МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ім. Ю.М. ПОТЕБНІ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра промислового та цивільного будівництва

Кваліфікаційна робота/проект

другий магістерський рівень
(рівень вищої освіти)

на тему: **«Можливості забезпечення експлуатаційної надійності зовнішніх стін будівель на основі автоклавних газобетонних блоків»**

Виконав: студент 2 курсу, групи: 8.1923 пцб–з–дн

спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія
(код і назва спеціальності)

освітньої програми промислове і цивільне будівництво

Яковенко Анастасія Іванівна
(прізвище та ініціали)

Керівник ст. викладач Пастухова С.В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент доц.,к.т.н.Данкевич Н.О.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя – 2024 року

2

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потребні

Кафедра Промислового та цивільного будівництва
Рівень вищої освіти другий магістерський рівень
(другий (магістерський) рівень)
Спеціальність 192 "Будівництво та цивільна інженерія"
(шифр і назва)
Освітньо-професійна програма "Промислове і цивільне будівництво"
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ПЦБ
проф. Арутюнян І.А.
«02» 09 2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Яковенко Анастасія Іванівна
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту): Можливості забезпечення експлуатаційної надійності зовнішніх стін будівель на основі автоклавних газобетонних блоків
Науковий керівник Пастухова С.В. ст.викладач
(прізвище, ім`я по батькові, науковий ступень, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від "30" 09 2024 року № 1486– с
2. Строк подання студентом роботи 01 березня 2025 р.
3. Вихідні дані до роботи Можливості забезпечення експлуатаційної надійності зовнішніх стін будівель на основі автоклавних газобетонних блоків
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Експлуатаційна надійність зовнішніх стін будівель, економічність т ефективність використання газобетонних виробів. 2. Енергоефективність властивості та технологія кладки стін з автоклавного газобетону дл збереження надійності будівель. 3. Фактори, що чинять деструктивний вплив на стіни з автоклавних газобетонних блоків та можливі рішення збереження і експлуатаційної надійності. 4. Перелік графічного матеріалу (з точни зазначенням обов'язкових креслень) 8 листів формату А1.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завданн прийня
Розділ 1	Пастухова С.В. ст.викладач		
Розділ 2	Пастухова С.В. ст.викладач		
Розділ 3	Пастухова С.В. ст.викладач		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфкаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Приміт
1.	Експлуатаційна надійність зовнішніх стін будівель, економічність та ефективність використання газобетонних виробів.		
2.	Енергоефективність, властивості та технологія кладки стін з автоклавного газобетону для збереження надійності будівель.		
3.	Фактори, що чинять деструктивний вплив на стіни з автоклавних газобетонних блоків та можливі рішення збереження їх експлуатаційної надійності.		

Студент	(підпис)	Яковенко А.І. (прізвище та ініціали)
Керівник роботи/проекту	(підпис)	Пастухова С.В. (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль пройдено	(підпис)	Данкевич Н.О. (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Яковенко Анастасія Іванівна. Можливості забезпечення експлуатаційної надійності зовнішніх стін будівель на основі автоклавних газобетонних блоків.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник Пастухова С.В. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні Запорізького національного університету, кафедра промислового та цивільного будівництва, 2025.

Розглядаються можливості для збереження експлуатаційної надійності зовнішніх стін будівель з автоклавних газобетонних блоків для зведення житлових будинків. У результаті порівняння за різними техніко-економічними показниками використання газобетонних блоків автоклавного тверднення оцінено енергоефективність огороджувальних конструкцій стін.

Оцінені основні механізми, що чинять деструктивний вплив на стан автоклавного газобетону в складі зовнішніх стін будівель. Цими механізмами є: зволоження стіни, вплив вологи при заморожуванні, повзучість бетонів з урахуванням фактору карбонізації структуроутворювальних гідросилікатних фаз матеріалу. Визначено можливості захисту зовнішніх стін будівель з автоклавного газобетону для збереження їх експлуатаційної надійності, проблеми захисту та забезпечення довговічності таких стін. Наведено досвід експлуатації штукатурок при захисті фасадів житлових будинків на основі автоклавних газобетонних блоків.

Ключові слова: виробництво газобетону, автоклавний газобетон, карбонізація, експлуатаційні властивості, водопоглинання, повзучість енергозбереження, термічний опір.

ANNOTATION

ЗМІСТ

стр.

ВСТУП……9

ЕКСПЛУАТАЦІЙНА НАДІЙНІСТЬ ЗОВНІШНІХ СТІН БУДІВЕЛЬ, ЕКОНОМІЧНІСТЬ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ

Г

Понняття експлуатаційної надійності будівель..... 11

З 1.2 Вплив енергозберігаючих стінових матеріалів на економічну та

практичну складову будівництва……..15

Б 1.3 Нормативно-правові аспекти зведення будівель з автоклавного

Газобетону……...21

Т 1.4 Роль та місце автоклавного газобетону на світовому ринку. Прогноз

розвитку.....29

Н 1.5 Перспективи розвитку автоклавного газобетону в Україні……..….34

Н 2 ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ВЛАСТИВОСТІ ТА ТЕХНОЛОГІЯ

КЛАДКИ СТІН З АВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНУ ДЛЯ ЗБЕРЕЖЕННЯ

НАДІЙНОСТІ БУДІВЕЛЬ…….36

Базові характеристики автоклавних газобетонних блоків ……...…36

В

И

2.2 Теплоізоляція будівель та термічний опір стін ……..38
Особливості конструктивних рішень теплозахисту стін будівель на основі автоклавних газобетонних блоків…….....43
2.4 Зведення зовнішніх стін будівель на основі автоклавних газобетонних блоків……...47
ФАКТОРИ, ЩО ЧИНЯТЬ ДЕСТРУКТИВНИЙ ВПЛИВ НА СТІНИ З АВТОКЛАВНИХ ГАЗОБЕТОННИХ БЛОКІВ ТА МОЖЛИВІ РІШЕННЯ ЗБЕРЕЖЕННЯ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ ……54
3.1 Експлуатаційна вологість автоклавних газобетонних блоків в зовнішніх стінах будівель.....54
3.2 Фізико-хімічні фактори, що мають вплив на експлуатаційний стан та довговічність зовнішніх стін будівель на основі автоклавних газобетонних блоків……..59
Нормування міри повзучості дрібнозернистих автоклавних ніздрюватих бетонів з урахуванням фактору карбонізації……64
Системи захисту від дії факторів, що чинять деструктивний вплив на стіни з автоклавного газобетону……...69
ВИСНОВОК……..…….76
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ……..……78

ВСТУП

Актуальність роботи. Сьогодні питання енергозбереження є актуальним у всьому світі, а особливо в Україні. Постійне зростання ціни на енергоносії не лише для виробництва, але й для мешканців призводить до значних витрат на утримання житла у відповідних умовах. Важливим завданням зниження енергоспоживання є покращення енергоефективності будівель. Для цього все частіше використовують енергоефективні матеріали. Одним із таких матеріалів, представленим на будівельному ринку, що набуває все більшої популярності є автоклавний газобетон.

Використання таких стін виправдано завдяки своїй тепловій ефективності. Однак дискусійним залишається питання про раціональність використання існуючих рішень стінових огороджень, так як необхідність улаштування декількох шарів з різних конструкційних матеріалів призводить до збільшення трудомісткості зведення. Крім того, багатошарові рішення зовнішніх стін будівель пред’являють підвищені вимоги до якості виконання робіт, до якості рішень щодо забезпечення спільної роботи кількох різноманітних за фізичними параметрами шарів, і часом такі рішення знижують експлуатаційну надійність стінового огородження, що, на жаль, нерідко призводить до аварій та обвалення конструкцій.

У процесі експлуатації стіни будівель піддаються впливу зовнішніх кліматичних та техногенних впливів та забезпечують підтримку у будинках необхідних параметрів мікроклімату. Саме тому важливим є мінімізувати вплив деструктивних факторів на стіновий матеріал.

Метою роботи є визначення та обґрунтування заходів задля забезпечення експлуатаційної ефективності зовнішніх стін будівель на основі автоклавних газобетонних блоків.

Для досягнення поставленої мети сформульовано наступні **задачі**:

– розглянути процес зведення будівель з автоклавних газобетонних

блоків;

– оцінити фактори, що можуть чинити деструктивний вплив на зовнішні стіни в процесі експлуатації будівель;

– систематизувати оптимальні заходи для забезпечення експлуатаційної ефективності будівель з автоклавних газобетонних блоків.

Об’єктом дослідження є фактори, що здійснюють деструктивний вплив на експлуатаційну надійність зовнішніх стін будівель на основі автоклавних газобетонних блоків та можливості захисту від них.

Предметом дослідження є конструктивні та технічні рішення, що можуть забезпечити довговічність енергозберігаючих властивостей зовнішніх стін будівель на основі автоклавних газобетонних блоків.

Практична цінність роботи полягає в обґрунтуванні та визначенні ефективних методів збереження довговічності зовнішніх стін будівель з автоклавних газобетонних блоків.

Структура і об'єм магістерської роботи. Магістерська робота складається з вступу, трьох розділів, висновку, списку використаних джерел. Повний об'єм магістерської роботи складає 82 сторінок тексту, у тому числі 25 рисунків, 9 таблиць. Список використаних джерел містить 23 найменувань.

ЕКСПЛУАТАЦІЙНА НАДІЙНІСТЬ ЗОВНІШНІХ СТІН БУДІВЕЛЬ, ЕКОНОМІЧНІСТЬ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ГАЗОБЕТОННИХ ВИРОБІВ

1.1 Поняття експлуатаційної надійності будівель

Технічна досконаліть конструкції, якісне будівництво об'єкта, мінімізація відмов в експлуатації ґрунтуються на принципах надійності.

Забезпечення надійності будівель, споруд та будівельних конструкцій є актуальною проблемою сьогодення. З розвитком техніки проблема забезпечення надійності постійно загострюється за рахунок збільшення вимог до якості функціонування об'єктів, зростання їх складності, ступеню відповідальності та інтенсивності експлуатації. Відмови можуть викликати не лише дискомфорт чи порушення нормального функціонування та експлуатації об'єктів будівництва, але й призвести до значних матеріальних збитків та соціальних втрат, в тому числі до загрози людського життя. В умовах військової агресії, сьогоднішніх кризових явищ в економіці, складної економічної ситуації в будівельній сфері, удорожчанні на ринку будівельних матеріалів та сировини – все це викликає додаткові виклики надійності будівництва.

Надійність – це властивість технічних об’єктів зберігати протягом встановленого часу або необхідного напрацювання, в заданих межах та при заданих режимах і умовах експлуатації значення всіх параметрів, які характеризують здатність виконувати потрібні функції в заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання та транспортування [2, 3].

Будівництво – це сукупність ресурсів будівельної галузі та відповідних механізмів регулювання. На законодавчому рівні будівництво розглядають як

спорудження нового об'єкта, реконструкція, розширення, добудова, реставрація і ремонт будівельних об’єктів, виконання монтажних робіт.

Кінцевим продуктом будівництва є споруди, що у свою чергу є важливою соціально-економічною складовою стабільного існування суспільства через забезпечення безпечного й комфортного середовища для життя та життєдіяльності людини. У спорудах розміщується критична інфраструктура, необхідна для забезпечення функціонування суспільства, бізнесу та органів влади. З огляду на сукупність ресурсів, необхідних для проєктування, будівництва, експлуатації, обслуговування, виробництва будівельних матеріалів та виробів, споруди становлять значний відсоток валового національного продукту.

Будівельні конструкції – вироби, з яких складаються будинки та інші споруди. Розрізняють конструкції несучі та огороджувальні. Несучі конструкції – основні конструктивні елементи, що забезпечують міцність і стійкість, витримують власну вагу і зовнішні механічні впливи та передають їх на основу, тобто ґрунти, що приймають навантаження від споруди [2, 3, 5].

Пошкодження конструкцій нерідко є наслідком дефекту, який міг бути допущений під час проектування, будівництва (транспортування, виготовлення, зберігання, монтажу, оздоблення тощо) та експлуатації. Численні дані з обстеження стану будівельних конструкцій свідчать про те, що під дією різних чинників (температури, вологості, вологості) вием різних чинників (температури, вологості, газо- вогосередовища) несуча здатність і жорсткість у процесі експлуатації знижуються.

Надійність будівельного об’єкта – властивість об'єкта виконувати задані функції протягом заданого проміжку часу [1]. Експлуатація – використання об'єкта за функціональним призначенням (з проведенням необхідних заходів щодо збереження стану конструкцій), коли він здатен виконувати задані функції, зберігаючи значення параметрів, встановлені вимогами технічної документації.

Сучасне загальноприйняте трактування понять надійності в сфері

будівництва пов'язується, насамперед, з революційними для того часу роботами Н. С. Стрілецького і А. Р. Ржаніцина 1947–1952 рр. У цих роботах було закладено базис сучасної теорії надійності, що являє собою викладення двох фундаментальних наукових ідей:

По-перше, показана статистична природа міцності конструкції і параметрів її навантаження та доведено необхідність ймовірнісної оцінки працездатності споруди.

