результати досліджень мікроструктури та властивостей газобетону, з яких розглядаються закономірності об'ємної частки різних пір та їх вплив на міцність.

На сьогоднішній день газобетон отримав широке поширення і розроблено велику кількість різних видів газобетону, з тому числі з більш високою міцністю на стиск і високим ступенем екологічності за рахунок використання промислових відходів [8].

Основними технологіями виробництва газобетону є газова і пінобетонна технологія і поєднання цих двох технологічних рішень для отримання змінної пористої структури. Основні відмінності між цими технологіями полягають у

співвідношенні тисків всередині системи і в навколишньому середовищі, що робить істотний вплив на умови формування комірчастої структури, а також на властивості одержуваного матеріалу:

- у газовій техніці комірчата структура формується при підвищеному тиску, яке забезпечується за рахунок газу, що виділяється в результаті хімічної реакції взаємодії газогенератора з лугом;
- у пінопластовій техніці тиск всередині такий же, як і тиск зовні.

Головною перевагою газової технології є більш висока міцність кінцевих виробів.

До технологічних недоліків виробництва ніздрюватих бетонів і виробів на їх основі з використанням газової технології можна віднести: складність управління процесом обдимання і затвердіння; необхідність обов'язкового домішування вихідних компонентів до необхідного ступеня дисперсності, забезпечення більш глибокого проходження процесу гідратації для утворення більшої кількості низькоосновних гідросилікатів і гідроалюмінатів кальцію.

Варіатропія широко використовується в технології газобетону. Методи створення варіатропних систем в залежності від технології виробництва газобетону принципово відрізняються. Розвиток варіатропних комірчастих структур полягає в збільшенні структури продукту зі змінною щільністю від центру до периферії, що призводить до поліпшення теплоізоляційних властивостей виробів без зниження міцності виробу і технологічних витрат на загальне виробництво. Газотшарові конструкції часто використовуються для огорожувальних конструкцій з метою утеплення будівель [3]. Перевагою монощільної одностійної конструкції є гарантія її довговічності, міцність ізоляційного шару може бути обмеженням довговічності багатотшарової стіни-панелі [7].

Вироби з ніздрюватого бетону варіотропної структури, принципово відрізняються від багатотшарових, характеризуються плавною зміною середньої щільності матеріалу по робочій ділянці виробу і відсутністю різкої межі між шарами. Щоб уникнути розшарування менш щільної частини під

навантаженням, варіотропної структури з плавною зміною щільності з коефіцієнтом варіації 0,2...0,5 [38]. Над дослідників провели дослідження по оптимізації технології і складів варіотропних бетонів. Одним розроблений метод виробництва варіаційного піздрюватого бетону, який включає попередню роздільну обробку в'язучого, дрібнодисперсного заповнювача і води низькотемпературною нерівноважною плазмою протягом  $1 \cdot 10^{-2}$  до  $5 \cdot 10^{-2}$  с з подальшим змішуванням компонентів до отримання однорідної газобетонної суміші і приміщенням її в перфоровану форму [2].

Існує відомо технологія виробництва виробів з газобетону, яка передбачає укладання бетонної суміші в форму, яка закривається з усіх боків і має перфоровані щілиноподібні отвори [9]. Однак додатковий тиск газобетонної суміші, що виникає в процесі газоутворення, вимагає проектування форми і кришки зі значним запасом міцності, що призводить до підвищення металоемності обладнання. Але використовуючи цю форму, неможливо повністю досягти потрібної якості продукції, так як отвори в районі форми і кришки розташовані нерівномірно, а зменшення відстані між отворами може привести до зграти міцності конструкції форми. Крім того, ускладнюються процеси очищення і змащення через неминуче потрапляння в ці отвори залишків бетонної суміші. Ця проблема вирішується тим, що перед заливкою суміші форма вистилається зсередини поліетиленовою плівкою, а для бічних сторін і кришки використовується перфорована плівка з коефіцієнтом перфорації більше, ніж в самій формі. Крім того, після закриття кришки заповнену сумішшю форму можна піддавати вібрації, тим самим руйнуючи і усереднюючи пористість газобетону. [4].

Коротичевський О.В. [4] пропонує технологію та обладнання для приготування пористих бетонних сумішей шляхом одностадійного турбулентно-кавітаційного перемішування компонентів. Суміш готується в двошвидкісному міксері і її приготування включає період гомогенізації (низька швидкість обертання валу після завантаження всіх компонентів суміші) і період поризації (висока швидкість обертання валу змішувача). На думку автора, такі

технологічні та технічні рішення дозволяють приготувати однорідну пористу бетонну суміш без осадження твердих компонентів навіть при висоті формування до 3 метрів, а фізико-механічні властивості ніздрюватого бетону будуть відповідати високій якості. Крім того, не потрібна особлива підготовка вихідних компонентів, зокрема, додаткове подрібнення кварцового піску до більш високої питомої площі поверхні. Навпаки, більший розмір частинок піску збільшує захоплення повітря в бетонну суміш.

Піногенератор при традиційному способі отримання пінобетону з попереднім заміщенням повинен давати піну з відносно високим коефіцієнтом розширення і достатньою стабільністю. Ці властивості піни визначаються не тільки типом використовуваного піноутворювача, але і конструкцією самого піногенератора, що дозволяє стримати піну з необхідними властивостями і екслюзивними характеристиками. Кожен з розглянутих способів має свої технологічні переваги і недоліки, за допомогою яких можна контролювати властивості пористої бетонної суміші, а також фізико-технічні властивості ніздрюватих бетонів.

Технологія виробництва виробів різної щільності включає в себе наступні технологічні операції: газобетонну суміш заливають в перфоровану форму, а потім вироб прокочують по верхній грані спеціалізованим валом, ущільнюючи поверхню. Середня щільність продукту, що міститься в поверхневому шарі, може досягати 1100-1300 кг/м<sup>3</sup>, а до центру вироб вона поступово знижується до 300 - 400 кг/м<sup>3</sup>, при швидкості виробу 20-25 М/га, що дозволяє готовому виробу поглинати нормальні напруги в зоні стисненого поперечного перерізу виробу на вигин [5].

Для уповільнення процесів газотворення на дні форми може використовуватися пасивація алюмінію (брахромат калію або натрію, перманганат калію, нітрит натрію та ін.) На дні форми або в якості компонента, за допомогою якого інертні заповнювачі пористої бетонної суміші. Витрата пасиваторів не перевищує 0,12-0,15 кг/м<sup>3</sup> і може бути одним з компонентів мастила, що використовується для обробки форми [4]. Виявлено, що для

отримання шарів бетону різної щільності необхідно коригувати такі параметри, як тип-тип використовуваного матеріалу і їх пропорції в бетонній суміші, порядок і алгоритм технологічних процесів на етапі формування структури пінобетону.

Варіатропна структура може бути створена шляхом спінування пористої бетонної суміші в закритій перфорованій формі. В цьому випадку можна створити двовісний змінний продукт за рахунок регулювання процесу газоутворення і зміни товщини повітряного прошарку між бетонною сумішшю і кришкою форми. При використанні перфорованої форми вдається видалити зайву формувальну вологу, що знижує співвідношення вода-тверда речовина, що дозволяє отримати більш міцну матрицю виробу. В результаті виходить виріб з рівномірно змінюється щільністю від центру до периферії із заданими геометричними розмірами.

Авторами Корольов А.С. та Кузьменко С.А. розробили метод отримання варіатропних пористих продуктів, що включає заповнення форми пінобетонною сумішшю на 55% її висоти. Далі в форму додається пінопласт, який змішується з пінобетонною сумішшю шаром, що становить 40-50% від висоти форми. Перемішування здійснюється за допомогою пристрою, що складається з свердла з різними робочими інструментами, сила перемішування змінюється в залежності від глибини оброблюваного шару. Властивості одержуваного пінобетону: середня щільність 500-600 кг/м<sup>3</sup>, максимальна щільність в нижньому шарі 800-820 кг/м<sup>3</sup>, мінімальна щільність 390-410 кг/м<sup>3</sup>, міцність на стиск 1,5-5 МПа, теплопровідність 0,2-0,35 Вт/(м·К) [4]. Недоліком цього методу є його технологічна складність, в тому числі необхідність двоступенячого заповнення форми і механічного змішування пінопласту з пінобетонною сумішшю, в результаті чого відбувається синтез міни, збільшення W/C і, як наслідок, зниження характеристик міцності пінобетону. Цей метод дозволяє отримувати графік міцності пінобетону зі змінною пористістю і з одностороннім (однозекторним) зміною властивостей. При цьому питома щільність - відношення міцності до середньої щільності виробу, не перевищує 0,008.

Авторами: Булавін В.А., Добрийос Л.Ю., Шуйський А.І., Шуйський А.А. розробили метод формування газобетонних огорожувальних конструкцій з шарів різної щільності з гладкою структурою за рахунок плавної зміни щільності газобетону в перехідних контактних зонах [5]. Однак основним недоліком цього методу є підвищений вміст води, що призводить до зниження міцності газобетону. Чернов А.М. досліджував можливість отримання варіатропічних виробів з ніздрюватого бетону шляхом ущільнення, що виступає над бортами поверхневого шару форми, шляхом руйнування комірчастої структури виробу шляхом ущільнення поверхневого шару шляхом ущільнення, наприклад, жорстким валом, що спирається на бічні сторони форми [4]. Недоліком запропонованого способу є герметизація тільки верхнього шару виробу. [13].

Бурейко С.В. [39] є автором ще одного методу формування газобетонних виробів, який включає в себе приготування і заливку бетонної суміші в закриту форму з перфорованими отворами, яка відрізняється тим, що перед заливкою суміші піддон, борти і кришка форми облицюються поліетиленовою плівкою, а для двох бічних дощок і кришки використовується перфорована плівка з коефіцієнтом перфорації більшим, ніж у стінки форми. Запропонований спосіб може бути використаний для виготовлення як великогабаритних огорожувальних конструкцій, так і невеликих стінкових блоків з газобетону шляхом різання цільної деревини за формою.

До недоліків цього методу можна віднести одноразове використання облицювального матеріалу, який потім видаляється з поверхні виробу і підлягає утилізації. При використанні цих блоків в будівництві необхідно додатково укласти на їх поверхню армуючу сітку для забезпечення надійного зчеплення із захисними і декоративними покриттями, які підвищує трудомісткість і вартість будівництва. Крім того, при використанні в якості облицювального матеріалу перфорованої поліетиленової плівки створюються різні умови зміцнення портландцементу (зміна вологості на ділянках, прилеглих до перфораційних отворів в порівнянні з ділянками між перфораційними отворами), в результаті

чого на поверхні виробів в процесі експлуатації можуть з'являтися дефекти, особливо при зміні температурно-вологісного режиму.

Один із способів уникнення «засмічення» отворів перфорацією форм був запропонований в патенті шляхом укладання нетканого матеріалу між стінками форми і виробом [8]. Нешані матеріали мають здатність вбирати і утримувати вологу або, навпаки, відлиговхувати її. Також вони можуть пропускати повітря або зовсім виключати повітрообмін і теплообмін.

#### **1.4. Аналіз вітчизняного та міжнародного досвіду застосування піно- та газоутворювачів у виробництві надрюватих бетонів**

Алюмінієва пудра є дрібним порошком світлого кольору – від сріблястого до білого або сірого, без запаху. Це реактивний і горючий матеріал: у вологому стані вона може займатися на повітрі з утворенням легкозаймистого водню. Також алюмінієва пудра належить до категорії "горючого" пилу, здатного вибухати при взаємодії з багатьма органічними та неорганічними речовинами. Поверхня пудри покрита оксидною плівкою, яка забезпечує її стабільність. Проте в умовах взаємодії з кислотами та лугами пудра утворює водень.

Газобетон отримують шляхом введення у цементно-піщані суміші газоутворюючих добавок, таких як алюмінієва пудра. Реакція пудри з гідроксидом кальцію, що утворюється під час гідратації цементу, сприяє виділенню газоподібного водню і формуванню пористої структури бетону. Завдяки своїй легкості газобетон стає універсальним будівельним матеріалом, який широко застосовується не лише у тепло- та звукоізоляційних конструкціях, але й у вогнезахисних елементах. Використання легкого газобетону сприяє зменшенню навантаження на фундаменти, зниженню сейсмічних ризиків і вартості будівництва.

Піноутворювачі — це поверхнево-активні речовини (ПАР), які сприяють утворенню піни в будівельних сумішах та забезпечують її стабільність. Вони можуть мати природне або синтетичне походження. Вибір ПАР впливає на властивості піни, зокрема її поверхневий натяг та розподіл бульбашок.

Важливими параметрами якості піни є її стабільність і щільність, які залежать від складу, концентрації та технології піноутворення.

У виробництві пінобетону важливо враховувати механізми нестійкості піни: міжбульбашкове перенесення газу, гравітаційний дренаж та зрощування бульбашок через руйнування міжбульбашкової плівки. Застосування таких добавок, як лаурилсульфат натрію, карбоксиметилцелюлоза натрію або гідророзчин кісткового клею, сприяє покращенню стабільності піни та її рівномірності.

Синтетичні піноутворювачі мають низку переваг, серед яких:

1. Велика варіативність формул.
2. Довговічність і стійкість до мікроорганізмів.
3. Простота зберігання і транспортування.
4. Відносно низька вартість.

Однак серед їх недоліків варто зазначити:

1. Повільну швидкість піноутворення.
2. Знижену механічну стійкість піноутворюваного масиву.
3. Проблеми у виробництві низькощільних марок пінобетону (нижче D500).

Україна, як і багато інших країн, активно розвиває виробництво пінобетону з використанням сучасних піно- та газоутворювачів, що забезпечує високі експлуатаційні характеристики будівельних матеріалів.

#### **1.5 Використання газобетону при будівництві будівель і споруд різного функціонального призначення**

Бетон залишається одним з найбільш широко використовуваних штучних будівельних матеріалів у світі.

Традиційний бетон складається з портландцементу, щебеню, заповнювачів і води, а його щільність коливається від 2100 до 2500 кг/м<sup>3</sup> при міцності на стиск від 20 до 80 МПа[1-3].

Світове споживання цементу у 2020 році склало близько 3,9 млрд т [4]. Зазвичай неармований бетон використовується в стисненому стані, тоді як

залізобетон може піддаватися навантаженню на розтяг. Останній широко використовується для будівництва будівель різного призначення, мостів, тунелів, морських і річкових гідротехнічних споруд та інших об'єктів інфраструктури. Хоча бетон відіграє важливу роль в сучасному будівництві, негативний вплив його виробництва на навколишнє середовище не можна ігнорувати. У процесі виробництва цементу виділяється велика кількість вуглекислого газу  $\text{CO}_2$ , в середньому при виробництві 1 кг портландцементу виділяється 0,9 кг  $\text{CO}_2$  [5]. Цементна промисловість також споживає 40% світової електроенергії, використовує 12% світового споживання води і виробляє 40% відходів, що відправляються на звалища [7]. Звідси виникає потреба в удосконаленні цементної та бетонної промисловості, щоб зробити її більш екологічною. Після енергетичної кризи 1970-х років енергозбереження стало сильною метою в усьому світі. Потім поступово перед будівельною галуззю подало завдання розробити оптимізовані матеріали з покращеними властивостями, в тому числі з метою зробити будівлі більш енергоефективними [8]. Теплоізоляція є одним з ефективних заходів щодо економії енергії в будівлях, завданням якого є Підвищення теплоізоляційних властивостей конструкцій вирішується застосуванням легких бетонів [9].

Ніздрюватий бетон - це тип легкого бетону з гарними теплоізоляційними властивостями, який робить будівлі більш енергоефективними, ніж важкий бетон на основі стандартного портландцементу. Ніздрюватий бетон, завдяки меншій щільності, легше транспортувати з одного місця в інше і легше різати, ніж традиційний бетон. Він також є негорючим матеріалом і може використовуватися в якості відмінного протипожежного бар'єру при будівництві в будівлях [3]. Крім того, завдяки збільшеній кількості повітряних пор в об'ємі бетону, він володіє відмінними звукозглинаючими властивостями [10,13,14]. Як енергоефективний матеріал з відносно невисокою собівартістю виробництва при мінімальних вимогах до міцності, а також високою ізоляцією і звукоізоляцією, газобетон представляє інтерес як для дослідників, так і для всієї будівельної галузі.

Газобетон є одним із найпопулярніших будівельних матеріалів завдяки своїм численним перевагам, які роблять його універсальним для застосування в будівлях різного функціонального призначення. Його легкість, теплоізоляційні властивості та екологічність сприяють активному використанню як у житловому, так і в промисловому будівництві.

1. Житлове будівництво. Газобетон широко застосовується для зведення приватних будинків та багатоповерхових житлових будинків. Наприклад, у проєктах малоповерхових будівель блоки газобетону використовуються для зовнішніх стін, що забезпечує відмінну теплоізоляцію.
2. Будівництво багатоповерхових будинків. Газобетонні блоки можуть бути використані для внутрішніх перегородок у висотних будівлях завдяки своїй легкості, що зменшує загальну вагу конструкції.
3. Офісні будівлі. У зведенні сучасних офісів газобетон використовується для створення акустичних перегородок, які забезпечують комфортну звукоізоляцію між приміщеннями.
4. Торгові центри. У будівництві великих торгових центрів газобетон застосовують для стін і фасадів, оскільки він дозволяє зменшити витрати на опалення та кондиціонування.
5. Сільськогосподарські споруди. Завдяки своїй стійкості до вологи, газобетон підходить для будівництва складських приміщень, ангарів та ферм. Наприклад, у молочних фермах стіни з газобетону забезпечують гарну вентиляцію і стійкість до конденсату.
6. Гаражі та автосервіси. Газобетон використовують для будівництва гаражів, завдяки його пожежобезпечності та довговічності.
7. Школи та дитячі садки. У будівництві навчальних закладів газобетон застосовують через його екологічність і здатність забезпечувати комфортний мікроклімат.
8. Лікарні та медичні центри. У медичних установах стіни з газобетону сприяють підтримці необхідного рівня вологості та температури, що важливо для створення здорового середовища.

9. Індустріальні споруди. Газобетон часто використовують у промислових будівлях, наприклад, для зведення стін у цехах, де потрібна додаткова тепло- та звукоізоляція.

10. Готелі. У готелях газобетонні перегородки застосовуються для забезпечення звукоізоляції між номерами.

Газобетон часто використовується для зведення зовнішніх стін пасивних будинків, які потребують мінімальних витрат на опалення. У будівництві великих логістичних складів газобетонні блоки забезпечують міцність і мінімальну тепловтрату. Наприклад, у спортивних комплексах газобетон застосовується для внутрішніх стін через його звукоізоляційні властивості. У будівництві кінотеатрів матеріал використовують для стін, щоб забезпечити якісне поглинання звуку. В однопверхових житлових будинках газобетон може використовуватися для створення енергоефективних покрівельних систем.

#### **Екологічний аспект**

Газобетон має низький рівень енергоємності під час виробництва, що зменшує викиди CO<sub>2</sub> в атмосферу. Наприклад, у проєктах «зеленого» будівництва, таких як еко-селища, газобетон обирають як екологічно чистий матеріал. В Європі матеріал активно використовується для будівництва будівель із низьким енергоспоживанням.

У країнах із суворим кліматом газобетон допомагає зменшити витрати на опалення завдяки високій теплоізоляції. Наприклад, в Україні зростає популярність газобетону для проєктів енергоефективного житла.

#### **Легкість монтажу**

Газобетонні блоки зручні для різання і транспортування, що прискорює будівництво. Наприклад, у приватному будівництві використовують блоки, які легко монтувати вручну без важкої техніки. Система пазів і ребенів на блоках полегшує їх встановлення та зменшує кількість розчину.