Конструкційна міцність – це комплекс показників, що визначають працездатність матеріалу в конкретній конструкції за певних умовах експлуатації, вона вміщує в себе як характеристики самого матеріалу, так і надійність та довговічність його роботи в реальній конструкції. Оскільки для забезпечення працездатності матеріалу необхідне поєднання низького значення температурного порогу крихкості, наявність достатньо високих показників пластичності, міцності, ударної в'язкості та в'язкості руйнування, тощо.

Згідно ДСТУ Б В.2.6-210:2016 «Оцінка технічного стану сталевих будівельних конструкцій, що експлуатуються» залежно від здатності конструкцій виконувати службові функції, передбачені нормативною та проектною документацією, після технічного обстеження їх стан можна класифікувати на:

1) Нормальний – конструкції справні, моральний знос не проявляється. Дефекти і пошкодження, як правило, відсутні. Матеріал конструкцій і умови експлуатації відповідають вимогам проекту і діючих норм.

2) Технічний стан конструкції вважається працездатним, якщо:

– не відбулося руйнування (не виявлено явищ згідно з 8.3.6 «При виявленні (на будь-якому ступені) явищ, які свідчать про можливе руйнування, навантаження слід негайно припинити. До таких явищ належить будь-яке руйнування елемента, втрата місцевої стійкості, розкриття тріщин на ширину більше ніж на 0,2 мм або зростання їх довжини, зміна форми поперечного перерізу більш ніж на двадцяту частину первісного габариту поперечного

перерізу елемента, зріз болтів або заклепок та інші руйнування з'єднань»);

– виміряне повне переміщення під пробним навантаженням з першим контрольним значенням є допустимим щодо експлуатації і не призводить до залишкових деформацій;

– відношення залишкового і повного значень переміщень. $P_к$ у відсотках одержаних при навантаженні за другим контрольним значенням пробного навантаження, не перевищує граничних величин, зазначених у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Граничні значення $P_к$ та $P_{2к}$

Вид конструкції	Граничне відношення залишкового переміщення до повного (%) для контрольних значень пробних навантажень	
	$P_к$	$P_{2к}$
Зварна		
Клепана		
Із болтовими		

3) Задовільний – конструкції знаходяться в основному у працездатному стані, є елементи, які знаходяться у непрацездатному стані, але вони не впливають на загальний технічний стан

4) Непридатний до нормальної експлуатації – працездатність втрачена, але загального граничного стану не досягнуто і йому можна запобігти шляхом введення обмежень тривалості експлуатації та обмеження параметрів технологічного процесу;

5) Аварійне – у випадках, якщо за результатами перевірки сталевих конструкцій в цілому або окремих відповідальних елементів їх несуча здатність не забезпечується. Працездатність повністю втрачена, є загроза раптового руйнування [4].

По-друге, закладені основи методу граничних станів.

Граничним називається такий стан, при якому подальша експлуатація об'єкта неможлива через непереборність порушень, вимог безпеки або ефективності експлуатації, а також догляду параметрів за встановлені межі.

Довговічність кількісно оцінюють ресурсом або терміном служби. Ресурс являє собою напрацювання об'єкта від початку експлуатації або його відновлення після ремонту і до настання граничного стану. Він може вимірюватися часом або циклами. Для об'єктів, що працюють безперервно з рівномірним зносом.

1.2 Вплив енергозберігаючих стінових матеріалів на економічну та практичну складову будівництва

Проблема підвищення енергетичної ефективності та питання ресурсо- та енергозбереження сьогодні не втрачають своєї актуальності та набувають ще більшого значення. В умовах військово-політичної ситуації, що склалася в Україні, до питання ресурсної ефективності необхідно підходити в комплексі з метою максимізації використання наявного потенціалу заощадження природних ресурсів, зокрема і паливно-енергетичних.

Постановою Кабінету міністрів України від 05.02.1997 р. №148 була схвалена «Комплексна державна програма енергозбереження України». У відповідності до неї, одним із пріоритетних напрямків розвитку промисловості будівельних матеріалів є модернізація застарілих виробництв і заводів із значними питомими витратами палива, зниження енергоємності виробництва стінових матеріалів за рахунок збільшення випуску пустотної цегли, обсягів використання вторинних енергетичних ресурсів, випуску ніздрюватобетонних виробів. Основні витрати на утримання житла є витрати на енергозбереження. Саме тому все більш активно використовуються енергозберігаючі технології. Вони дозволяють не лише раціонально використовувати енергоносії, але й економити кошти.

В дослідженнях не раз висвітлювалися питання застосування як несучих огороджувальних конструкцій економічних матеріалів з високим

термічним опором.

Відзначено, що для зменшення тепловтрат через зовнішні стіни необхідно при будівництві будинків орієнтуватися на ефективні стінові матеріали, тим більше, що стіни – це основний елемент будь-якої будівлі та споруди. Їх основне функціональне значення полягає у здатності витримувати несучі навантаження, а також бути огороджувальними елементами. За останньою ознакою їх поділяють на внутрішні та зовнішні стіни. Однак недостатня увага приділялася вивченню наступних факторів, що впливають на вибір стінових матеріалів. Це економічність при будівництві, легкість у застосуванні, здатність надати архітектурну виразність, висока екологічність, енергозбереження в процесі експлуатації будівлі та абсолютна нешкідливість матеріалу.

При виборі стінового матеріалу особлива увага повинна приділятися його властивостям. По-перше, потрібно враховувати міцнісні та теплозахисні якості (показники теплопровідності відповідно до чинних нормативних документів) та морозостійкість матеріалу. По-друге, паро- та повітропроникність повинні забезпечувати в приміщеннях необхідний температурно-вологісний режим та комфортність у будь-яку пору року. По-третє, група займистості та межа вогнестійкості стінового матеріалу повинні відповідати протипожежним нормам. І по-четверте, внутрішні стіни мають бути звукоізолюючими [1, 11, 15].

Виходячи з вищевикладеного, останнім часом все більшої популярності як стінові вироби набуває автоклавний газобетон.

Газобетонні вироби – найбільш затребуваний матеріал на основі в а п н я н о -

Поступове зростання вимог до показників термічного опору

огороджуючих конструкцій та низька енергоємність виробництва самого газобетону призвели до стрімкого зростання обсягів виробництва газобетонних виробів та постійного вдосконалення нормативно-технічної бази.

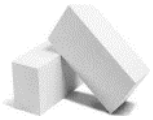
У порівнянні з керамічною, силікатною цеглою і цементними блоками ринок автоклавного газобетону в 2018 році склав близько 46%. Характеристика різних стінових матеріалів наведено у табл. 1.2 та табл. 1.3.

Таблиця 1.2 – Порівняльні фізико-технічні характеристики стінових матеріалів

Найменування показника	Одиниці виміру	Силікатна цегла	Керамічна цегла	Керамзитобетон	Дерево	Газобетон
Вигляд	–					
Щільність	кг/м^3		1400 – 1700	1000 – 1200		
Коефіцієнт теплопровідності	Вт/м°К	0,8 – 0,9	0,45 – 0,7	0,3 – 0,4		2 0,15
Міцність на стиск	МПа	– 3,3	– 2,4	– 2,0	–	1,0 –1,5
Морозостійкість	цикл	F 35	F 50	F 35	–	F 3
Витрати розчину	м^3			0,11 – 0,18	–	
Звукоізоляція	дБ					
Вогнестійкість за товщини 175 мм	годин	– 4	– 4	– 5	–	– 6
Екологічність виробництва і використання	один.				– 11	

Таблиця 1.3 – Економічно-експлуатаційні характеристики стінових

матеріалів

Найменування показника	Одиниці виміру	Силікатна цегла	Керамічна цегла	Керамзитобетон	Дерево	Газобетон
Вигляд	–					
Товщина стіни при однаковій теплопровідності	м					
Трудовитрати необхідні для укладання 1 м^2 стіни	годин			0,2 – 0,9		
Вага 1 м^2 стіни	кг					
Вартість 1 м^2	грн.					

До основних економічних показників при будівництві будівель з автоклавного газобетону відносяться:

– зниження маси стіни у 4 – 10 разів;

–

– зменшення витрат на 40 – 50%;

– зниження вартості стін на 40 – 50 %;

– зниження питомих капіталовкладень на 15 – 50 %;

– зниження трудовитрат на будівництві на 40 – 50%;

– зниження енерговитрат під час експлуатації на 7 – 30%.

На даний час газобетон широко використовується в будівництві житлових та промислових будівель, завдяки своїй низькій ціні, високій теплоізоляції та простоті монтажу [3]. Блоки з автоклавного газобетону виготовляють із натуральної сировини, вони не містять радіоактивних та

канцерогенних речовин, важких металів, полімерів, органіки.

На сьогодні єдиним стіновим матеріалом, з якого можуть бути виготовлені одношарові конструкції стін являється саме газобетон (рис. 1.1).



Рисунок 1.1– Одношарові конструкції стін з автоклавного газобетону

Автоклавний газобетон – це будівельний матеріал, який має легку вагу, що полегшує транспортування та прискорює процес будівництва, має гарну теплоізоляцію завдяки повітряним порам у його структурі та гарні звукоізолюючі властивості. Зі збільшенням щільності газобетону збільшуються його звукоізолюючі властивості. Індекс ізоляції повітряного шуму для стінових блоків товщиною 100 мм і щільністю D500 становить 50 дБ, при оштукатурюванні стіни індекс підвищується на 10 %. Як негорючий матеріал, автоклавний газобетон витримує одностороннюю дію вогню протягом 3-7 годин. При підвищенні температури характеристики міцності матеріалу збільшуються в 2-3 рази. Висока пористість газобетону забезпечує «міграцію вологи» - у разі коли повітря в приміщенні стає зайво сухим, стіни з газобетону забезпечують його зволоження, отримавши частину вологи за межами приміщень. Навпаки, у разі появи зайвої вологості в приміщенні вода не осідає у вигляді конденсату на стінах, а виводиться назовні. Таким чином забезпечуються комфортні умови для життя. Це допомагає знижувати витрати на опалення та кондиціювання приміщень [13, 15, 18].

Термічний опір огороджувальних конструкцій з автоклавного газобетону в 3 рази вищий, ніж у керамічної цегли, і в 8 разів вищий, ніж з важкого бетону [18]. Стіни з автоклавного газобетону не потребують

додаткового утеплення. У процесі експлуатації такої будівлі витрати на опалення знижуються на 25 – 30 % [6].

Газобетон – це штучний будівельний камінь, різновид пористого бетону, з рівномірно розподіленими по всьому об’єму замкнутими один з одним порами діаметром 1-3 мм. При виробництві цього матеріалу використовуються найпоширеніші матеріали – кварцовий пісок, цемент, вода і спеціалізований газоутворювач. Утворення пор досягається шляхом спучування суміші, що складається з основних компонентів бетону з газоутворювачем (зазвичай це алюмінієва суспензія). Іноді до складу суміші додають гіпс, вапно, промислові відходи (зола, шлаки металургійних виробництв). При зведенні стін з автоклавного газобетону враховується його відмінна оброблюваність. Стінові блоки легко ріжуться, пиляються ножівкою, свердляться звичайним свердлом, обробляються інструментами, що шліфують.

Автоклавний газобетон є екологічно чистим матеріалом. Коефіцієнт екологічності становить 2,0 для порівняння: даний коефіцієнт у керамічної цегли 10, у керамзитобетону 22,0. Вище тільки у дерева - 1,0. Завдяки тому, що газобетон "дихає", мікроклімат у приміщенні близький до мікроклімату дерев'яного будинку. Висока пористість газобетону забезпечує «міграцію вологи» - у разі коли повітря в приміщенні стає зайво сухим, стіни з газобетону забезпечують його зволоження, отримавши частину вологи за межами приміщень. Навпаки, у разі появи зайвої вологості в приміщенні вода не осідає у вигляді конденсату на стінах, а виводиться назовні. Таким чином забезпечуються комфортні умови для життя.

Високий ступінь теплопровідності газобетонних блоків зумовлений наявністю у нього пористої структури. Вважається, що чим менше розмір пір, тим якіснішим є газоблок.

Газобетон при автоклавуванні поміщається в спеціальні капсули з металу – і там пропарюється при високому тиску близько дванадцяти атмосфер і при дуже високій температурі – близько ста дев’яноста градусів.

Перемішані сухі інгредієнти змішують з водою, розчин заливають у форму. У результаті хімічної реакції утворюються газоподібний водень, який спінює цементний розчин, і алюмінати кальцію. Після попереднього схоплювання цементного розчину, моноліт виймають з форми і розрізають на заготовки блоків, плит, панелей.

Вироби мають відповідати вимогам стандартів, бути виготовленими згідно з технологічним регламентом, затвердженим в установленому на підприємстві порядку.

1.3 Нормативно-правові аспекти зведення будівель з автоклавного газобетону

Будівельна галузь на сьогоднішній день є важливою складовою суспільного виробництва, відіграє значний вплив на розвиток інфраструктури, житлово-комунального господарства та є головним елементом у забезпеченні необхідного рівня якості життя людей і прискоренням інноваційного розвитку багатьох сфер матеріального виробництва. В Україні ця галузь підпорядкована суворому правовому регулюванню, яке включає законодавчі акти різних рівнів та міжнародні стандарти.