В індивідуальних проєктах заміських будинків газобетон дозволяє створювати нестандартні архітектурні рішення. Завдяки своїй легкості,

газобетон підходить для реконструкції старих будівель, де потрібно зменшити навантаження на фундамент.

### **Вогнестійкість**

Газобетон має високу стійкість до впливу відкритого вогню. Наприклад, у висотних житлових будинках його застосовують для зведення протипожежних перегородок, а у промислових будівлях газобетон використовують для створення безпечних зон між виробничими секторами.

### **Довговічність і стійкість**

Газобетон стійкий до утворення плісняви та грибків, що важливо у вологих регіонах. Наприклад, у прибережних районах він використовується для будівництва котеджів через стійкість до корозії. У будівлях, які піддаються постійним температурним змінам, газобетон зберігає свої властивості. Матеріал також добре витримує механічні навантаження, що робить його підходящим для багатофункціональних споруд.

### **Економічна вигода**

Газобетон скорочує витрати на опалення до 30% завдяки низькій теплопровідності. Наприклад, у будівництві бюджетного житла він використовується як економічний і ефективний матеріал.

### **Висновок:**

1. Газобетон стає основою для багатьох будівель, де важливі енергоефективність і стійкість.
2. Матеріал демонструє відмінні результати у житлових, комерційних та промислових проєктах.
3. Газобетон підходить для будівництва будинків у сейсмобезпечних районах завдяки своїй гнучкості.
4. Його використання сприяє зниженню витрат на будівництво і експлуатацію будівель.
5. В Україні газобетон активно використовується для реконструкції старого житлового фонду.

6. У майбутньому газобетон буде вдосконалений для ще більшого використання в «розумних» будинках, його універсальність дозволяє використовувати матеріал для споруд будь-якого призначення.

7. Газобетон – це матеріал, який поєднує екологічність, економічність і довговічність у будівництві сучасних споруд.

### 1.6 Досвід виробництва міздрюватих бетонів із застосуванням золошлакових відходів: вітчизняні та зарубіжні практики

Застосування золошлакових відходів набуває дедалі більшого поширення у будівництві, оскільки їх використання суттєво знижує попит на натуральну сировину. Щорічне зростання обсягів цих відходів відкриває нові можливості для їх дослідження та впровадження. Заміна природних матеріалів вторинними відходами допомагає вирішити екологічні проблеми, пов'язані з викидами, зменшує споживання ресурсів і сприяє створенню інноваційних будівельних матеріалів.

У виробництві автоклавного бетону, виготовленого з використанням золи-винесення щільністю 350 кг/м<sup>3</sup>, оцінювалися теплоізоляційні властивості. Дослідження показали, що такий бетон має кращі теплоізоляційні характеристики, ніж бетон на основі піску з аналогічною щільністю. Автори дослідження [5] розглядали виготовлення автоклавного бетону із золи-винесення щільністю 340 кг/м<sup>3</sup>. Для цього використовували негашене вапно, сіно, кремнеземні матеріали, алюмінієву пудру та піноутворювачі. Хімічний склад основних компонентів наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. – Хімічний склад сировини

Вміст, мас. %	Негашене вапно	Гі пс	Зола
SiO <sub>2</sub>	2,4	3,6	49,0
SO <sub>3</sub>	0,4	39,8	0,7
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,1	0,4	6,8

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0	0,0	24,4
CaO	89,8	31,4	4,2
MgO	3,0	1,7	3,2
Na <sub>2</sub> O	0,2	0,2	1,7
K <sub>2</sub> O	0,0	0,2	3,4
Ti <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,0	0,1	1,1
Питома площа поверхні, м <sup>2</sup> /г	2900	3700	4300

У рамках дослідження були виготовлені зразки для випробувань на стиск, проведено рентгеноструктурний аналіз отриманих матеріалів, а також мікроструктурний аналіз за допомогою електронного мікроскопа.

Результати засвідчили, що автоклавний бетон із золи має вищі теплоізоляційні властивості порівняно з піщаним бетоном при однаковій щільності.

Також встановлено, що гідратаційні продукти бетону із золи менш кристалічні, а зменшення щільності сприяє зменшенню екологічного впливу та підвищує енергоефективність будівель.

Пінобетон також є перспективним будівельним матеріалом завдяки простоті виробництва та унікальним властивостям. Основною його проблемою є зменшена міцність у порівнянні з газобетоном. Автори статті [18] досліджували способи підвищення міцності пінобетону за допомогою інтенсивного перемішування та застосування модифікуючих добавок. Як сировину використовували портландцемент СЕМ І 42,5 N, природний пісок, макрокремнезем, метакаолін, синтетичний піноутворювач, а також поліпропіленові та вуглецеві волокна.

Дослідження показали, що пінобетон з додаванням макрокремнезему має покращену водонепроникність і міцність завдяки утворенню щільнішої

мікроструктури. Зразки із вуглецевими волокнами виявилися найбільш міцними завдяки меншій пористості.

Водночас пористі бетони низької щільності демонструють найнижчі показники міцності та морозостійкості, хоча їх теплоізоляційні властивості залишаються високими. Аналіз показав необхідність попередньої обробки золи для видалення хлоридів і активізації пуцоланових властивостей. Це забезпечує можливість використання такого бетону в будівництві, хоча його характеристики поки не дозволяють повністю замінити традиційний портландцемент.

## ГОЗДІЛ 2

### МЕТА РОБОТИ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

**Мета роботи:** теоретичне і експериментальне обґрунтування отримання газобетону неавтоклавного твердіння на основі цементного в'язучого шляхом встановлення закономірностей формування структури і властивостей газобетону.

**Завдання до досліджень:** для досягнення поставленої мети сформульовані такі задачі:

- виробування складових газобетону згідно нині діючих державних стандартів;
- підбір складу газобетону;
- математичне планування експерименту;
- дослідити вплив домішок на властивості газобетону;
- підбір оптимального співвідношення складових компонентів газобетону неавтоклавного твердіння.

**Об'єкт досліджень:** газобетонна суміш, зразки газобетону.

**Предмет досліджень:** властивості газобетону: міцність, середня густина, теплопровідність.

## РОЗДІЛ 3

### МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1 Випробування матеріалів

Вихідні матеріали для виготовлення газобетону: в'язуча речовина – портландцемент, заповнювач – пісок кварцовий, газотворювач – алюмінієва пудра. Обладнання та вимірювальні засоби лабораторії кафедри, на яких проводилися випробування, перевірені та атестовані.

#### 3.2 Випробування цементу

##### 3.2.1 Визначення характеристик міцності

Метод включає визначення міцності на згин і стиск зразків-балочок розміром  $40 \times 40 \times 40 \times 160$  мм.

Ці зразки готують із цементного розчину пластичної консистенції, що містить у частинах за масою: три частини піску стандартного для випробувань цементу, одну частину цементу та 0,39 частини води (водоцементне відношення 0,39).

Цементний розчин отримують механічним змішуванням та ущільнюють у формі для зразків-балочок за допомогою віброплощадки.

Зразки витримують у формі для зразків-балочок у посудині з гідравлічним затвором або в шафі протягом 24 год. а після розформування зберігають у воді до моменту визначення міцності. [18]

##### 3.2.2 Визначення нормальної густоти цементного тіста.

Нормальна густина цементного тіста визначалась за стандартною методикою відповідно до [17].

##### 3.2.3 Визначення термінів тужавіння

Терміни тужавіння цементу визначались за стандартною методикою, що викладена в [17].

#### 3.3 Випробування кварцового піску

Заповнювачем був кварцовий пісок з модулем крупності  $M_{кр}=1$ , насипною густиною  $\rho = 1,42$  г/см<sup>3</sup> та вологістю  $W=0\%$ . Основні характеристики піску визначали відповідно до вимог [24, 25].

### 3.4 Випробування алюмінієвої пудри

Для поризації газобетонної суміші використовувалася алюмінієва пудра ПАП-1, що відповідає вимогам [20].

### 3.5 Визначення коефіцієнту теплопровідності газобетону

Для визначення коефіцієнту теплопровідності необхідно виготовити зразки з розмірами 25×25×5 см.

Випробуваний зразок поміщається в установку для визначення коефіцієнта теплопровідності УИТ – 2 в тепловий блок на нижню плитку, потім на нього опускається верхня плита та закривається дверцята теплового блоку.



Рис. 3.1 Прилад для визначення коефіцієнта теплопровідності УИТ – 2

Коефіцієнт теплопровідності для нижньої плити визначається за формулою:

$$\lambda_{\text{н.п.}} = \frac{\Phi_{\text{н.п.}} \times K_{\text{н.п.}} \times \sigma_{\text{зр}}}{\Delta T}$$

де  $K_{\text{н.п.}}$  - коефіцієнт тарування нижньої плити;

$\delta_{зр.}$  - товщина зразка;

$\Delta T$  - перепад температури на поверхні;

$\Phi_{в.п.}$  - е.р.с. тепломіру нижче

...фронтів

вольтметра).

Коефіцієнт теплопровідності

формулою:

$$\lambda = \frac{Q \cdot \delta_{зр.}}{F \cdot \Delta T}$$

де  $K_{в.п.}$  - коефіцієнт

$\Phi_{в.п.}$

...овідності

матеріалу

$$\lambda = \frac{Q \cdot \delta_{зр.}}{F \cdot \Delta T}$$

...процедура вибору числа

...я розв'язання поставленої

...у інається ...овки задачі та вибору

...от ...слідження ... , який є не

...ксії, що підлягають раченню ... з ...ю

...вля частосовувати активні експерименти ... можна

...дк параметрам об'єкта чи факторам ...аються деякі

...имуються під час досліду сталими ...рольні змінні

...уквою «X». В ...азпиди ...означають

...а досліджен ...ів «X».