Поступове зростання вимог до показників термічного опору огороджуючих конструкцій та низька енергоємність виробництва самого газобетону призвели до стрімкого зростання обсягів виробництва газобетонних виробів та постійного вдосконалення нормативно-технічної бази.

Значні обсяги втрат теплової енергії крізь зовнішні конструкції існуючих будівель вимагали законодавчого врегулювання та переоцінки теплотехнічних показників огороджуючих конструкцій.

Протягом останніх років в Україні активно формується національна

шкала нормування у будівництві, головним завданням якої є:

– вдосконалення нормативної бази з напрацюваннями міжнародного досвіду;

– гармонізація процедур оцінки відповідності з процедурами європейських країн;

– поширення нормативної бази на весь період життєвого циклу об’єктів б

у Конкретизують основні вимоги до об’єктів будівництва шість державних будівельних норм (далі – ДБН):

і 1) ДБН В.1.2-6:2021 «Основні вимоги до будівель і споруд. Механічний ѳпір та стійкість»;

н 2) ДБН В.1.2-7:2021 «Основні вимоги до будівель і споруд. Пожежна ѓезпека»;

ц 3) ДБН В.1.2-8:2021 «Основні вимоги до будівель і споруд. Гігієна, ѕдоров`я та захист довкілля»;

в 4) ДБН В.1.2-9:2021 «Основні вимоги до будівель і споруд. Безпека і ѕоступність під час експлуатації»;

5) ДБН В.1.2-10:2021 «Основні вимоги до будівель і споруд. Захист від шуму та вібрації»;

6) ДБН В.1.2-11:2021 «Основні вимоги до будівель і споруд. Енергозбереження та енергоефективність».

Будівельні норми не є самодостатніми документами. Вони працюють спільно зі стандартами. Однак, із 2016 року Міністерство розвитку громад та територій України не має впливу на розроблення стандартів і практично позбавлений можливості формувати єдину взаємоузгоджену нормативну базу. Взаємозв’язок механізмів системи «технічний регламент – будівельні норми – стандарти» порушено. Стандарти, відповідно до Закону України «Про стандартизацію», є нормативними документами, заснованими на консенсусі, що встановлюють для загального й неодноразового використання правила, настанови або характеристики щодо діяльності чи її результатів, та спрямовані

на досягнення оптимального ступеня впорядкованості в певній сфері.

Стандарти розподіляють на:

– національні – ДСТУ та ДСТУ-Н (приймаються Національним органом стандартизації – НОС);

– регіональні – EN (приймаються європейським органом зі стандартизації CEN); міжнародні – ISO (приймаються міжнародною організацією зі стандартизації ISO);

– стандарти підприємств та організацій – СОУ (приймаються для забезпечення власних потреб безпосередньо організаціями).

Регіональні та міжнародні стандарти для застосування на території України приймаються як національні гармонізовані стандарти (наприклад, ДСТУ EN або ДСТУ ISO). В України стандарти у переважній більшості є добровільними до застосування.

На сьогодні виробництво і застосування ніздрюватого бетону автоклавного твердіння в Україні регламентується наступними нормативними документами:

– Закон України від 02.09.2020 № 850-IX Про надання будівельної продукції на ринку;

– Наказ Мінрегіону від 27.10.2020 № 260 «Про затвердження Мінімальних вимог до енергетичної ефективності будівель»;

– ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель»;

– ДБН В.2.6-33:2018 «Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проектування»;

– ДБН В.2.6-162:2010 «Конструкції будинків і споруд. Кам’яні та армокам’яні конструкції. Основні положення. Зі Зміною № 1»;

– ДБН В.1.1-31:2013 «Захист територій, будинків і споруд від шуму»;

– ДСТУ Б В.2.6-195:2013 «Конструкції стін із блоків з ніздрюватого бетону автоклавного тверднення. Загальні технічні умови»;

– ДСТУ-Н Б В.2.6-202:2015 «Настанова з проектування та улаштування

конструкцій будівель із застосуванням виробів із ніздрюватого бетону автоклавного тверднення»;

– ДСТУ Б EN 771-4:2016 «Камені стінові. Частина 4. Вироби стінові з автоклавного газобетону. Технічні умови (EN 771-4:2011+A1:2015, IDT)»;

– ДСТУ 9184:2022 «Вироби стінові з ніздрюватого бетону. Технічні умови»;

– ДСТУ Б В.2.7-45:2010 «Бетони ніздрюваті. Загальні технічні умови»;

– ДСТУ Б EN 772-1:2016 «Методи випробувань стінових каменів. Частина 1. Визначення міцності при стиску (EN 772-1:2011+A1:2015, IDT)»;

– ДСТУ EN 772-11:2021 «Методи випробування стінових каменів. Частина 11. Визначення капілярного водопоглинання стінових виробів з бетону, автоклавного газобетону, штучного й природного каменю та початкової швидкості поглинання води керамічними стіновими виробами (EN 772-1

1 – ДСТУ Б EN 772-13:2013 «Методи випробувань стінових каменів. Частина 13. Визначення нетто і брутто середньої густини у сухому стані (крім 2 природного каменю) (EN 772-13:2000, IDT). Поправка № 1»;

0 – ДСТУ EN 772-16:2022 «Методи випробування стінових каменів. Частина 16. Визначення розмірів (EN 772-16:2011, IDT)»;

1 – ДСТУ EN 772-20:2021 «Методи випробування стінових каменів. Частина 20. Визначення площинності поверхонь стінових виробів (EN 772-20:2000; A1:2005, IDT)»;

І – ДСТУ EN 680:2021 «Визначення усадки автоклавного газобетону під Н

Т – ДСТУ Б В.2.7-164:2008 «Вироби з ніздрюватих бетонів теплоізоляційні. Технічні умови»;

– ДСТУ Б В.2.6-41:2008 «Конструкції будинків і споруд. Панелі з автоклавних ніздрюватих бетонів для зовнішніх стін будівель. Технічні умови»;

– ДСТУ Б В.2.6-2:2009 «Конструкції будинків і споруд. Вироби бетонні

х

і залізобетонні. Загальні технічні умови»;

– ДСТУ 9190:2022 «Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання»;

– ДСТУ 9191:2022 «Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель»;

– ДСТУ Б В.2.6-207:2015 «Розрахунок і конструювання кам`яних та армокам`яних конструкцій будівель та споруд»;

– ДСТУ-Н Б EN 1996-1-1:2010 «Єврокод 6. Проектування кам`яних конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила для армованих та неармованих к

а – ДСТУ Б В.2.6-36:2008 «Конструкції будинків і споруд. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням штукатурками. Загальні технічні умови»;

я – Оздоблення стін з автоклавного газобетону (посібник ВААГ для фахівців будівельної галузі, науковців та забудовників);

и – Посібник з проектування багатоповерхових будівель з автоклавного газобетону 2011;

– Посібник з проектування малоповерхових будівель з автоклавного газобетону (друга редакція 2015);

ө Посібник з проектування малоповерхових будівель з автоклавного газобетону (третя редакція 2017) та інші.

с Останні роки нормативну базу в будівельній галузі приводять у відповідність до міжнародних методів нормування і застосовують параметричні вимоги до об’єктів будівництва.

у Параметричний метод нормування у будівництві передбачає встановлення вимог до об’єкта нормування у будівництві, який визначає цілі та/або параметри безпеки, функціональності та якості об’єкта нормування у будівництві (критерії, вимоги до експлуатаційної характеристики та/або її показників). Його виникненню посприяли глобалізація економіки, стрімкий

(

розвиток технологій та збільшення кількості інноваційної продукції.

Цей метод є ієрархічним, заснованим на послідовності цілей і завдань (рис. 1.2).

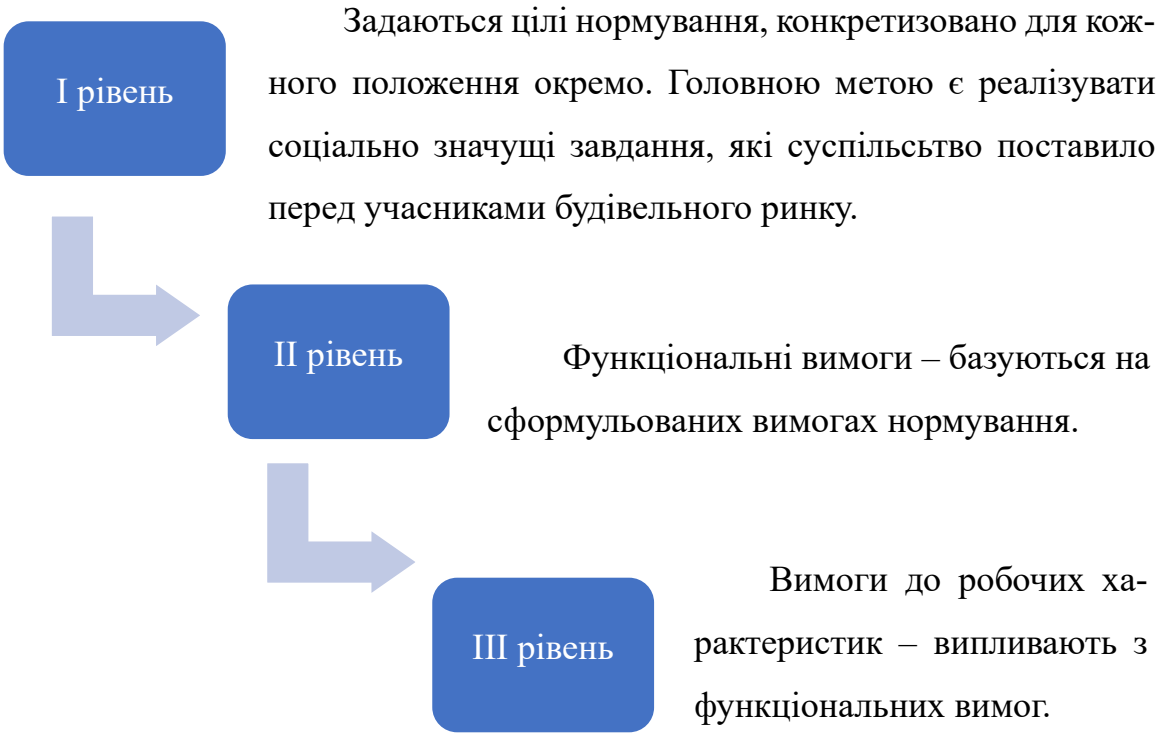


Рисунок 1.2 – Параметричний метод нормування

Сьогодні, система технічного регулювання зазнає значних змін, враховуючи мінливе політичне середовище та потреби стейкхолдерів, що в свою чергу підвищує гнучкість регулювання.

Україна прагне відповідати міжнародним стандартам у галузі будівництва, що відображено у ратифікації та імплементації міжнародних угод та нормативних актів, спрямованих на підвищення якості будівництва та безпеки споруд. Імплементація міжнародних стандартів на українському ринку сприяє встановленню більш зрозумілих і прозорих методів діяльності, що в кінцевому підсумку підвищує інвестиційну привабливість країни. Міжнародні стандарти розробляються міжнародними організаціями зі стандартизації для того, щоб усунути технічні бар’єри в торгівлі та визначити вимоги до товарів, послуг у відповідність до вимог міжнародних стандартів,

гарантують, що товари і послуги є безпечними, надійними і якісними.

ISO – Міжнародна організація з стандартизації. ISO оптимально використовує ресурси, надані зацікавленими сторонами, розроблюючи тільки ті стандарти, для яких існують чіткі вимоги ринку. Ця робота виконується експертами від промислово-технічного та бізнесового секторів. Міжнародні стандарти ISO сприяють торгівлі, поширюють знання та інноваційні досягнення в галузі технологій, а також допомагають раціонально використовувати природні ресурси та практику з оцінки відповідності.

22 березня 2022 року Кабінет Міністрів України ухвалив Постанову №347 «Про внесення змін до постанови Кабінету Міністрів України від 20 грудня 2006 р. N 1764», якою забезпечив низку змін у Технічний регламент будівельних виробів, будівель і споруд, в тому числі, змінивши його назву на Технічний регламент будівельних виробів (продукції) (надалі – «Технічний регламент»).

Відповідно до Постанови будівельні вироби (продукція) – це будь-який матеріал, виріб або комплект, що виробляється та вводиться в обіг для застосування за призначенням протягом тривалого часу в будівлі або споруді, показники яких впливають на показники будівлі або споруди, пов'язані з основними вимогами до них [6].

Встановлено, що на території України вільно надаються на ринку та застосовуються за призначенням будівельні вироби (продукція), що відповідають вимогам Технічного регламенту. Технічний регламент визначає основні вимоги до будівельних виробів (продукції) щодо безпеки експлуатації, механічного опору та стійкості, пожежної безпеки, економії енергії, забезпечення безпеки життя та здоров’я людини, захисту навколишнього природного середовища, а також процедури оцінки відповідності виробів встановленим вимогам та порядок їх застосування.