...лідженн ...а рівнянь, яка

...с ...зв'я ...теризують об'єкт

...ння експери ...овують регресивні

математичні моделі у вигляді:  $Y=f(x,\theta)$ , де  $\theta$  – вектор параметрів моделі. Для одержання лінійних регресивних моделей використовують плани першого порядку:  $y(x,b) = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_jx_j + \dots + b_nx_n$ . У цьому рівнянні визначенню підлягають коефіцієнти регресії «b».

Планування експериментів та вибір складу цементного тіста з використанням математично-статистичних методів рекомендується проводити при використанні складу цементного тіста з змістом різних добавок при побудові залежностей, необхідних для коригування складу у процесі його виготовлення, а також у випадку використання автоматичних систем керування технологічним процесом.

Планування дослідів і вибір складу цементного тіста з використанням математично-статистичних методів заключається у виборі математичної залежності між заданими властивостями цементу, витратою використовуваних матеріалів. Отримана математична залежність використовується для пошуку та призначення оптимальних складів.

При проведенні дослідів у залежності від умов задачі усі фактори варіюються або на трьох рівнях: середньому (головному), нижньому та верхньому, відстаючих від головного на однакову величину, яка має назву інтервал варіювання, або на двох рівнях – верхньому та нижньому.

Існує декілька різновидів планів першого порядку: однофакторний (класичний) експеримент; повний факторний експеримент; дробний факторний експеримент.

Проведенню лабораторних експериментів повинні передувати наступні етапи:

- уточнення в залежності від конкретної задачі параметрів, що оптимізуються (середньої густини, спеціальних вимог і т. д.);
- вибір факторів, що визначають зміну оптимізуючих параметрів;
- розрахунок основного складу газобетонної суміші;
- вибір інтервалів зміни факторів;

- розрахунок всіх складових суміші у відповідності з вибраним планом та реалізацією експерименту;
- обробка результатів експерименту з побудовою математичних залежностей властивостей суміші від вибраних факторів.

При проведенні експериментів в залежності від умов поставленої задачі всі фактори змінюються на трьох рівнях – середньому (основному), нижньому та верхньому, які відрізняються від основного на однакову величину, яка називається інтервалом зміни, або на двох рівнях – верхньому та нижньому.

Для спрощення запису і послідовних розрахунків верхній рівень факторів буде позначатися (+1), середній – (0), а нижній – (-1), що рівносильне переводу факторів в новий код (нормалізований) масштаб:

$$X_i = (X_i - X_{i0}) / \Delta X_i,$$

де  $X_i$  – значення  $i$ -го фактора в новому кодовому масштабі;

$X_i$  – значення  $i$ -го фактора в натуральному масштабі;

$X_{i0}$  – основний рівень  $i$ -го фактора;

$\Delta X_i$  – інтервали зміни  $i$ -го фактора.

Часто при записі плану проведення експерименту цифру 1 упускають і кодовий запис рівнів факторів має вигляд відповідно: «+», «0», «-».

Експеримент, у якому реалізуються всі можливі поєднання рівнів факторів, називається повним факторним експериментом – ПФЕ, кількість дослідів у якому:  $N = K^n$ , де  $N$  – кількість дослідів;  $K$  – кількість рівнів;  $n$  – кількість факторів.

Для спрощення записів та послідовних розрахунків верхній рівень факторів позначається символом “+1”, середній “0” а нижній “-1”.

Часто при записі плану проведення експерименту цифру 1 не вказують і кодовий запис рівнів факторів має вигляд відповідно: “+”, “0”, “-”.

Зміни фактори:

$X_1$  – сола-виносу, %

$X_2$  – NaOH, %

$X_3$  – алюмінієва пудра, г



## РОЗДІЛ 4

### ХАРАКТЕРИСТИКА ВИХІДНИХ МАТЕРІАЛІВ

#### 4.1 Цемент

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

Згідно даних виробника даний цемент відзначається високою ранньою міцністю, а високий вміст у клінкері  $C_2S$  і низький вміст  $C_3A$  свідчить про можливість отримання на основі такого цементу бетонів високої морозостійкості.

##### 4.1.1 Тонкість помелу

Тонкість помелу цементу визначалася згідно вимог нормативних документів [19], використовувався метод визначення вищевказаної характеристики за залишком на ситі. Нижче приведені результати, у таблиці 4.1

Таблиця 4.1 Результати визначення тонкості помелу цементу

№ досліджу	Маса наважки, г	Залишок на ситі, г	Тонкість помелу, %
1	50	2,61	5,22

##### 4.1.2 Нормальна густина

Нормальна густина визначалася згідно з [17]. Результати наведені у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 Результати визначення нормальної густоти цементного тіста

№ досліджу	Кількість води замішування, мл	Показання триаду В.ка, мм	Нормальна густина, %
1	110	6	27,5

#### 4.1.3 Марка за міцністю на стиск

Марка за міцністю на стиск визначалася на зразках-балочках розмірами 40x40x160 мм згідно з вимогами [18]. Результати наведені у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 Результати визначення марки цементу за міцністю на стиск

№	Вік зразка, днів	Руйнуюче зусилля, Н	Границя міцності, МПа	Середнє значення
1	28			
2	28			
3	28			
4	28			
5	28			
6	28			

Відповідно до таблиці 1 цемент, який використовувався для дослідів, мав марку 500.

#### 4.2 Алюмінієва пудра

Для горизонтальної газобетонної суміші використовувалася алюмінієва пудра ПАП-1, яка відповідає вимогам [29]. Алюмінієвий порошок не містить видимих сторонніх домішок. Технічні властивості алюмінієвої пудри ПАП - 1, надалі в виробником наведені в таблиці 4.4.

Підготовка алюмінієвої пудри здійснювалася шляхом обробки гігроскопічним розчином. Потім пудру висушували і просітали через сито 008 для видалення залишків парафіну.



Таблиця 4.5 Результати визначення насипної густини піску

№ досліду	Об'єм циліндра, см <sup>3</sup>	Вага циліндра, г	Вага циліндр з піском, г	Вага піску, г	Густина, г/см <sup>3</sup>
1	995	274	1676,95	1402,95	1,4
2	995	274	1657,05	1383,05	1,39

#### 4.3.2 Модуль крупності

Модуль крупності визначається згідно вимог [17]. Результати його визначення наведені у таблиці 4.6

Таблиця 4.6 Результати визначення модуля крупності піску

	Пісок		
	Вага залишку, г	a, %	A <sub>i</sub> , %
5	0		
2,5	11		
1,25	18		
0,63	12		
0,3	57		
0,16	72		
Пройшло крізь сито 0,16	180		
Σ			
M <sub>кр</sub>			

#### 4.4 Вода

Вода для проведення випробувань повинна відповідати вимогам ДСТУ ISO 3696:2003 Вода для застосування в лабораторіях. Витрати та методи перевіряння (ISO 3696:1987, IDT) [12]. Вода для зразків використовувалась водопровідна.

**Висновок:** випробувані сировинні матеріали для приготування газобетону відповідають вимогам діючих ДСТУ.

## РОЗДІЛ 5

### АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 5.1 Розрахунок складу газобетону з середньою густиною 700 кг/м<sup>3</sup>

1. Співвідношення кремнеземистого компонента до в'язучої речовини за масою

$C = 0,75; 1; 1,25; 1,5$ .

Ми обираємо  $C = 1$ .

2. Визначаємо витрати матеріалів на заміс:

Маса сухих компонентів:

$$P_{\text{сух}} = \frac{\rho_c}{K_c} \times V \times \frac{700}{1,1} \times 1000 = 636 \text{ кг},$$

де  $\rho_c$  – середня густина газобетону в сухому стані, кг/л;

$K_c$  – коефіцієнт збільшення маси в результаті твердіння за рахунок зв'язаної води (1,1 – 2,5);

$V$  – заданий об'єм замісу газобетонної суміші, л.

Маса в'язучого (цементу):

$$P_{\text{в'яз}} = \frac{P_{\text{сух}}}{1 + C} = \frac{636}{1 + 1} = 318 \text{ кг}.$$

Маса кремнеземистого компонента (піску):

$$P_k = P_{\text{сух}} - P_{\text{в'яз}} = 636 - 318 = 318 \text{ кг}$$

3. Дослідним шляхом встановлюємо величину  $B/T$ , яка відповідає текучості по

Суттарду (22 см) для газобетону та густину розчину.

$$\frac{B}{T} = \frac{335}{636} = 0,53$$

4. Визначаємо питомий об'єм сухої суміші:

$$W = (1 + B/T) / (\rho_f - B/T), \text{ л/кг}$$

де  $\rho_f$  – фактична густина розчинової суміші, кг/л.

$$\rho_f = \frac{m_{\text{сум}}}{V}, \frac{\text{кг}}{\text{л}}$$

де  $m_{\text{сум}}$  – маса суміші в циліндрі, кг

$V$  – об'єм циліндра.

$$\rho_f = \frac{335}{196} = 1,7 \frac{\text{кг}}{\text{л}}$$

$$W = \frac{1 + 0,53}{1,1} - 0,53 = 0,37$$

5. Потрібна кількість води:

$$P_B = P_{\text{ср}} \times \frac{B}{T} = 636 \times 0,53 = 337 \text{ кг.}$$

6. Визначаємо величину пористості, яка буде утворена газоутворювачем для отримання газобетону заданої середньої густини з урахуванням наступних вихідних величин:  $K_c$ ,  $W$ ,  $B/T$ .

$$P_r = \frac{1 - \rho_c \left( W + \frac{B}{T} \right)}{K_c} = \frac{1 - 0,7(0,37 + 0,53)}{1,1} = 0,245$$

де  $\rho_c$  – середня густина газобетону в сухому стані,  $\text{кг/м}^3$ ;

$W$  – середня густина сухої суміші,  $\text{л/кг}$ ;

$K_c$  – коефіцієнт збільшення маси в результаті твердіння за рахунок зв'язаної води;

$B/T$  – водотвердне відношення маси.

7. Витрата пороутворювача:

Витрату алюмінієвої пудри на заміс газобетону знаходимо за формулою:

$$P_{\text{п}} = \frac{P_r}{\alpha \cdot K} \cdot V = \frac{0,245}{0,85 \cdot 1,39} = 360,3, \text{ г}$$

$P_r$  – необхідна пористість;

$\alpha$  – коефіцієнт використання газоутворювача;

$K$  – вихід пор (відношення об'єму газу до маси пороутворювача 400 – 1390  $\text{л/кг}$ );

$V$  – заданий об'єм паливу ніздрюватої суміші в л, з врахуванням об'єму одночасно заливаємих форм, збільшеному на 10 % на утворення «пінбушки».

## 5.2 Дослідження впливу витрат золи-виносу, алюмінієвої пудри та NaOH на властивості газобетону

Проведення дослідів проводилося з використанням математико-статистичних методів планування експериментів у відповідності з розділом 3. В якості факторів були вибрані витрати золи-виносу, алюмінієвої пудри та NaOH. Значення інтервалів варіювання факторів наведені у таблиці 5.1

Таблиця 5.1 Значення інтервалів варіування

Код	Значення коду	Значення факторів		
		X1 зола- виносу, %	X2 NaOH, %	X3 Ал. пудра, г
Основний рівень	0			
Інтервал варіування	X <sub>i</sub>			
Верхній рівень	+			
Нижній рівень	-			

### 5.2.1 Дослідження впливу витрат золи-виносу, алімінієвої пудри та NaOH на границю міцності при стиску газобетону середньою густиною 700 кг/м<sup>3</sup>

Досліди проводилися у відповідності з прийнятим планом експерименту. План експериментів та результати дослідів наведені у таблиці 5.2. Термін твердіння зразків з середньою густиною 700 кг/м<sup>3</sup> – 28 діб.

Таблиця 5.2 План експериментів та результати дослідів

№ дослідів	X1	X2	X3	Значення змінних			R <sub>ст.</sub> МПа	ρ <sub>m</sub> , кг/м <sup>3</sup>
				зола- виносу, %	NaOH, %	Ал. пудра, г		
1	2	3	4					
2	1	1	1					
3	-1	1	1					
4	1	-1	1					
5	1	3	4					
6	-1	-1	1					
7	1	1	-1					
8	1	1	-1					
9	1	-1	-1					
10	-1	-1	-1					

9	1	0	0				
10	-1	0	0				
11	0	1	0				
12	0	-1	0				
13	0	0	1				
14	0	0	-1				
15	0	0	0				
16	0	0	0				
17	0	0	0				

В результаті обробки експериментів на ПЕСМ отримано алгебраїчне рівняння границі міцності при стиску газобетону в досліджуваних межах зміни факторів.

Алгебраїчне рівняння границі міцності при стиску газобетону:

(1)

Рівняння за критерієм Фішера придатне для описання вхідної залежності в досліджуваних межах зміни факторів, так як  $13,56 < 19,2$

За рівнянням (1) побудовані графіки на рис. 5.1, 5.2, 5.3

Рис. 5.1 Залежність границі міцності газобетону при стиску від золи-виносу, NaOH та алюмінієвої пудри

При знаходженні фактора на максимальному рівні, найбільшій вплив чинить витрата алюмінієвої пудри. Із збільшенням витрати міцність газобетону зменшується.

Рис. 5.2 Залежність граничної міцності газобетону при стиску від золи-виносу, NaOH та алюмінієвої пудри

Рис. 5.3 Залежність граничної міцності газобетону при стиску від золи-виносу, NaOH та алюмінієвої пудри

### 5.2.2 Дослідження впливу витрат глини-виносу, NaOH та алюмінієвої пудри на середню густину газобетону (700 кг/м<sup>3</sup>)

В результаті обробки експериментів на ПЕОМ за табл. 5.2 отримано алгебраїчне рівняння середньої густини газобетону в досліджуваних межах зміни факторів.

Алгебраїчне рівняння середньої густини газобетону:

$$Y_{\text{густ}} = 688,945 - 2,94 X_1 - 7,32 X_2 - 75,9 X_3 + 25,75 X_1^2 - 26,45 X_2^2 + 36,47 X_3^2 + 18,71 X_1 X_2 + 14,4 X_1 X_3 - 32,13 X_2 X_3 \quad (2)$$

Рівняння з критерієм Фішера придатне для описання вихідної залежності в досліджуваних межах зміни факторів, так як  $5,95 < 19,3$ .

За рівнянням (2) побудовані графіки на рис. 5.4, 5.5, 5.6

Рис. 5.4 Залежність середньої густини газобетону при стиску від глини-виносу, NaOH та алюмінієвої пудри

При знаходженні фактора на максимальному рівні, найбільший вплив чинить витрата алюмінієвої пудри. Із зменшенням витрати – середня густина газобетону збільшується.

Рис. 5.5 Залежність середньої густини газобетону при стиску від золи-виносу,  $\text{NaOH}$  та алюмінієвої пудри

Рис. 5.6 Залежність середньої густини газобетону при стиску від золи-виносу,  $\text{NaOH}$  та алюмінієвої пудри

### 5.3.1 Дослідження впливу витрат золи-виносу, алюмінієвої пудри та NaOH на границю міцності при стиску газобетону середньої густиною 600 кг/м<sup>3</sup>

Досліди проводилися у відповідності з прийнятим планом експерименту. План експериментів та результати дослідів наведені у таблиці 5.3. Термін твердіння зразків з середньою густиною 600 кг/м<sup>3</sup> – 23 діб.

Таблиця 5.3 План експериментів та результати дослідів

№ дослідів	X1	X2	X3	Значення змінних			R <sub>ст</sub> , МПа	ρ <sub>т</sub> , кг/м <sup>3</sup>
				зола-виносу, %	NaOH, %	Ал. пудра г		
1	+	+	+					
2	-	+	+					
3	+	-	+					
4	-1	-1	1					
5	1	1	-1					
6	-1		-1					
7	1	-1	-1					
8	-1	-1	-1					
9	1	0	0					
10	-1	0	0					
11	0	1	0					
12	0	-1	0					
13	0	0	1					
14	0	0	-1					
15	0	0	0					
16	0	0	0					
17	0	0	0					

В результаті обробки експериментів на ПЕОМ отримано алгебраїчне рівняння границі міцності при стиску газобетону в досліджуваних межах зміни факторів.

Алгебраїчне рівняння границі міцності при стиску газобетону:

(3)

Рівняння за критерієм Фішера придатне для описання вихідної залежності в досліджуваних межах зміни факторів, так як  $9,44 < 19,3$ .

За рівнянням (3) побудовані графіки на рис. 5.7, 5.8, 5.9

Рис. 5.7 Залежність границі міцності газобетону при стиску від золи-виносу, NaOH та алюмінієвої пудри

При знаходженні фактора на максимальному рівні, найбільший вплив чинить витрата алюмінієвої пудри. Із збільшенням витрати – міцність газобетону зменшується.

Рис. 5.8 Залежність граничної міцності газобетону при стиску від золи-виносу, NaOH та алюмінієвої пудри

Рис. 5.9 Залежність граничної міцності газобетону при стиску від золи-виносу, NaOH та алюмінієвої пудри

### 5.3.2 Дослідження впливу витрат золи-виносу, NaOH та алюмінієвої пудри на середню густина газобетону ( $600 \text{ кг/м}^3$ )

В результаті обробки експериментів на ПЕОМ за табл. 5.3 отримано алгебраїчне рівняння середньої густини газобетону в досліджуваних межах зміни факторів.

Алгебраїчне рівняння середньої густини газобетону:

$$Y_{\text{густ}} =$$

Рівняння за критерієм Фішера придатне для описання вихідної залежності в досліджуваних межах зміни факторів, так як  $14,68 < 19,3$ .

За рівнянням (4) побудовані графіки на рис. 5.10, 5.11, 5.12

Рис. 5.10 Залежність середньої густини газобетону при стиску від золи-виносу, NaOH та алюмінієвої пудри

Рис. 5.11 Залежність середньої густини газобетону при стиску від золи-виносу, NaOH та алюмінієвої пудри

Рис. 5.12 Залежність середньої густини газобетону при стиску від золи-виносу, NaOH та алюмінієвої пудри

#### 5.4. Визначення теплопровідності газобетону

За вищезгаданою методикою визначаємо коефіцієнт теплопровідності газобетону.

Було виготовлено два зразки з різними складами середньою густиною 600 кг/м<sup>3</sup>.

- перший зразок має такий склад: золи-виносу – 0%, NaOH – 0%; алюмінієва пудра 2,5 г.

$$\lambda_{\text{в.п.}} = \frac{1,22 \times 47,39 \times 0,0331}{15,79} = 0,121 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^{\circ}\text{С}};$$

$$\lambda_{\text{н.п.}} = \frac{0,40 \times 132,52 \times 0,0331}{15,79} = 0,117 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^{\circ}\text{С}};$$

$$\lambda_{\text{сер.}} = \frac{0,121 + 0,117}{2} = 0,119 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^{\circ}\text{С}}$$

- другий зразок має такий склад: золи-виносу – 1%, NaOH – 2%; алюмінієва пудра 1,5 г.

$$\lambda_{\text{н.п.}} = \frac{1,49 \times 47,39 \times 0,029}{15,79} = 0,129 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^{\circ}\text{С}};$$

$$\lambda_{н.п.} = \frac{0,55 \times 132,52 \times 0,029}{15,79} = 0,133 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^{\circ}\text{C}};$$

$$\lambda_{сер.} = \frac{0,129 + 0,133}{2} = 0,131 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^{\circ}\text{C}}$$

Отже, порівнюючи два зразка можна зробити висновок, що менша теплопровідність в другого зразка газобетону.

## РОЗДІЛ 6

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

#### 6.1 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів

Під час роботи на виробництві на людину можуть впливати один або низка небезпечних та шкідливих виробничих факторів. Безпека того чи іншого технологічного процесу може бути визначена за їх кількістю і за ступенем небезпеки кожного з них зокрема. Безпека праці на виробництві визначається ступенем безпеки окремих технологічних процесів.