Водночас відповідність будівельних виробів (продукції) вимогам Технічного регламенту передбачається у разі їх відповідності стандартам з переліку національних стандартів або їх частинам. Крім того на період дії

воєнного стану діють спеціальні норми, що спрощують ввіз з країн ЄС та введення в обіг будівельних виробів (продукції) виробників, зокрема:

– до припинення або скасування воєнного стану в Україні та протягом наступних 90 календарних днів дозволяється введення в обіг та надання на ринку будівельних виробів (продукції), що ввозяться з держав-членів ЄС, на підставі декларації показників будівельних виробів (продукції), виданої іноземним суб'єктом господарювання мовою оригіналу (разом з копією такої декларації, складеною українською мовою), що підтверджує відповідність будівельних виробів (продукції) вимогам Регламенту (ЄС) 305/2011 Європейського Парламенту та Ради від 9 березня 2011 року. При цьому складення декларації про відповідність, а також нанесення знаку відповідності технічним регламентам не вимагаються;

– до припинення або скасування воєнного стану в Україні та протягом наступних 90 календарних днів у разі неможливості провести оцінку відповідності із застосуванням процедур, визначених цим Технічним регламентом, виробник за погодженням з Мінрегіоном може використовувати інші модулі оцінки відповідності, визначені постановою Кабінету Міністрів України від 13 січня 2016 р. № 95 "Про затвердження модулів оцінки відповідності, які використовуються для розроблення процедур оцінки відповідності, та правил використання модулів оцінки відповідності".

Постанова також визначає, що надання на ринку будівельних виробів (продукції), що були введені в обіг до дня набрання чинності цією постановою, не може бути заборонено чи обмежено з причин невідповідності таких будівельних виробів (продукції) усім або окремим вимогам Технічного регламент в редакції зі змінами, внесеними цією постановою.

Розробка документації з організації будівництва і виконання будівельно-монтажних робіт регламентується ДБН А.3.1-5:2016 Організація будівельного виробництва. Ці Норми встановлюють загальні вимоги до організації будівельного виробництва під час нового будівництва, реконструкції, капітального ремонту, технічного переоснащення будинків,

будівель, споруд будь-якого призначення, їх комплексів або частин, лінійних об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури.

Законодавство передбачає чіткі вимоги та стандарти для всіх учасників будівельного процесу з метою забезпечення безпеки, якості та ефективності будівельних робіт, що спрямовані на захист інтересів країни, у тому числі підвищення конкурентоспроможності підприємств будівельної галузі з метою забезпечення високої якості, безпеки об’єктів нерухомості та експортної орієнтації підприємств.

Контроль за дотриманням будівельних норм і правил здійснюють органи державного нагляду, а також органи місцевого самоврядування. У разі виявлення порушень чи недоліків в будівельній діяльності можуть застосовуватися різноманітні заходи впливу та відповідальності, включаючи штрафи, припинення будівельних робіт чи судові позови.

1.4 Роль та місце автоклавного газобетону на світовому ринку. Прогноз розвитку

Автоклавний газобетон як будівельний матеріал виробляється в промислових масштабах з початку 20 століття і наразі є популярним будівельним матеріалом в усьому світі для різних застосувань у житлових, комерційних і промислових проектах. В Сполучених Штатах Америки ніздрюватий бетон запровадили в 90-ті роки, і на сьогоднішній день багато проєктів, таких як будинки, готелі, університети, резиденції, промислові склади, комерційні торговельні центри та автомагістральні бар'єри по всій країні, використовують газобетон у своїх будівельних конструкціях.

Пандемія COVID-19 негативно вплинула на ринок. Будівельні роботи зупинилися в усьому світі, особливо в таких великих будівельних центрах, як Китай та Індія. Однак 2021 року в галузі відбулося відновлення, що призвело

до відновлення попиту на досліджуваному ринку. У короткостроковій перспективі зростання кількості проєктів будівництва та реконструкції в усьому світі є одним із чинників, що сприяють зростанню досліджуваного ринку.

Залежно від кінцевого споживача світовий ринок автоклавного газобетону поділяється на нежитловий, житловий та інші. Вважається, що житловий сегмент зростатиме найшвидшими темпами на світовому ринку автоклавного газобетону. Це пов'язано з потребою житлових будинків в екологічно чистих і легких будівельних матеріалах. Завдяки своїм винятковим якостям і довговічності будівельні матеріали з газобетону стали життєво важливим компонентом будівельного сектору.

Порівняно з Європою та Азією, частка ринку автоклавного газобетону в Сполучених Штатах все ще відносно невисока. Прагнення до екологічно безпечного будівництва (підтримуване, наприклад, сертифікацією LEED) автоматично створило зростаючий попит на екологічно чисту будівельну продукцію, а це, своєю чергою, відкриває шлях до прискореного прийняття газобетону в США.

Як підтвердила Національна асоціація житлових будівельників, яка визначила брак робочої сили як основну проблему 2022 року, кваліфікована робоча сила на сьогоднішній день у дефіциті, змушуючи девелоперів шукати альтернативні будівельні рішення, які потребують менше трудовитрат. Ця загроза будівельному ринку США, в поєднанні із загальним попитом на більш ефективні та рентабельні будівельні проєкти, викликає зростаючий інтерес до збірних конструкцій. Відповідно, панелі з автоклавного газобетону, в поєднанні з високою ізоляційною здатністю, відіграватимуть важливу роль у найближчому майбутньому.

Відповідно аналізу ринку автоклавного газобетону, проведеного Mordor Intelligence очікується, що обсяг ринку автоклавного газобетону зросте з 5,26 млрд доларів США у 2023 році до 7,05 млрд доларів США до 2028 року, за середньорічного темпу зростання 6,05% протягом прогнозованого періоду

(2023-2028 рр.). З іншого боку, вартість виробництва блоків автоклавного газобетону вища, ніж звичайних блоків із цементу або обпаленої глини, що може перешкоджати зростанню досліджуваного ринку. Однак очікується, що акцент на використанні вогнезахисних будівельних матеріалів надасть можливості для зростання ринку газобетону в майбутньому.

В свою чергу згідно з дослідницьким звітом, опублікованим Spherical 14,7 млрд доларів США 2021 року до 27,48 млрд доларів США до 2030 року, за середньорічного темпу зростання (CAGR) 7,2%.

Очікувалося, що попит на автоклавний газобетон зростатиме протягом зростання інвестицій і будівельної активності. Китай робить величезний внесок, оскільки за останні кілька років він був одним із провідних інвесторів в інфраструктуру в усьому світі.

Так, за даними Національного бюро статистики Китаю, у 2022 році обсяг виробництва будівельних робіт у Китаї становив 27,63 трлн юанів (4108,581 млрд доларів США), збільшившись на 6,6% порівняно з 2021 роком. Очікується, що зростання будівельної галузі в країні створить попит на ринок автоклавного газобетону.

Уряд Сполученого Королівства оголосив ініціативу з будівництва нових шкіл своїм головним пріоритетом. Очікується, що проекти реконструкції шкіл в Англії створять потенціал зростання ринку автоклавного газобетону.

Саудівська Аравія працює над багатьма комерційними проєктами, що, ймовірно, призведе до збільшення кількості комерційних будівель. Проєкт футуристичного мегаполісу Неом, Проєкт Червоного моря, який, як очікується, буде завершено до 2030 року, розташованого на 22 островах і 6 материкових ділянках (рис. 1.3). Qiddiya Entertainment City, Амаала (рис. 1.4), ультра-розкішне місце оздоровчого туризму, і курорт Шаран Жана Нувеля в Аль-Уле. Таким чином, планується, що майбутні інвестиції будівельної галузі створять підвищувальний попит на ринку автоклавного газобетону в країні.

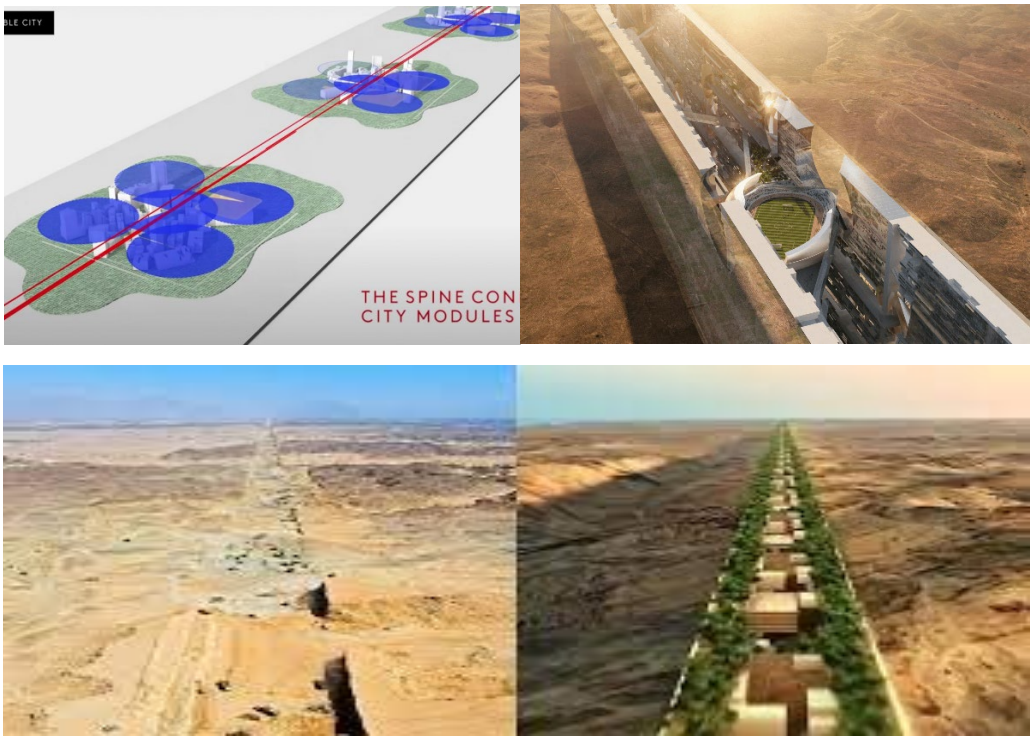


Рисунок 1.3 – «Лінійний мегаполіс» футуристичного мегаполісу Неом



Рисунок 1.4 – Qiddiya Entertainment City та Курорт Амаала

Очікується, що Азіатсько-Тихоокеанський регіон займатиме найбільшу частку світового ринку автоклавного газобетону (рис. 1.5). Це пов'язано з

кореляцією більш високої частки з розширенням ринків нерухомості Китаю та Індії, а також вибуховим зростанням міст. Протягом наступних десяти років китайський уряд має намір переселити 250 мільйонів осіб у нові мегаполіси, згідно з планами, представленими поряд із величезними будівельними проєктами. Національне бюро статистики Китаю повідомляє, що продажі та інвестиції на ринку житлової нерухомості Китаю швидко зростають. Найближчими роками попит на газобетонний газобетон, ймовірно, збільшиться у зв'язку з



Рисунок 1.5 – Світовий ринок автоклавного газобетону



Рисунок 1.6 – Діаграма 1 Види автоклавних газобетонних блоків в Україні



Рисунок 1.7 – Діаграма 2 Частка ринку автоклавного та неавтоклавного газобетону в Україні у 2022 рр., %

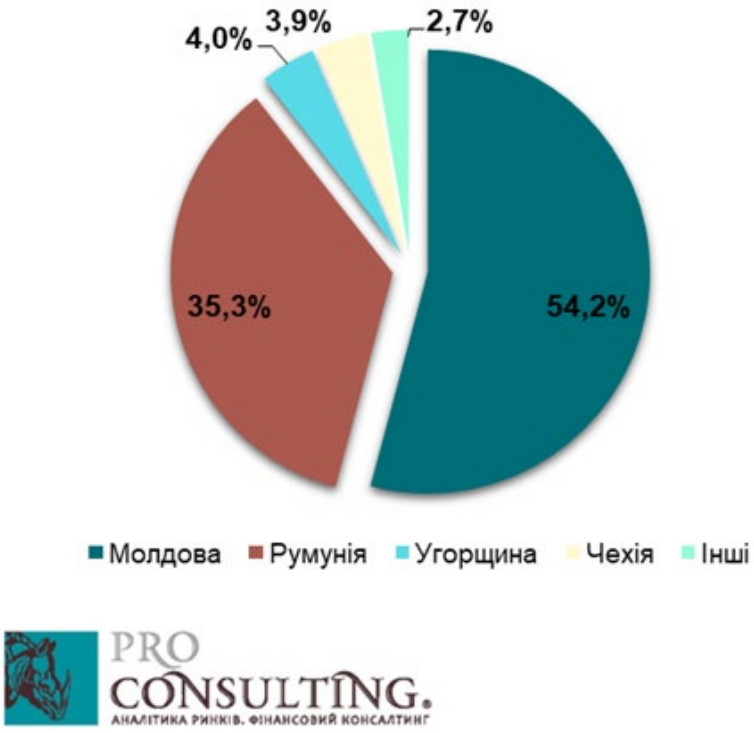


Рисунок 1.8 – Діаграма 3 Географія експорту газобетону з України, в натуральних показниках, %



Рисунок 1.9 – Діаграма 4 Географічна структура імпорту газобетону в Україну в 2022- 6 міс. 2023 рр., в натуральних показниках, тис $м^3$, %

Швидшими темпами на світовому ринку автоклавного газобетону розвивається Північна Америка, що пов'язано зі стійким зростанням ринку, що підживлюється сильною прихильністю регіону до стійких практик будівництва та збільшенням кількості виробничих підприємств. Крім того Всесвітня рада з екологічного будівництва (WGBC) стимулює ринок газобетону в Північній Америці за допомогою створення рад штатів у різних регіонах і допоміжних ініціатив уряду щодо сприяння розвитку екологічно чистих будівель.