Небезпечні й шкідливі виробничі фактори [25] поділяються на фізичні, хімічні, біологічні й психофізіологічні. Останні за характером впливу на людину підрозділяються на фізичні й червоно-психічні перевантаження, а інші – на конкретні небезпечні й шкідливі виробничі фактори.

В процесі роботи на підприємстві на працівника можуть впливати такі небезпечні й шкідливі виробничі фактори:

- машини, що рухаються, автотранспортні механізми;
- рухомі незахищені елементи механізмів, машин і виробничого обладнання;
- падаючі вироби техніки, інструмент і матеріали під час роботи;
- ударна хвиля (вибух посудини, що працює під тиском пари рідини);
- струмені газів і рідин, що стікають, із посудин і трубопроводів під тиском;
- підвищене ковзання (через зледеніння, зволоження й замазлювання поверхонь, по яких переміщується робочий персонал);
- підвищена чи знижена температура поверхонь техніки, обладнання й матеріалів;
- підвищена чи знижена температура, вологість і рухомисть повітря;
- підвищена напруга в електричному ланцюзі, замикання якого може відбутися через тіло людини;
- підвищений рівень статичної електрики;

- гострі кромки, задирки й шорсткість на поверхнях обладнання й інструментів;
- знижена контрастність об'єктів в порівнянні з фоном;
- підвищений рівень ультрафіолетової й інфрачервоної радіації;
- хімічні речовини (токсичні, подразнюючі, сенсибілізуючі, канцерогенні, мутагенні, що впливають на репродуктивну функцію людини);
- хімічні речовини, що проникають в організм через органи дихання, шлунково-кишковий тракт, шкірні покрива і слизові оболонки;
- патогенні мікроорганізми (бактерії, віруси, гриби, найпростіші) і продукти їхньої життєдіяльності;
- перевантаження (статичні й динамічні) і нервово-психічні чинники (емоційні перевантаження, перенапруга аналізаторів, розумова перенапруга, монотонність праці).

## 6.2 Технічні засоби і організаційні заходи із усунення дії шкідливих та небезпечних виробничих факторів

В процесі праці людина перебуває в контакті з предметом праці, знаряддями праці та іншими людьми. Крім цього, на людину діють різні фактори виробничого середовища, зокрема температура, вологість та швидкість руху повітря, параметри котрих не відповідають нормативним значенням, надмірний шум, вібрація, шкідливі виділення, електромагнітне та радіоактивне випромінювання тощо. Все це характеризує умови, в яких працює людина.

Таким чином, поняття умов праці складається з комплексу факторів, які впливають на діяльність людини. Усунути неможливий вплив, тобто забезпечити нешкідливі та сприятливі умови праці, можна, виключаючи на робочих місцях шкідливі виробничі фактори, послаблюючи їх дію до допустимих норм чи меж, або забезпечуючи оптимальні умови праці.

Практика підприємств свідчить про те, що оцінка поліпшення умов праці може бути здійснена шляхом зіставлення фактичних умов праці з нормативними, прийнятими для базового періоду.

В сучасних умовах господарювання все більшого значення набуває проблема поліпшення умов праці не за рахунок компенсаційних виплат, а шляхом впровадження нової техніки, технологій, оздоровлення виробничого середовища, врахування вимог естетики праці. Оцінка умов праці на робочих місцях - установлення ступеня шкідливості й небезпеки факторів виробничого середовища, вазі й напруженості праці на конкретному робочому місці. Фактичний стан умов праці оцінюється в практиці роботи підприємств тільки на робочих місцях, передбачених галузевими переліками робіт з важкими й шкідливими, особливо важкими й особливо шкідливими умовами праці. Оцінка умов праці виробляється на основі інструментальних вимірів рівнів факторів виробничого середовища або за результатами чергової атестації робочих місць.

Несприятливі умови праці примушують організм людини витрачати енергію на переборювання впливу шкідливих факторів. Внаслідок цього зростає втома організму, що підвищує ймовірність нещасного випадку, оскільки зморений організм не може з необхідною ефективністю реагувати на зміни, що відбуваються навкруги, навіть якщо ці зміни безпечні для нього. Дія несприятливих умов праці може бути також причиною захворювань робітників – професійних чи виробничо зумовлених.

На підприємствах і в організаціях (незалежно від форм власності і господарювання), де технологічний процес, використовуване обладнання, сировина та матеріали є потенційними джерелами шкідливих і небезпечних виробничих факторів, проводиться атестація робочих місць. Основна мета атестації полягає в урегулюванні відносин між власником або уповноваженим ним органом і працівниками щодо реалізації їхніх прав на здорові і безпечні умови праці, пільгове пенсійне забезпечення, пільги та компенсації за роботу в несприятливих умовах.

Для обмеження й усунення шкідливої дії вібрації на виробництві необхідний: ретельний догляд за встаткуванням, використання різних типів глушачів, усунення контактів фундаменту агрегату з фундаментами будинків і, головне, можливість зміни технології – заміна виробничих операцій,

пов'язаних із шумами й вібрацією безшумними виробчими процесами, раціональне чергування періодів відпочинку й роботи при впливі вібрації.

Для забезпечення найкращих умов висвітлення, оптимальна освітленість повинна встановлюватися з урахуванням світлових властивостей (коефіцієнта відбиття) робочої поверхні, розмірів оброблюваної деталі, частоти й тривалості періодів відпочинку протягом робочого дня, характеру трудового процесу зокрема, точності зорової роботи.

До пасивних засобів підвищення працездатності, що одержує все більше поширення на виробництві, ставляться методи оздоровчого впливу на організм людини – аерація, водні процедури, іонізація, ультрафіолетове опромінення. Найбільший ефект одержують при їхньому використанні при роботі в екстремальних умовах (у шахтах, у гарячих цехах) та застосуванням більших фізичних зусиль, при дії інтенсивного шуму й вібрації й т.д.).

Аерація – інтенсивна вентиляція, при якій під впливом різниці питомих ваг зовнішнього й внутрішнього повітря й впливом вітру на стіни й покрівлю вдало створюється керований і регульований повітрообмін через відкриваючі фрамуги й стулки вікон. При використанні природної вентиляції не можна надмірно збільшувати обмін зовнішнього й внутрішнього повітря, тому що це може привести до підвищення концентрації сторонніх газів і пилу в повітрі й до переохолодження організму, градіючих внаслідок збільшення швидкості руху повітря, або зменшити повітрообмін, оскільки це буде необхідного припливу свіжого повітря.

Для захисту від статичної електрики необхідно застосовувати слабоелектризуючі або електризуючі матеріали, усувати чи обмежувати тертя, розпорошення, розбризкування, пилосання діелектричних рідин. Усунення зарядів статичної електрики досягається насамперед заземленням корпусів обладнання. Заземлення для відводу статичної електрики можна поєднувати з захисним заземленням електрообладнання. Якщо заземлення використовується тільки для зняття статичної електрики, то його електричний опір може бути істотно більше, ніж для захисного опору електрообладнання (до

100 Ом). Достатньо навіть тонкого дроту, щоб електричні заряди постійно стікали в землю.

Відомо відбудовний вплив на організм людини інших оздоровчих методів – водних процедур (душ, обливання, умивання, гігієнічні ванночки й т.д.) В умовах виробництва вони є засобами відновлення працездатності й засобами адаптуванні до екстремальних умов. Для відновлення працездатності водні процедури застосовуються, як правило, при середній і важкій фізичній роботі в гарячих цехах, шахтах, при ремонті награвальних печей і казачів і т.д. З метою підвищення працездатності водні процедури можуть застосовуватися й протягом робочого дня, і по його закінченні.

Виробниче обладнання при роботі як самостійно, так і в складі технологічних комплексів повинно відповідати вимогам безпеки протягом всього періоду його експлуатації.

Матеріали конструкції виробничого обладнання не повинні бути фактором можливої небезпечної і шкідливої дії на організм працюючих, а виникаючі в процесі роботи обладнання навантаження в окремих його елементах не повинні досягати небезпечних значень. При неможливості реалізації останньої вимоги в конструкції обладнання необхідно передбачати засоби захисту, огороження і т. ін.

Небезпечні зони виробничого обладнання (рухомі вузли, елементи, високою температурою тощо) як потенційні джерела травм безпеки повинні бути огорожені, теплоізолювані або розміщені в місцях, що виключають контакт з ними персоналу.

Зажимні вантажозахоплювальні та вантажопідіймальні пристрої тощо повинні виключати можливість виникнення небезпеки при раптовому відключенні енергії, а також саковільну зміну стану цих пристроїв при відновленні енергоживлення.

Виробниче обладнання повинно бути пожежовибухобезпечним в передбачених умовах його експлуатації та не накопичувати зарядів статичної електрики в небезпечній для працюючих кількості. Виробниче обладнання,

робота якого супроводжується виділенням шкідливих речовин чи мікроорганізмів або пожежо- та вибухонебезпечних речовин, повинно включати вмонтовані пристрої для локалізації цих виділень. За відсутності таких пристроїв, в конструкції обладнання мають бути передбачені місця для підключення автономних пристроїв локалізації виділень. За необхідності задані пристрої мають бути виконані з урахуванням чинних вимог щодо стану повітря робочої зони та захисту довкілля.

Якщо виробниче обладнання є джерелом шуму, ультра та інфразвуку, вібрації, виробничих випромінювань (електромагнітних, лазерних тощо), то воно повинне бути виконано таким чином, щоб дія на працюючих перерахованих шкідливих виробничих факторів не перевищувала меж, встановлених відповідними чинними нормативами.

Виробниче обладнання повинно бути забезпечене місцевим освітленням, виконаним відповідно до вимог чинних нормативів з урахуванням конкретних виробничих умов, якщо його відсутність може спричинювати перенапруження органів зору або інші небезпеки, пов'язані з експлуатацією цього обладнання.