Учасники ринку використовують різноманітні тактики для поліпшення своїх перспектив отримання доходів. Ринок газобетону розширюється частково завдяки зростаючим інвестиціям у технологічні досягнення підприємств-виробників газобетону. Основними постачальниками на світовому ринку автоклавного газобетону є H+H International, Hil Limited, XELLA International GmbH, JK Laxmi Cement Limited, Tarmac, ACICO, Quinn B

u

i

l

1.5 Перспективи розвитку автоклавного газобетону в Україні

d

i

n

Незважаючи на високі конструкційні та теплотехнічні якості автоклавного газобетону як будівельного матеріалу та широку практику його застосування у будівництві в розвинених країнах, в Україні існує ціла низка факторів, які гальмують його використання у масовому будівництві житла, особливо при зведенні малоповерхових будівель [13, 17].

По-перше, вузька номенклатура виробів, вироблених вітчизняними підприємствами, що включає, в основному, стінові блоки із щільністю D500 - 600 кг/м3 та теплоізоляційні плити із щільністю D400 кг/м^3. Сучасні тенденції будівництва як малоповерхових будівель, так і будівель середньої поверховості, а також висотних будівель із застосуванням різних конструктивних систем (з несучими та самонесучими стінами, каркасного типу, з улаштуванням бетонних поясів жорсткості, бетонних рамок тощо) вимагає значно розширити номенклатуру виробів із автоклавного газобетону. Вона повинна включати армовані стінові панелі та панелі перекриттів, різні несучі перемички брускового, аркового або профільного типу, теплоізоляційні плити із щільністю до 300 кг/м^3, сходові сходи та ряд інших фігурних виробів, що дозволить одночасно вирішувати питання архітектурної виразності будівель.

Широкому застосуванню автоклавного газобетону сприяє впровадження досягнень науково-технічного прогресу у будівельній галузі. Зокрема, при виробництві виробів використовується техніка точного різання, завдяки чому забезпечується висока точність розмірів виробів. Це дозволяє вести кладку виробів з використанням клейового розчину та виключити утворення «містків холоду» по розчинних швах. Обнадійливим чинником нині є поява технічної інформації як альбомів типових технічних рішень елементів будинків, типових проектів будівель різної поверховості (особливо малоповерхових індивідуальних будинків) і різних конструктивних систем, включаючи варіанти конструктивних рішень. При цьому відчувається нестача

технічної інформації за технологією зведення будівель та їх оздоблення, а також упакування, зберігання та транспортування виробів з автоклавного газобетону, організації робіт. Повільними темпами розвивається нормативна база.



Рисунок 1.10 – Світовий ринок автоклавного газобетону з України



Рисунок 1.11–Будівля з ненесучими стінами з автоклавного газобетону



Рисунок 1.12 –Спортивна споруда. Монолітно-каркасна залізобетонна конструкція з елементами кладки з автоклавнових газобетонних блоків. Національний стадіон у Варшаві (2010 р.)

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ВЛАСТИВОСТІ ТА ТЕХНОЛОГІЯ КЛАДКИ

СТІН З АВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНУ ДЛЯ ЗБЕРЕЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ БУДІВЕЛЬ

2.1 Базові характеристики автоклавних газобетонних блоків

Автоклавні газобетон більш гігроскопічний, з більш високою теплопровідністю і міцністю. Технологію виробництва автоклавного г

а 1. Підготовка сировини.

з Кварцовий пісок разом із гіпсовим каменем завантажується, дозується і розмелюється в млині до густини шламу приблизно 1,65 кг/л. Далі все це потрапляє в шламбасейн, де на основі відпрацьованої рецептури вміст дозується, зважується і знову перемішується в спеціальному змішувачі.

т Заміряється температура, яка регулюється додаванням заданого об'єму води, та щільність шламу.

н Потім вводиться дозована частина алюмінієвої суспензії і знову все у перемішується протягом 4-5 хвилин у високошвидкісному змішувачі. Залишки шламу і води видаляються для повторного їх використання.

м 2. Заливка суміші. Бетонну суміш заливають у спеціальні форми до певного рівня. Далі протягом протягом певного часу суміш спучується і набирає потрібного об'єму.

н 3. Зона дозрівання. Отриманий масив піддається витримці близько 2,5 годин для набору структурної міцності.

4. Кантування масиву. Після того, як бетон набере потрібної твердості, його розрізають.

о Залишки після чищення масиву відправляють у спеціальний шлам-канал для вторинного його використання.

д 5. Накопичення масивів. Наступним етапом йде збірка форм і

і

л

автоклавна обробка (рис. 2.1).

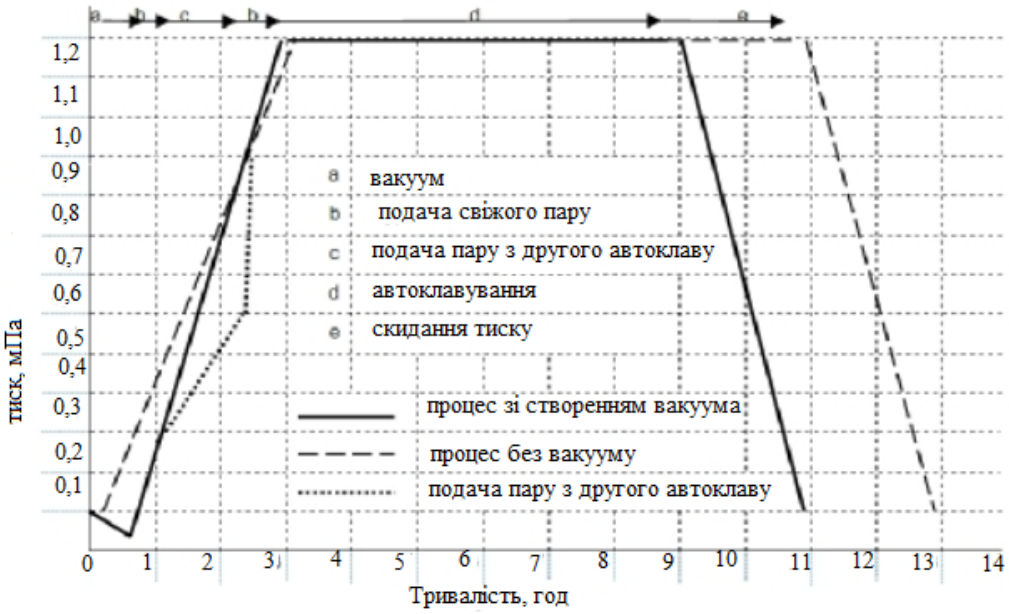


Рисунок 2.1 – Автоклавування газобетону

6. Автоклавна обробка. Витримують виріб протягом 12 годин в автоклаві.

Коефіцієнт теплопровідності автоклавного газобетону невеликий: близько 0,12...0,14 Вт/(м°С) залежно від умов експлуатації. Це дає змогу зводити однорідні стіни, не утеплюючи їх додатково. Зрозуміло, це сприяє здешевленню конструкції загалом.

Щільність газобетону позначається буквою D (рис. 2.2). Коефіцієнт щільності визначає вагу одного кубічного метра (в одному кубічному метрі марки D500 – 500 кг ваги):

а) D1000-1200 – конструкційний з щільністю в межах 1000-1200 кг/м^3;

б) D500-900 – конструктивно-теплоізоляційний для стін із щільністю 500-900 кг/м^3;

в) D150-D500 – для виконання теплоізоляційних робіт, параметри

г

у

с

т

и

н



Рисунок 2.2 – Порівняння зовнішнього вигляду автоклавний D600 та неавтоклавний D500 газоблок, вони відрізняються високим класом міцності – B3.5 і. B2.5

Кожен з видів газоблоків випускається в різних типорозмірах, що сприяє їх швидкій кладці. Найбільш використовуваними типорозмірами вважаються блоки 100 × 200 × 600 мм, 150 × 200 × 600 мм, 200 × 200 × 600 мм.

Зовні марки блоків відрізняються розміром пір. Чим марка вище, тим газобетон має більш дрібні пори. Максимальна густина, яку виробляють заводи на території України – D500.

2.2 Теплоізоляція будівель та термічний опір стін

Ніздрюватий бетон – найдоступніший в більш доступний у ціні, довговічний, вогнестійкий та екологічний матеріал. Він є найбільш ефективним для вирішення житлової проблеми.

За сферами використання розрізняють газобетонні блоки для:

1) будівництва несучих і самонесучих стін різних будівель (великої і малої поверховості). При цьому будівлі можуть бути промислового,

житлового, цивільного та сільськогосподарського характеру;

2) улаштування підпірних стін, підвальних стін та стін загального призначення нижче рівня землі, включаючи стінові конструкції для протипожежного захисту, та зовнішнього обличкування димарів (за виключенням виробів для футерування димових каналів) [10];

3) зведення внутрішніх стін та міжкімнатних перегородок;

4) спорудження каркасних стін;

5) заповнення монолітно-каркасних споруд;

6) улаштування звукоізоляції та теплоізоляції стін ранніше побудованих будинків.

Говорячи про теплозахист будівель, насамперед мають на увазі, що стіни повинні забезпечити достатній тепловий комфорт та зниження витрат енергії на опалення. З точки зору європейських стандартів такий комфорт досягається, коли навіть при значному зниженні температури зовнішнього повітря перепад температур між внутрішньою поверхнею зовнішньої стіни та внутрішнім повітрям буде не більшим за 2°С. Тепловий комфорт у приміщенні може забезпечити стіна з автоклавного газобетону завтовшки вже будівництві дачного будиночка, який експлуатується переважно влітку. При розрахунку стіни за умовами енергозбереження як розрахункова береться середня теплопровідність газобетонної кладки при експлуатаційній вологості (4 - 5 %). Капілярно-пориста структура газобетону дозволяє цьому матеріалу легко і швидко віддавати вологу в довкілля. Тому за один-два роки експлуатації будівлі в конструкціях, що захищають, встановлюється експлуатаційна (рівноважна) вологість. При будівництві будівель необхідно також враховувати теплоізоляцію зон сполучення з перекриттями та віконними укосами. При додатковому утепленні газобетонної стіни доцільніше застосовувати газобетонні вироби середньої марки за щільністю D600, оскільки основну функцію утеплення стіни візьме на себе утеплювач, його кріплення до стіни буде більш надійним і міцним.

Для теплоізоляції стін з газобетону прийнятні всі основні схеми теплоізоляції, але найкращі фасадні системи, так як зовнішнє утеплення дозволяє ізолювати потенційні містки холоду (колони, балки, плити перекриття). Виключення містків холоду по перекриттям і балконам досягається установкою додаткових блоків у стику плити перекриття, або зовнішнім утепленням стику при винесенні його на поверхню стіни. Крім того, важливим моментом для енергозбереження є сама кладка блоків. Шви у кладці між газобетонними блоками мають підвищену теплопровідність у порівнянні з газобетоном.

Термічний опір однорідної стіни прямо пропорційно товщині матеріалу конструкції і обернено пропорційно коефіцієнту теплопровідності. При цьому отримане значення не повинно бути нижчим за так званий наведений опір теплопередачі, який, у свою чергу, визначається з урахуванням середньої температури та тривалості опалювального періоду [20].

На території України виділено 2 температурні зони (рис. 2.3):

I зона – холодніша, до неї належить західні, східні, північні та центральні регіони нашої країни;

II зона – до її складу належать південні регіони та Закарпатська область.



Рисунок 2.3 – Температурні зони України

При товщині швів кладки 1 - 1,5 мм вплив розчинних прошарків на теплотехнічну однорідність стіни буде мінімальним, але вже при товщині швів 10 - 20 мм теплопровідність кладки зростає на 20 %.

На сьогодні при будівництві або реконструкції житлових будинків мінімально допустимі значення опору теплопередачі зовнішніх стін і внутрішніх стін між опалюваними і неопалюваним приміщеннями:

I зона – R_{min}= 4,0 м² К/Вт, II зона – R_{min} = 3,5 м² К/Вт.

Тобто, зовнішні одношарові стіни з автоклавного газобетону повинні мати ширину мінімум 375 мм для блоків густиною D300, 500 мм – для блоків густиною D400, 550 мм – для блоків D500, щоб забезпечити нормативний приведений опір теплопередачі для холоднішої I температурної зони. Водночас, згідно п. 5.6 ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель» при новому будівництві допускається зниження приведеного опору теплопередачі до рівня 80 % від R_{min} при умові дотримання інших показників енергетичної ефективності будівель (в першу чергу питомого енергоспоживання будівлі при опаленні та охолодженні) (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Допустимий приведений опір теплопередачі для різний зон при новому будівництві

Показник	Од.вим.	D300	D 00	D 00
Для I температурної зони				
Опір теплопередачі	$м^2$·К/Вт	8 0		
Ширина блоку	мм			
Для II температурної зони				
Опір теплопередачі	$м^2$·К/Вт	8 0		
Ширина блоку	мм			

Термічний опір багатошарової стіни залежить від товщини та коефіцієнта теплопровідності матеріалу кожного шару. Необхідно враховувати, що структура тришарової стіни неоднорідна, що утворюють її матеріали мають різні теплотехнічні та пароізоляційні властивості, тому в їх товщі може утворюватися конденсаційна волога, що призводить до зниження теплотехнічних характеристик стіни. Водяна пара, в результаті дифузії потрапляє в товщу конструкції, призведе до того, що утеплювач, як було сказано раніше, накопичуватиме вологу, відволожуватиметься і поступово втратить властиві йому теплоізолюючі властивості.