Однією із складових безпеки виробничого обладнання є конструкція робочого місця, його розміри, взаємне розміщення органів управління, засобів відображення інформації, допоміжного обладнання тощо. При цьому розміри робочого місця і його елементів мають забезпечувати виконання операцій в зручних робочих позах і не ускладнювати рух працюючих. Перевагу слід віддавати виконанню робочих операцій в сидячому положенні, або чергуванні положень сидячи і стоячи — якщо виконання робіт не вимагає постійного переміщення працівника. Конструкція крісла і підставки для ніг повинна відповідати ергономічним вимогам.

Система управління виробничим обладнанням має забезпечувати надійне і безпечне його функціонування на всіх режимах роботи і при можливих зовнішніх впливах, передбачених ТЗ. На робочих місцях повинні бути написи, схеми та інші засоби інформації щодо послідовності керуючих дій. Конструкція

і розміщення засобів попередження про небезпечні ситуації повинні забезпечувати безпомилкове, достовірне і швидке сприйняття інформації.

Центральний пульт управління технологічним комплексом обладнується сигналізацією, мнемосхемою або іншими засобами відображення інформації про порушення нормального режиму функціонування кожної одиниці виробничого обладнання, засобами аварійної зупинки всього комплексу або окремих його одиниць – якщо це не призведе до подальшого розвитку аварійної ситуації.

Пуск виробничого обладнання в роботу, а також повторний пуск після його зупинки, незалежно від її причини, має бути можливим тільки шляхом маніпулювання органами управління пуском. Органи аварійної зупинки після спрацювання повинні залишатися в положенні зупинки до їх повернення у вихідне положення обслуговуваним персоналом. Повернення органів аварійної зупинки у вихідне положення не повинно приводити до пуску обладнання.

Повне чи часткове припинення енергопостачання з наступним його відновленням, а також пошкодження мережі управління енергопостачанням не повинно призводити до виникнення небезпечних ситуацій.

Засоби захисту, що входять в конструкцію виробничого обладнання, повинні: забезпечувати можливість контролю їх функціонування; виконувати своє призначення безперервно в процесі роботи обладнання; діяти до повної нормалізації відповідного небезпечного чи шкідливого фактора, що спричиняє спрацювання захисту; зберігати функціонування при виході із ладу інших засобів захисту. За необхідності включення засобів захисту до початку роботи виробничого обладнання, схемою управління повинні передбачатися відповідні блокування тощо.

Основними вимогами безпеки до технологічних процесів є: усунення безпосереднього контакту працюючих з вихідними матеріалами, заготовками, напівфабрикатами, готовою продукцією та відходами виробництва, що є вірогідними чинниками небезпек; заміна технологічних процесів та операцій, що пов'язані з виникненням небезпечних та шкідливих виробничих факторів, процесами і операціями, за яких зазначені фактори відсутні або

характеризуються меншою інтенсивністю; комплексна механізація та автоматизація виробництва, застосування дистанційного керування технологічними процесами і операціями за наявності небезпечних та шкідливих виробничих факторів; герметизація обладнання; застосування засобів колективного захисту працюючих; раціональна організація праці та відпочинку з метою профілактики монотонності й гіподинамії, а також обмежень важкості праці; своєчасне отримання інформації про виникнення небезпечних та шкідливих виробничих факторів на окремих технологічних операціях (системи отримання інформації про виникнення небезпечних та шкідливих виробничих факторів необхідно виконувати за принципом пристроїв автоматичної дії з виводом на системи попереджувальної сигналізації); впровадження систем контролю та керування технологічним процесом, що забезпечують захист працюючих та аварійне відключення виробничого обладнання; своєчасне видалення і знешкодження відходів виробництва, що є джерелами небезпечних та шкідливих виробничих факторів, забезпечення пожежної і вибухової безпеки.

При визначенні необхідних засобів захисту потрібно керуватися вказівками відповідних розділів стандартів ССБТ за видами виробничих процесів та групами виробничого обладнання, що використовуються у цих процесах. Перелік діючих стандартів стосовно процесів дається у покажчиках Держстандарту, що видаються кожен рік.

Виробничі будівлі та споруди, залежно від вибраного архітектурно-будівельного та об'ємно-планувального вирішення, можуть впливати на формування умов праці: освітлення, шуму, мікроклімату, загазованості та запиленості повітряного середовища, виробничих випромінювань. Крім того, неправильне колірове або архітектурне вирішення інтер'єру призводить до несприятливого психологічного впливу на працюючих.

У виробничому приміщенні умови праці залежать від таких факторів, як розташування технологічного обладнання, організація робочого місця, сировина та заготовки, готова продукція. У кожному конкретному випадку вимоги безпеки

до виробничих приміщень та площадок формуються, виходячи з вимог діючих будівельних норм та правил.

Рівні небезпечних та шкідливих виробничих факторів на робочих місцях повинні відповідати вимогам стандартів безпеки за видами небезпечних та шкідливих факторів.

Розташування виробничого обладнання, вихідних матеріалів, заготовок, напівфабрикатів, готової продукції та відходів виробництва у виробничих приміщеннях і на робочих місцях не повинно являти собою небезпеку для персоналу. Відстані між одиницями обладнання, а також між обладнанням та стінами виробничих приміщень, будівель і споруд повинні відповідати вимогам діючих норм технологічного проектування, будівельним нормам та правилам.

Зберігання вихідних матеріалів, заготовок, напівфабрикатів, готової продукції та відходів виробництва потребує розробки і реалізації системи заходів, які виключають виникнення небезпечних та шкідливих виробничих факторів; використання безпечних пристроїв для зберігання; механізацію та автоматизацію важко-розвантажувальних робіт тощо.

При транспортуванні вихідних матеріалів, заготовок, напівфабрикатів, готової продукції та відходів виробництва необхідно забезпечувати використання безпечних транспортних комунікацій, застосування засобів пересування вантажів, що виключають виникнення небезпечних та шкідливих виробничих факторів, механізацію та автоматизацію перевезення. У формуванні безпечних умов праці велике значення має врахування медичних протипоказань до використання персоналу у окремих технологічних процесах, а також навчання й інструктаж з безпечних методів проведення робіт.

До осіб, які допущені до участі у виробничому процесі, застосовуються вимоги щодо відповідності їх фізичних, психофізичних і, в окремих випадках, антропометричних даних характеру роботи. Перевірка стану здоров'я працюючих має проводитися як при допуску їх до роботи, так і періодично згідно з чинними нормативами. Періодичність контролю за станом їх здоров'я повинна

визначатися залежно від небезпечних та шкідливих факторів виробничого процесу в порядку, встановленому Міністерством охорони здоров'я.

Особи, які допускаються до участі у виробничому процесі, повинні мати професійну підготовку (у тому числі з безпеки праці), що відповідає характеру робіт. Навчання працюючих із безпеки праці проводиться на всіх підприємствах і в організаціях незалежно від характеру та ступеня небезпеки виробництва відповідно до ДНАОП Д.00-4.12-99.

Основними напрямками забезпечення безпеки праці має бути комплексна механізація (і автоматизація виробництва, це є передумовою для корінного покращення умов праці, зростання продуктивності праці та якості продукції, сприяє ліквідації відмінності між розумовою й фізичною працею. Але при автоматизації необхідно враховувати психічні та фізіологічні фактори, тобто угадувати функції автоматичних пристроїв з діяльністю людини-оператора. Зокрема, необхідно враховувати антропометричні дані останнього та його можливості до сприйняття інформації.

### 6.3 Заходи пожежної безпеки у цеху

Об'єкти сучасного виробництва у своїй більшості є пожежонебезпечними. На багатьох із них застосовуються технології з наявністю високих температур, тиску, парів легкозаймистих рідин, горючих газів, пилу тощо. Для сучасних підприємств характерні концентрація на невеликій площі значної кількості обладнання великий обсяг сучасних виробничих будівель, недостатній рівень протипожежного захисту.

Пожежі на промислових об'єктах можуть призводити до загибелі людей, величезних матеріальних втрат, екологічних катастроф. Тому пожежна безпека на підприємствах і в технологічних процесів виробництва має стати одним із пріоритетних завдань менеджменту та персоналу таких об'єктів. Забезпечення пожежної безпеки – це досить складне соціальне-економічне завдання, спрямоване на запобігання пожежам та ліквідацію пожеж, у випадку їхнього виникнення, з мінімальними наслідками.

Пожежну безпеку забезпечують системи запобігання пожежі та протипожежного захисту, а також організаційно-технічні заходи. Управління пожежною безпекою передбачає підвищення безпечності стану приміщень, обладнання та виробничих процесів [25]

Система пожежної безпеки – це комплекс організаційних заходів і технічних засобів, спрямованих на запобігання пожежі та збиткам від неї.

Пожежобезпека об'єкта – стан об'єкта, за якого з регламентованою ймовірністю виключається можливість виникнення й розвитку пожежі та впливу на людей небезпечних факторів пожежі, а також забезпечується захист матеріальних цінностей.

Індекс забезпечення пожежної безпеки – кількісна оцінка попередження збитків у разі можливої пожежі.

Об'єкти, пожежі на яких можуть призвести до масового враження людей на них та на навколишній території, підприємства з небезпечними та шкідливими виробничими факторами, а також небезпечні пожежі повинні мати системи пожежної безпеки для зведення до мінімуму ймовірності виникнення пожежі. Конкретні значення такої ймовірності визначають проєктувальники та технологи.

Системи пожежної безпеки мають запобігати впливу на людей небезпечних факторів пожежі, у тому числі їхніх вторинних проявів. Основними напрямками забезпечення пожежної безпеки є усунення умов виникнення пожежі та мінімізація її наслідків.

Пожежну безпеку забезпечують такі основні компоненти виробництва:

- технічна система, яка передбачає надійність обладнання, використання безпечних технологій, визначає обсяг вибухопожежонебезпечних речовин, проєктні рішення, впровадження систем виявлення та гасіння пожеж, розміщення обладнання тощо;
- персонал, його підготовка, забезпечення регламентами та правилами роботи;
- система управління.

Системи пожежної безпеки спрямовані на:

- визначення вихідних причин ситуацій ризику виникнення пожеж внаслідок характерних властивостей та особливостей продуктів, речовин і матеріалів, які використовуються у виробничих процесах, енергії, яка споживається у виробництві, а також відповідних факторів людської діяльності;
- комплексний аналіз із метою створити ефективні засоби попередження пожежі шляхом нейтралізації дії сприяючих їй обставин;
- визначення засобів і методів локалізації та гасіння пожеж;
- запобігання виникненню пожежі;
- пожежну безпеку людей та матеріальних цінностей.

Системи пожежної безпеки мають відповідати також економічним критеріям ефективності з урахуванням усіх стадій життєвого циклу об'єктів (проекування, будівництво, експлуатація).

Аналіз пожежної небезпеки

Оскільки пожежа являє собою процес неконтрольованого горіння, то контроль за процесами, які сприяють умовам її виникнення, є основним інструментом запобігання пожежі.

На території підприємства це досягається попередженням створення горючого середовища та утворення в ньому джерел загоряння. Система запобігання пожежі має забезпечувати контроль горючого середовища, речовин і матеріалів, джерел теплової енергії та їхньої взаємодії з горючими речовинами та матеріалами.

Оцінка пожежонебезпечних властивостей речовин і матеріалів передбачає визначення комплексу показників, вибір яких залежить від агрегатного стану речовини (матеріалу) та умов їхнього використання. Дані про пожежонебезпечні властивості мають подаватися для всіх речовин, матеріалів, сумішей тощо, які застосовуються на виробничому об'єкті, з урахуванням особливостей і параметрів технологічних процесів. При відсутності таких параметрів їх визначають дослідним шляхом на установках, які пройшли

атестацію на право отримання експериментальних даних, або за допомогою стандартизованих розрахункових методів.

Аналіз пожежної небезпеки технологічних процесів включає:

- оцінку пожежної небезпеки речовин і матеріалів, які використовуються в технологічному процесі;
- вивчення технологічного процесу з метою визначити обладнання, ділянки або місця зосередження горючих матеріалів або можливого утворення парових горючих сумішей;
- визначення можливості утворення в горючому середовищі джерел загоряння;
- моделювання рідкоманітних варіантів аварій, шляхів розповсюдження пожежі та вибір проектно аварії;
- розрахунок категорії приміщень, будівель, установок за вибухопожежною і пожежною небезпекою;
- визначення складу систем попередження пожежі та проп. пожежного захисту технологічних процесів;
- розробку заходів підвищення пожежної безпеки технологічних процесів і окремих їхніх ділянок.

Пожежна небезпека технологічних процесів визначається на основі вивчення технологічного регламенту, технологічної схеми виробництва, показників вибухопожежної небезпеки речовин і матеріалів, які використовуються у технологічному процесі, конструктивних особливостей апаратів, машин та агрегатів, схеми розташування небезпечного обладнання.

Заходи з попередження пожеж на підприємстві

На основі проведеного аналізу на підприємстві розробляється система заходів щодо попередження пожеж та протипожежного захисту технологічних процесів згідно з вимогами нормативних документів.

Протипожежні заходи базуються на вимогах щодо виключення джерела загоряння. Якщо це джерело не може бути ізольованим за умовами

технологічного процесу, то об'єкт (приміщення, устаткування) необхідно забезпечити надійною системою протипожежного захисту.

Технологічне обладнання за нормальних режимів роботи повинно бути пожежобезпечним, а на випадок несправностей та аварій необхідно передбачити захисні заходи, які обмежують масштаб та наслідки пожежі.

Виробництво, де є вибухопожежонебезпечні речовини й матеріали, повинно бути оснащено автоматичними засобами контролю параметрів вибухопожежонебезпечності процесу, сигналізацією граничних значень і системами блокування, які перешкоджають виникненню аварійних ситуацій.

Технологічне устаткування, апарати й трубопроводи, в яких утворюються вибухопожежонебезпечні пари, повинні бути герметичними.

Об'ємно-планувальні та конструктивні рішення будівель промислових об'єктів повинні мінімізувати наслідки пожежі. У разі виникнення пожежі обладнання, яку проектували й будували правильно, має протягом певного часу зберігати несучу здатність своїх конструкцій. Поява та поширення вогню й диму всередині будівлі мають бути обмеженими. Проектанти та будівельники повинні також ужити заходів, аби обмежити поширення пожежі на сусідні будівлі, дати можливість людям вільно залишити будівлю, а пожежно-рятувальним підрозділам – загасити пожежу.

## РОЗДІЛ 7

### ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Всі складові неавтоклавноного газобетону відповідають вимогам державних стандартів.
2. Підібраний оптимальний склад газобетону середньою густиною  $600 \text{ кг/м}^3$ : витрати цементу – 272,5 кг, алюмінієвої пудри – 1,5 кг, сода – 0,245 кг, зола-виносу – 0,389 кг, пісок кварцовий – 163,5 кг, вода – 245 л.
3. Підібраний оптимальний склад газобетону середньою густиною  $700 \text{ кг/м}^3$ : витрати цементу – 318 кг, алюмінієвої пудри – 1,5 кг, сода – 0,27 кг, зола-виносу – 0,429 кг, пісок кварцовий – 190,8 кг, вода – 270 л.
4. Визначені коефіцієнти теплопровідності газобетону середньою густиною  $600 \text{ кг/м}^3$  з різними складами і отримані наступні результати:  
з зола-виносу – 0%, NaOH – 0%; алюмінієва пудра 2,5 г –  $0,119 \text{ Вт/м}^0 \text{ С}$  та з зола-виносу – 1%, NaOH – 2%; алюмінієва пудра 1,5 г –  $0,13 \text{ Вт/м}^0 \text{ С}$ .

## СПИСОК ВИКСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кривенко П.В., Ковальчук Г.Ю. Пужне алюмосилікатне зв'язуюче на основі золи-виносу // Зб. наук. пр. Дніпропетр. держ. техн. ун-ту залізничного трансп. - Серія "Будівництво". - 1999. - Вип. 7. - С. 212-219.
2. Кривенко П.В., Ковальчук Г.Ю. Фізико-хімічні передумови об'єднання лужного алюмосилікатного зв'язуючого на основі золи-виносу // Композиційні матеріали для будівництва: Зб. наук. пр. - Макіївка: ДонДАБА - Вип. 2000-2 (22). - С. 111-116.
3. Кривенко П.В., Мохорт М.А., Ковальчук Г.Ю. Підбір складу жаростійкого лужного алюмосилікатного газобетону на основі золи-виносу // Вісн. Вінниць. політехнічного ін-ту. - 2000. - № 4. - С. 18-19.
4. Спекунов В. В. Пористі композиційні матеріали та їх використання у будівництві /В. В. Спекунов. – К.: Академія будівництва України, 2003. – 85 с.
5. Гончаров В. М., Іванов В. А. Технологія легких бетонів. навчальний посібник. – Київ. Ліра-К, 2018. – 320 с.
6. Козлов Є. А. Вплив вторинних матеріалів на властивості газобетонів // Будівельні матеріали. – 2020. – № 2. – С. 35–42.
7. Вернадський В. І. Про закономірності утворення мікроструктури в піздроватих бетонах // Вісник Київського університету. – 2019. – № 4. – С. 58–64.
8. Алабужев В. І., Петров М. А. Використання золи-виносу у виробництві газобетонів // Будівництво України. – 2011. – № 3. – С. 25–31.
9. ASTM C332-17. Standard Specification for Lightweight Aggregates for Insulating Concrete. – West Conshohocken, PA: ASTM International, 2017. – 7 p.
10. Юрченко А. П., Ляшенко А. І. Особливості проектування складу газобетонів на основі вторинної сировини // Будівельні матеріали і виробн. – 2020. – № 5. – С. 14–20

11. Попов Є. П., Зайцев В. В. Методи математичного планування в технології будівельних матеріалів. – Київ: Наукова думка, 2017. – 212 с.
12. ДСТУ ISO 3696:2003 Вода для застосування в лабораторіях. Вимоги та методи перевіряння (ISO 3696:1987, IDT).
13. Рейтер М., Грендаль ЧО. Аналіз мікроструктури та механічних властивостей ніздрюватого бетону // Наукові дослідження в будівельній галузі. – 2022. – Т. 18, № 2. – С. 22–29.
14. Thomas, J., & Gao, B. S. (2019). Sustainable Development of Aerated Concrete Using Industrial Waste. *Journal of Cleaner Production*, 231, 1021–1030.
15. Yang, H., Lee, S. Properties of Aerated Concrete Containing Industrial Waste Products // *Construction and Building Materials*. – 2019. – Vol. 220. – P. 253–261.
16. ДСТУ Б В.2.7-232:2019 Пісок для будівельних робіт. Методи випробування.
17. ДСТУ Б В.2.7-112:2002 Пісок щільний природний для будівельних робіт. Технічні умови.
18. ДСТУ Б В.2.7-187:2009. Будівельні матеріали. Цементи. Методи визначення міцності на згин та стиск.
19. ДСТУ Б В.2.7-128:2006 Додатки активні мінеральні та добавки наповнювачі до цементу. Технічні умови.
20. ГОСТ 5494-95 «Пудра алюмінієва. Технічні умови».
21. ДСТУ Б В.2.7-46:2010 Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови.
22. ДСТУ Б В.2.7-155:2009. Будівельні матеріали. Цементи. Методи визначення нормальної густоти, строків тужавлення та рівномірності зм'ягк. об'єму.
23. ДСТУ Б В.2.7-188:2009. Будівельні матеріали. Цементи. Методи визначення тонкості помелу.
24. ДСТУ Б В.2.7-214:2009. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками.
25. Балков А. С. Використання відходів виробництва у легких бетонах: монографія. – Харків: Основа, 2021. – 238 с.

26. Хом'як М. П., Коваленко Т. С. Перспективи застосування фосфогіпсу у виробництві газобетонів // Вісник будівельних технологій. – 2021. – № 1. С. 19–24.