Потенційно така конструкція стін, враховуючи природну мінливість властивостей утеплювачів у період експлуатації, їх підвищену товщину та безліч кріплень, що знижують конструктивну та теплотехнічну однорідність стін, не є довговічною. Це означає, що теплозахисні властивості зовнішніх стінок поступово знижуються, а тепловтрати через них збільшуються. Таким чином, для тришарових конструкцій необхідно враховувати терміни їх експлуатації. Досвід застосування говорить про те, що найбільший термін найкращих утеплювачів не перевищує 10 – 15 років. Навіть за один сезон накопичення вологи в конструкції стіни може досягати 20%, а вологість волокнистих плит щільністю до 150 кг/м становить 8%.

Циклічні зміни температури за 15-річний термін експлуатації призводе до зниження міцності плит на 10 %, а теплоізоляційних якостей на 35%. Розроблені прогресивні утеплювачі (такі як екструзивний пінополістирол) мають термін експлуатації не більше 20 років. Для багатошарових стінових конструкцій, що піддаються періодичному зволоженню, існує ще один важливий момент – контакт металевих зв'язків та арматури з насиченим вологою утеплювачем. Корозія металу виникає при контакті з мінеральною ватою, оскільки конденсат, що в ній накопичився має кислотні та лужні властивості.

Внутрішні та зовнішні шари огороджуючої трьохшарової конструкції пов’язані між собою жорсткими або гнучкими зв’язками. Якщо в якості

трьохшарової конструкції використовують трьохшарові панелі, то необхідно врахувати, що при їх виробництві в щілини, утворені між плитами полістиролу (мінеральної вати) та в місцях розташування арматурних каркасів при віброущільненні панелей потрапляє щільна суміш. Ці фактори можна назвати «містками холоду» і вони можуть значно знизити термічний опір всієї огороджувальної конструкції. Знижений коефіцієнт теплотехнічної однорідності зумовлений наявністю теплопровідних включень у вигляді будівельних елементів з бетону чи інших матеріалів (залізобетонні плити перекриттів, віконні чи дверні перемички). Теоретичні дослідження показали, що зони, де плити перекриттів контактують з зовнішнім повітрям, викликають тепловтрату від стіни не менше 20 %, а в деяких системах можуть достигати

Крім того варто врахувати, що змінами № 1 ДБН В.2.6-162:2010 «Конструкції будинків і споруд. Кам’яні та армокам’яні конструкції. Основні положення», передбачено у тому числі для блоків з ніздрюватого бетону автоклавного тверднення мінімальну нормативну марку морозостійкості F50.

Особливості конструктивних рішень теплозахисту стін будівель на основі автоклавних газобетонних блоків

Використання автоклавних газобетонних блоків в моношаровому варіанті стіни здатне одночасно виконувати дві головні функції огороджувальних конструкцій – тепоізоляційну та несучу, що дозволяє з їх застосуванням проектувати та зводити теплоефективні зовнішні стіни житлових будинків у безкаркасному варіанті – до 3 поверхів, а у поєднанні з монолітним чи збірним каркасом – висотні.

В кліматичних умовах України, зовнішні стіни актуального діапазону середньої густини 400-600 кг/м^3 відповідають конструкційному матеріалу

класу міцності В1,5-В5 (марочна міцність М25-М75), дозволяють мати зовнішні стіни, що задовольняють несучу здатність та тепло відповідно до діючих норм при товщині 400-500 мм у мало-середньо поверховому та висотному каркасно-монолітному будівництві.

Фасад будівлі на основі автоклавних газобетонних блоків повинен мати гідрозахист. З урахуванням цього, можливі наступні рішення захисно-декоративних систем зовнішніх стін:

1) З тонкошаровою дво-трьохшаровою захисно-декоративною штукатуркою (рис. 3.1, а), що володіє необхідною паропроникністю, гідрофобністю, морозостійкістю, високою розтяжністю, адгезією до основи на рівні міцності газобетону на розтяг, довговічністю не нижче 50 років; штукатурка не повинна створювати паробар'єр по опору паропроникненню, який би перешкоджав осушенню стіни за річний цикл і приводив до наднормативного зволоження матеріалу стіни за місяці з негативними температурами зовнішнього повітря, рекомендується для стін із блоків із с

Захист у вигляді жорсткого облицювання в 1/2 цегли або у вигляді тонкого ребропресованого бетонного блоку (90 мм) з повітряним прошарком у 40-60 мм (рис. 3.1, б). В цьому випадку не потрібно штукатурки по зовнішній поверхні стіни з автоклавного газобетону, але облицювання повинно мати вентиляційні та дренажні отвори площею 75 см^2/20 м^2 стіни; облицювання на опорному залізобетонному столику повинне поєднуватися з так званим флашингом – водовідвідним фартухом з довговічних плівкових матеріалів. Вентиляційні отвори забезпечують осушення міжшарового простору та стіни в цілому, завдяки чому в кліматичних умовах України виконуються вимоги по температуро-вологісному режиму за річний цикл та період із негативними середньомісячними температурами зовнішнього повітря.

л

ь

н

і

с

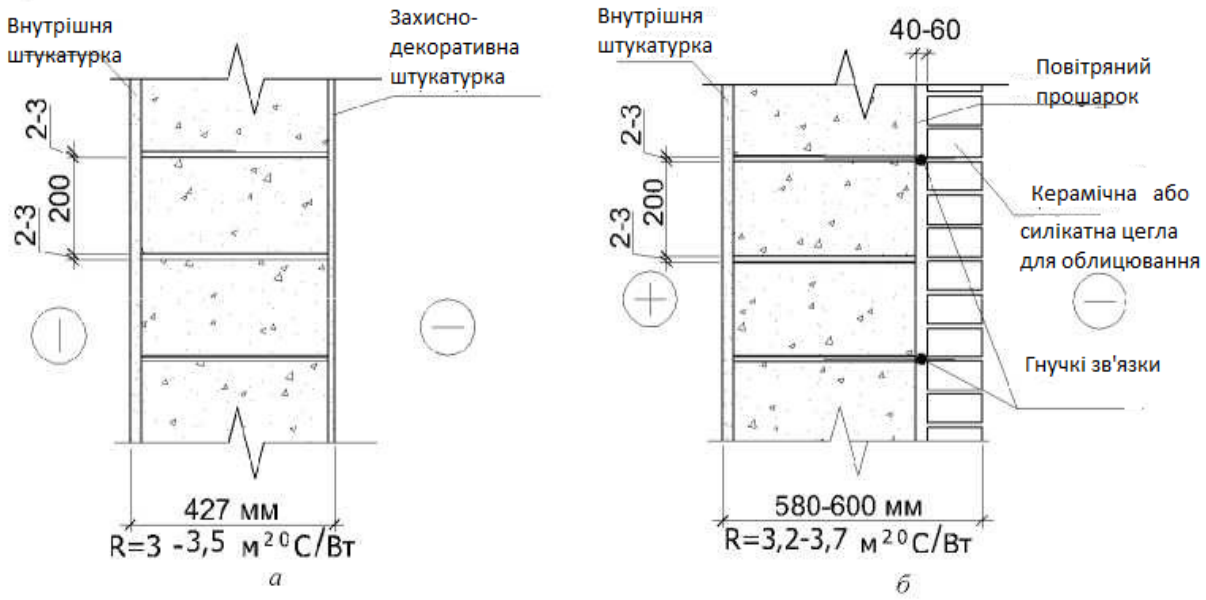


Рисунок 2.4 – Компонування зовнішніх стін житлових будинків на основі автоклавних газобетонних блоків

3) Захист у вигляді нанесеної гідрофобізуючої композиції (бренду Недоліком є те, що на фасаді залишаються сліди блокової кладки [14, 15, 20].

У всіх цих випадках ми говоримо про кладку на клею, що забезпечує максимальний коефіцієнт теплотехнічної однорідності r ≈ 1, в тому числі при використанні базальто-пластикових або склопластикових гнучких зв'язків для варіанту стіни з жорстким облицюванням.

Для розрахунку опору теплопередачі газобетонної стіни, як термічно однорідної конструкції здійснюється за формулою 2.1:

де $\alpha_в$= 8,7 (Вт/(м^2·К); $\alpha_з$= 23 (Вт/(м^2·К) – коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої і зовнішньої поверхонь огороджуючої конструкції;

$\delta_{кл}$ – товщина кладки з газобетонних блоків, м;

$\lambda_{бл}$ – теплопровідність матеріалу газобетонних блоків у розрахункових умовах експлуатації, Вт/(м^2·К);

r – коефіцієнт теплотехнічної однорідності, що визначає ступінь термічної однорідності кладки через наявність швів із клейового розчину. Для г

δ_i – товщина i-го шару зовнішньої стіни (конструктивного, оздоблювального, теплоізоляційного тощо), м;

λ_{pi} – теплопровідність матеріалу i-го шару зовнішньої конструкції в розрахункових умовах експлуатації, Вт/(м^2·К) [8].

Обґрунтування можливості застосування стіни товщиною 400 мм визначається сучасними актуальними коефіцієнтами теплопровідності λ для автоклавного газобетону, наданими ДСТУ Б В.2.6-195:2013 «Конструкції стін із блоків з ніздрюватого бетону автоклавного тверднення. Загальні технічні умови», прирівняним до рівноважної вологості 4 % для умов експлуатації А та 6 % - для Б (табл. 2.2). Ці рівні вологості пов’язані з темпом осушення стіни та нормалізації коефіцієнта теплопровідності за 1-2 роки.

Таблиця 2.2 – Розрахунки теплофізичних характеристик ніздрюватого бетону автоклавного тверднення

Марка бетону за середньою густиною	Теплопровідність в сухому стані, Вт/(м˙К)	Розрахунковий вміст вологи в умовах експлуатації, %		Теплопровідність в умовах експлуатації, Вт/(м˙К)	
		А	Б	А	Б
	λ_0	$w_А$	$w_Б$	$\lambda_А$	$\lambda_Б$
D300					
D350					
D400					
D500					
D					

Таким чином, розрахункові характеристики теплопровідності та розрахунковий опір кладок на клею на стиск для блоків густиною 400-600 кг/м^3

будуть такими, що представлені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Актуалізовані коефіцієнти та розрахунки опору теплопровідності для кладок блоків на клею

Густина, кг/м^3	Клас міцності на стиск В, МПа / марка по міцності М, кгс/см^2	Розрахунковий опір на стиск кладок на клею, МПа	Розрахунковий коефіцієнт теплопровідності кладок на клею, λ_A, Вт/(м°С)	Ширина зовнішньої стіни, мм
	В2,0-В2,5 / 30-35	0,8 – 1,0	0,12 – 0,13	
	В3,5 / 50	1,3 – 1,5		
	В5,0 / 75	1,7 – 1,9		

Тому, при середній густині блоків 400-500 кг/м^3 в проектуванні житлових будівель рекомендується товщина стіни не менше 400 мм.

Зведення зовнішніх стін будівель на основі автоклавних газобетонних блоків

Автоклавний газобетон за своїми фізико-технічними властивостями задовольняє сучасним вимогам, що пред'являються до стінових будівельних матеріалів, а за деякими показниками перевершує керамічний і силікатний цегла, але при цьому вимагає високої культури виконання будівельних робіт. Його теплофізичні переваги можуть бути не повністю використані або втрачені при неправильному виконанні будівельно-монтажних робіт.

Будівельні роботи з газобетонних блоків проходять у декілька етапів.

Для початку розробляється проєктно-кошторисна документація, проводиться організація будівельного майданчика, підведення комунікацій до

місця будівництва, забезпечується підготовка місця для зберігання будматеріалів. Усі ці роботи необхідно закінчити до початку будівництва.

На стадії проектування визначається товщина газобетонной стіни, оскільки від цього залежить яка кількість блоків потрібна для будівництва. Для розрахунку, якої товщини повинна бути стіна з автоклавного газобетону, потрібно взяти до уваги ряд факторів:

– кліматичні умови (кількість опадів, сила і напрям вітру, середньорічна температура. Дані беруться з довідників управління архітектури);

– товщина газобетонного блоку;

– передбачуваний вид зовнішньої обробки, а саме наявність (знижує втрати тепла) чи відсутність облицювання (збільшує втрати тепла та знижує експлуатаційну надійність);

– потужність опалення, яка коливається в залежності від регіону. Потужність визначається через показник «градусо-добу опалювального періоду» і для кожного регіону він вказаний в довіднику. Щоб отримати дані з довідника варто звертатися в управління архітектури та містобудування за місцем будівництва. У приватному будівництві цей показник визначається потужністю системи опалення будинку, зазначеної у проєктній документації;

– вид клейового складу. При використанні клею для газобетону (готова кладочна суміш) товщина шару дорівнює 2-3 мм, що окрім економії знижує втрати тепла. При використанні традиційного цементного розчину – втрати тепла збільшуються. Результати натурних обстежень показують, що при кладці стінових огорож з блоків зі швами товщиною 10 мм термічний опір стіни знижується на 20 %, а при товщині 20 мм - на 31-32 % порівняно з кладкою, виконаною на клейових складах;

– щільність газобетонного блоку (марка D300, 400, 500, 600, 700), яка визначає його теплопровідність. Наприклад, показник теплоємності для газобетону марки D600 (щільність при нормальній вологості 600 кг/м^3) становить - 0,14 м^2 °С/Вт.

Наступним етапом є закупівля і доставка на ділянку газобетонних

блоків. При перевезенні та зберіганні важливо захистити блоки від попадання вологи і механічних пошкоджень. Для цього під час перевезення матеріал має бути герметично упакований і закріплений стропами.

У будівлях із підлогою по ґрунту, окрім горизонтальної гідроізоляції поверх цоколя, необхідно виконувати вертикальну гідроізоляцію верхньої частини фундаменту. Гідроізоляція із зовнішньої сторони здійснюється на глибину не менше ніж 500 мм, із внутрішньої сторони – на товщину конструкцій підлоги включно із шаром бетонної основи.

Зазвичай, кладка стін із газобетонних блоків повинна повністю спиратися на фундамент. Дозволяється зміщення кладки назовні з напуском не більше 1/3 ширини блока. Це необхідно для опорядження цокольної частини фундаменту або влаштування утеплення.

На підготовлену основу укладаються блоки, що фіксуються спеціальним клеєм – це дає змогу уникнути виникнення «містків холоду». Контроль за якістю кладки ведеться з використанням рівня і шнура.

Для зведення несучих стін і перегородок застосовуються блоки різного розміру. Важливо дотримуватися правил перев'язки блоків і техніки сполучення стін.

Автоклавнові газобетонні стіни можуть бути зовнішніми або внутрішніми в залежності від функціонального призначення.

Зовнішні стіни малоповерхових будівель додатково до власної ваги, вітрових та сейсмічних навантажень сприймають також навантаження від ваги вище розташованих конструкцій (перекриттів, покриттів, технологічного обладнання тощо) і є несучими.

Внутрішні стіни в залежності від архітектурно-планувальних рішень приміщення та конструктивних рішень перекриттів чи покриттів можуть бути:

– несучими – з обпиранням на них плит перекриттів (покриттів);

– ненесучими – в якості перегородок для відокремлення кімнат, коридорів, ніш, холів тощо.

При розрахунку товщини стіни враховується показник опору

теплопередачі для матеріалу зовнішньої обробки. Наприклад, для гіпсової штукатурки він становить 0,4 Вт/(м°С), для цементної 0,58 Вт/(м°С). Опір теплопередачі, величина зворотна показнику теплоємності (табл. 2.4).

Таблиця 2.4 – Залежність теплового опору стіни з газобетону від товщини кладки

Товщина кладки, мм	Опір теплоємності, $м^2$ °С/Вт
	1,32 (при $\lambda_{90\%}$)

Зовнішні стіни малоповерхових будівель в залежності від конструктивних рішень влаштовують із газобетонних блоків за середньою густиною від D 300 до D 500 та класу за міцністю на стиск від С 1,5 до С 3,5.

Для улаштування зовнішніх стін застосовують одно- або двошарову кладку із газобетонних блоків (рис. 2.3).

Одношарову кладку зовнішніх стін із газобетонних блоків виконують з перев'язкою не менше ніж 80 мм при товщині блоків 200 мм і не менше ніж 100 мм при товщині блоків 250 мм.

При кладці стін в два блока різних розмірів перев'язка повинна бути не менше 100 мм. При кладці стін в два блока однакової товщини перев'язку виконують тичковими рядами. Як варіант, на (рис. 2.3 д) показана кладка стін із двох шарів, перев'язаних стрижневими або смуговими зв'язками, як кладка з гнучким з'єднанням шарів. Крім того, при опорядженні їх лицевою цеглою шар цегляної кладки повністю спирається на цоколь (зміщення дозволяється лише на величину, необхідну для оздоблення цоколя).

Під час зведення багатошарових зовнішніх стін з вентильованим повітряним прошарком необхідно передбачати відвід вологи в нижній частині

спирання газобетонних стін на цоколь. Частина цоколя вище ґрунту із зовнішнього боку фундаменту має бути захищена від зволоження облицюванням керамічною чи бетонною плиткою з низьким коефіцієнтом водопроникнення або плиткою з гірських порід.

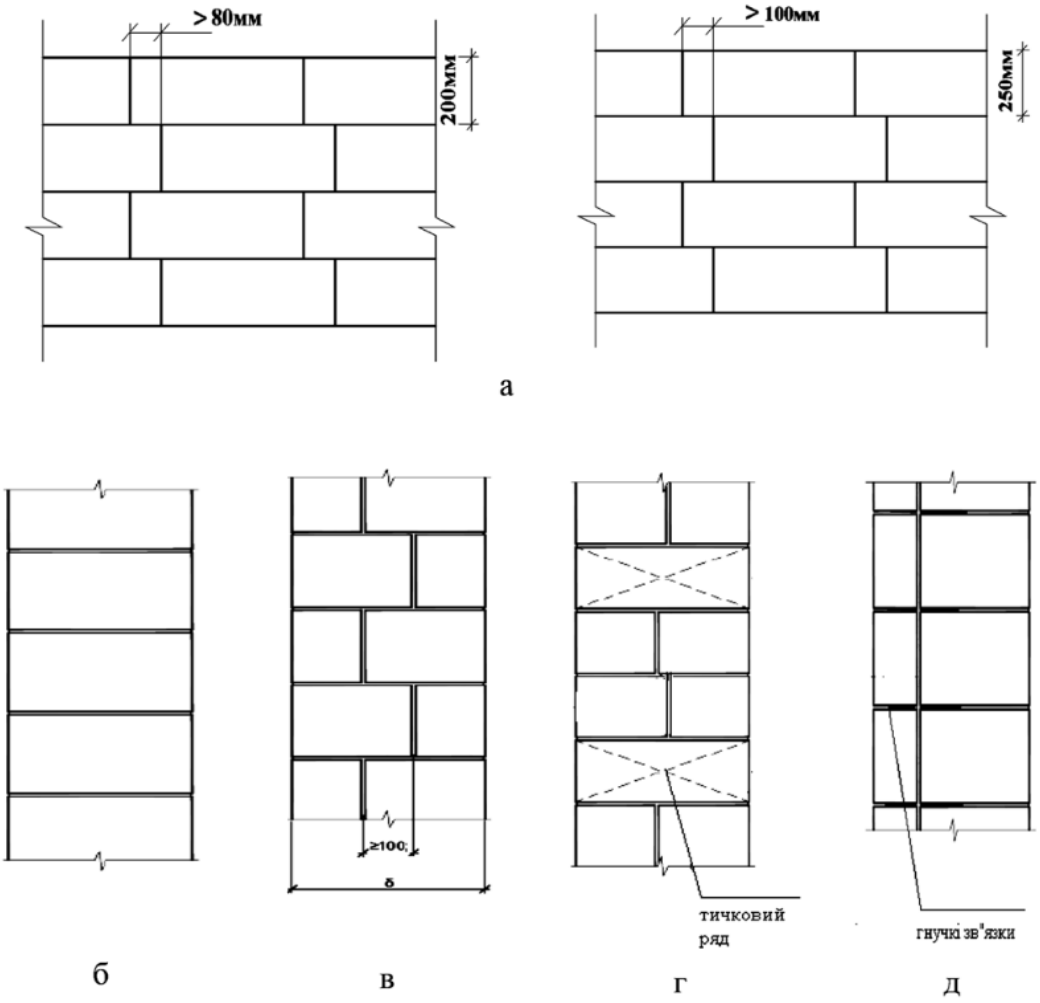


Рисунок 2.3 – Приклади кладки стін із автоклавнових газобетонних блоків
а – кладка стін одношарова з перев'язкою; б – кладка стін в один блок;
в – кладка стін у два блоки різної товщини; г – кладка стін з перев’язкою тичковими рядами; д – кладка стін у два блоки з перев’язкою гнучкими звязками

При будівництві в сейсмічних районах України для забезпечення просторової жорсткості стінових конструкцій із газобетонних блоків

здійснюють повздовжнє армування автоклавнової газобетонної кладки по всьому периметру окремими стрижнями діаметром не менше 8 мм зі сталі класу А 240 С із закладанням їх у пази, профрезеровані у блоках та заповнення їх розчином для зчеплення арматури з газобетонною кладкою [12].

Зовнішні автоклавнові газобетонні стіни повинні бути гідроізольовані від цокольної частини фундаменту влаштуванням горизонтальної гідроізоляції поверх цоколя під першим рядом газобетонних блоків.

Щоб у процесі експлуатації будинку не з'являлися тріщини, на кожні 3-4 ряди встановлюється армувальна сітка із полімерного матеріалу або металу (рис. 2.4).

Перекриття із автоклавних газобетонних плит і обв'язувальних поясів варто проєктувати з обпиранням по периметру на всі стіни. Також використовується більш класичний спосіб посилення міцності стін за допомогою сталевої арматури, яка встановлюється у спеціальні ніші, зроблені за допомогою штроборезу.

Деформаційні шви розташовують у зонах перепаду висоти або товщини стін, а також у точках сполучення газобетону з іншим матеріалом. Усередині шви обробляються герметиком, потім заповнюються ізоляційним матеріалом і зовні також фіксуються герметиком, стійким до атмосферних явищ [8, 10].

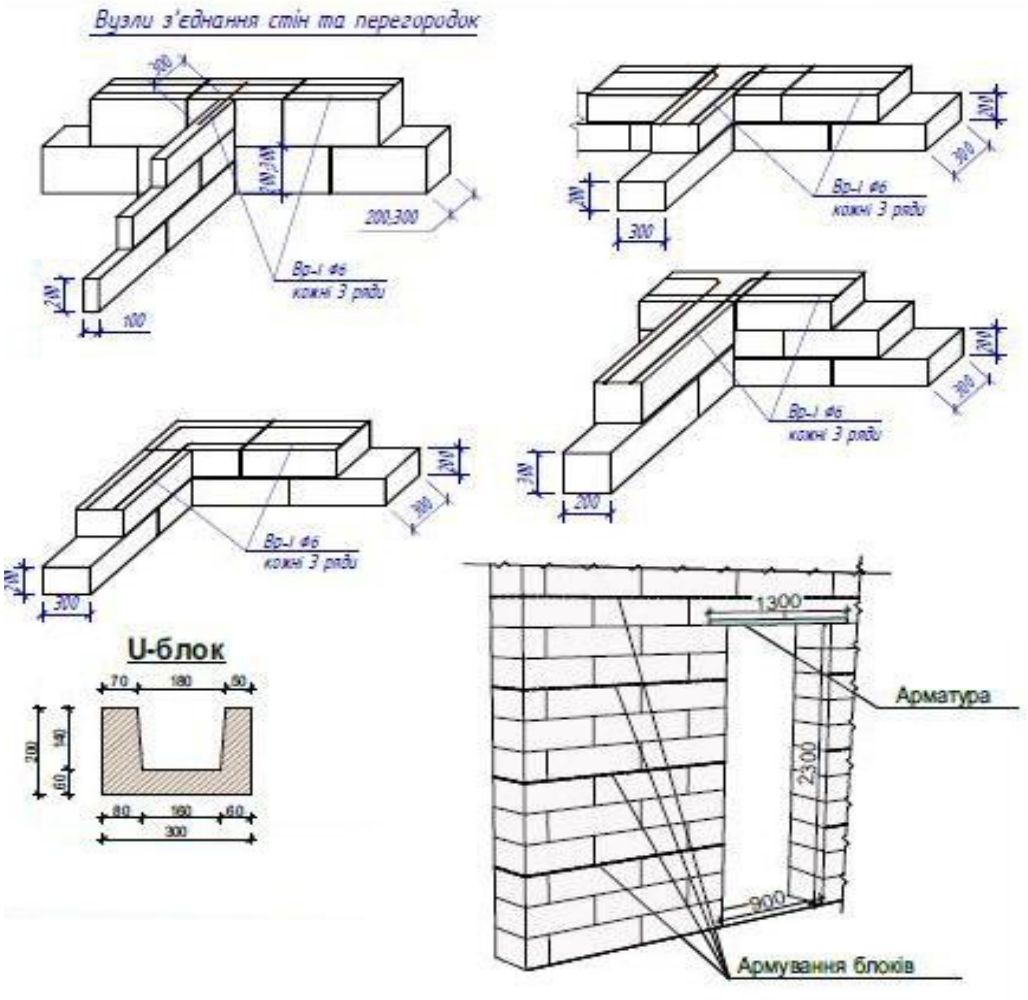


Рисунок 2.4 – Методика кладки стін з автоклавнових газобетонних блоків

Міжповерхові перекриття теж краще спирати на обв’язувальний армований пояс по периметру будівлі.

Для цього використовують покладену в штроби арматуру класу не менше А 400С діаметром від 8 мм до 10 мм у вигляді Г-подібних стрижнів.

Також обов’язковому армуванню підлягають підвіконні зони, дверні отвори тощо (рис. 2.5).

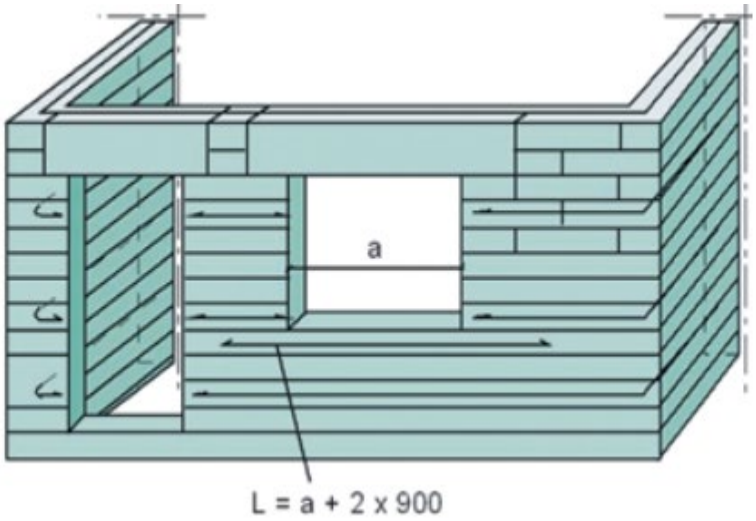


Рисунок 2.5 – Схеми армування автоклавнових газобетонних блоків

З часом в процесі експлуатації можуть з'явитися тріщини у стінах із газобетонних автоклавнових блоків.

Розрізняють декілька причин їх появи:

По-перше, неякісний будівельний матеріал. Виробники автоклавнового газобетону наполегливо рекомендують при обранні газобетонних блоків обирати автоклавного твердіння та віддавати перевагу матеріалу, який має на кожній одиниці упаковки детальну етикетку, паспорт якості на конкретну партію та сертифікати відповідності.

По-друге, недооцінка або, навпаки, переоцінка можливостей грунту загрожують серйозними деформаціями, що в свою чергу, і може привести до виникнення конструктивних тріщин у фундаменті, які передадуться на стіни з газобетону.

По-третє, температурно-усадочні тріщини в кладці можливі через річні коливання температури зовнішнього повітря і зміни вологості матеріалу стін.

3 ФАКТОРИ, ЩО ЧИНЯТЬ ДЕСТРУКТИВНИЙ ВПЛИВ НА СТІНИ З АВТОКЛАВНИХ ГАЗОБЕТОННИХ БЛОКІВ ТА МОЖЛИВІ РІШЕННЯ ЗБЕРЕЖЕННЯ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ

3.1 Експлуатаційна вологість автоклавних газобетонних блоків в зовнішніх стінах будівель

В процесі експлуатації будівель з автоклавних газобетонних блоків вологісний режим визначає експлуатаційні властивості огороджувальних конструкцій. Він безпосередньо впливає на їх теплозахисні властивості огороджувальних конструкцій та енергоефективність застосовуваних матеріалів.

Розрахунки вологісного режиму дають змогу розв'язувати різні задачі будівельної теплофізики. Стаціонарна методика оцінювання вологісного режиму дає змогу перевірити конструкцію за умовами неприпустимості накопичення вологи в ній за річний період експлуатації та обмеження вологи за період з негативними середніми місячними температурами зовнішнього повітря.

Розрахунки за нестаціонарними методиками дають змогу давати не тільки якісні оцінки вологісного стану огороджувальних конструкцій, але і конкретні кількісні результати щодо вологовмісту в шарах будівельних матеріалів. Основним результатом розрахунків вологісного режиму огороджувальних конструкцій за нестаціонарними методиками є розподіл вологості по товщині конструкції в будь-який момент часу після початку експлуатації будівлі. Із цього результату можна отримати відповіді на приватні завдання та визначити значення експлуатаційної вологості будівельних матеріалів.

Експлуатаційна вологість – це рівноважний вологовміст матеріалу в

огорожі відносно чинників вологи, що впливають на нього, внутрішніх і зовнішніх середовищ. Вологовміст у матеріалі конструкції стає рівноважним після кількох років експлуатації будівлі [7].

Термін виходу вологісного режиму конструкції на квазістаціонарний залежить від початкової (технологічної) вологості матеріалу, складу конструкції та кліматичних умов регіону будівництва. Результати натурних і чисельних досліджень показують, що для конструкцій із застосуванням газобетону цей термін становить від 1 до 5 років.

Основним способом визначення експлуатаційної вологості є натурні дослідження, оскільки за їхніми результатами можна встановити розподіл вологості для конкретної конструкції в конкретних умовах експлуатації. Однак результати натурних досліджень навіть для одного типу конструкцій в одних і тих самих експлуатаційних умовах можуть мати великий розкид. Саме за статистичними даними великої кількості натурних досліджень, а також за експертними оцінками було визначено значення розрахункової вологості в умовах експлуатації 8 і 12 % відповідно [7, 10, 18].

Враховуючи температурно-вологісні деформації, важливим є врахування температурного і вологісного стану саме поверхневих шарів кладки, що є обгрунтуванням для облицювання.

Сучасні естетичні норми вимагають від всіх штукатурних покриттів вимоги до мінімізації розкриття тріщин. Цілісність штукатурних покриттів в більшості залежить від якості штукатурної суміші, але пред'являються загальні вимоги: наприклад, розкриття зовнішніх тріщин не більше ніж на 0,2 мм.

Нормативні значення характеристики кладки газобетонних блоків автоклавного тверднення:

– д

е – коефіцієнт лінійного розширення – 0,000008 град.$^{-1}$;

ф – модуль пружності $E_0 = \alpha R_u = \alpha kR = (200…750) \times 2,25 \times$ (0,6…1,4) =

МПа (гнучка характеристика кладки α в залежності від міцності розчину

р

м

а

приймає значення від 200 до 750, розрахунковий опір на стиск R в залежності від класу бетону по міцності на стиск приймає значення від 0,6 до 1,4 МПа).

При оцінці амплітуди деформації поверхні доцільно використовувати значення усадки отримані під час висушення зразків до вологості 0-2 %.

Для визначення температурних деформацій, що враховуються при контролі виникнення наскрізних тріщин, використовують температури найбільш холодних/спекотних днів. Під час перевірки виникнення поверхневих тріщин максимальна температура поверхні приймається з урахуванням нагріву сонячним випромінюванням.

Температура повітря найбільш холодних діб -20°С, найбільш спекотних діб - 38°С, - розрахункові для визначення приведених до перерізу стіни умов температурний перепад $\Delta t = 58°C$. Розрахунковий для визначення поверхневих деформацій температурний перепад (із умови нагріву поверхні під дією сонячної радіації до 70°С) $\Delta t_2 = 100°C$.

Еквівалентна температура усадки кладки з автоклавного газобетону (при контролі наскрізних тріщин) складає $t_c = 30°C$. Еквівалентна температура усадки під час перевірки поверхневого тріщиновиникнення повинна оцінюватися виходячи з фактичного відношення середньої і максимальної усадки і складає:

$$\times 30 = 150°C.$$

Напруга в неармованій кладці під комплексною дією температур та усадки можуть досягати під час розрахунку на виникнення наскрізних тріщин:

$$\sigma = N/A = 0,5 \cdot E_0 \cdot \alpha \cdot \Delta t = 0,5 \cdot (270...2400) \cdot 10^6 \times 8 \cdot 10^{-6} \times (58+30) = 0,2...1,7 \text{ Мпа}$$

і при розрахунку на виникнення поверхневих тріщин:

$$\sigma = 0,5 \cdot (270...2400) \cdot 10^6 \times 8 \cdot 10^{-6} \times (100+150) = 0,6...4,8 \text{ МПа}.$$

При цьому тимчасовий опір кладки на стиск по перев'язаному перерізу складає:

$$R_t$$

Абсолютна величина температурно-вологісних деформацій кладки може досягати: $R_t = 2,25\times(0,02\ldots0,16) = 0,045\ldots0,36$ МПа.

- в середньому по перерізу кладки

$$\varepsilon = \alpha\times\Delta t+\varepsilon_{sh} = 8\times10^{-6}\times58+4\times10^{-4} = 0,9 \text{ мм/м}$$

– в поверхневих шарах

$$\varepsilon = \alpha\times\Delta t+\varepsilon_{sh} = 8\times10^{-6}\times250+20\times10^{-4} = 4 \text{ мм/м}.$$

Для порівняння – деформація кладки з керамічної цегли в тих самих умовах складає 0,3 і 1,5 мм/м, відповідно (розрахункові деформації кладки з силікатної цегли співпадають з деформаціями газобетонної кладки).

Для актуалізації даних щодо тепловологісних характеристик автоклавного газобетону було виконано низку досліджень. Найбільш значущими слід визнати отримані результати досліджень паропроникності та сорбції водяної пари, випробувано основні марки автоклавного газобетону сучасного виробництва. Також для зразків сучасного газобетону було апробовано методики й отримано результати досліджень капілярного всмоктування та вологопровідності.

Автоклавний газобетон займає середнє положення серед основних будівельних матеріалів за паропроникності. Паропроникність – це властивість матеріалу затримувати чи пропускати пар внаслідок різниці парціального тиску водяної пари за однакового атмосферного тиску [7].

Осереднені результати досліджень сорбції водяної пари зразками автоклавного газобетону основних марок наведено в табл. 3.1, а ізотерми

сорбції наведено на рис. 3.1.

Таблиця 3.1 – Сорбційна вологість автоклавного газобетону різної густини

Марка газобетону	Сорбційна вологість, %, за масою за температури 20±2 °С і відносній вологості повітря, %				
D300					
D400					
D500					
D600					



Рисунок 3.1 – Графік ізотерми сорбції зразків автоклавного газобетону

Отримані дані можна узагальнити висновком, що чим менша густина газобетону, тим більша сорбція. Це пояснюється більшою пористістю газобетону при зниженні густини.

Усереднені результати опору паропроникності та коефіцієнту паропроникності газобетону приведені в табл. 3.2. Ширина розглянутих зразків становила 25 мм.

Таблиця 3.2 – Показники паропроникності автоклавного газобетону

Марка газобетону	Середня густина ρ, кг/м^3	Опір паропроникненню $R_п$, м^2 год Па/мг	Паропроникність μ, мг/(м год Па)
D300			
D400			
D500			
D600			

Можна зробити висновок, що чим вище густина газобетону, тим більший опір паропроникнення, а відповідно нижчий і коефіцієнт паропроникності.

3.2 Фізико-хімічні фактори, що мають вплив на експлуатаційний стан та довговічність зовнішніх стін будівель на основі автоклавних газобетонних блоків

Досвід використання в будівництві блоків з автоклавного газобетону на основі вапняково-керамзитних чи змішаних в'яжучих відносно невеликий і не перевищує семидесяти років.

В умовах експлуатації будівель і споруд найбільш агресивним фактором, що впливає на довговічність огороджувальних конструкцій з автоклавних ніздрюватих бетонів, є вуглекислота повітря, концентрація якої у звичайній атмосфері становить близько 0,03 - 0,05%. У результаті впливу атмосферного вуглекислого газу на автоклавний ніздрюватий бетон – протікає процес його карбонізації. Під час карбонізації в бетоні відбувається розкладання наявного гідросилікатного кристалічного зросту на карбонат кальцію, з виділенням певного обсягу гелю кремнекислоти, що призводить до зміни хімічного і мінералогічного складу цементувального каменю, а також до

зміни вмісту його твердої фази та кристалічної частини.

Автоклавний газобетон у складі зовнішніх стін експлуатується в широкому діапазоні вологості, в умовах попеременного зволоження та висушування. За дії цього чинника в матеріалі виникають нерівномірні в об'ємі деформації набрякання-усадження, зумовлені реалізацією механізму сорбції-десорбції, а також напруг стягування водних менісків у капілярах, що призводить до розвитку внутрішніх напруг і локальних структурних ушкоджень, деструкції матеріалу. Вологостійкість матеріалу в даному випадку пов'язана з амплітудою циклу та кількістю циклів попеременного зволоження і висушування.

Структура автоклавного газобетону із середньою густиною 400-600 кг/м^3 має великий об'єм «резервної» пористості, що при зволоженні на рівні сорбційного в умовах дії попеременного промерзання-відтавання не призводить до розвитку внутрішньоструктурних напружень. Однак вразі накопичення вологи, вищого за сорбційне, у порах структури формуються водні меніски, відбувається часткове або повне заповнення пор водою, що за фазових перетворень рідкої порової вологи на лід з дев'ятивідсотковим збільшенням об'єму зумовлює розвиток внутрішньоструктурного тиску льоду і гідравлічний тиск ще не замерзлої води, захопленої льодом і твердою фазою стінок пор. цей механізм реалізується у вигляді багаторазових повторних впливів і також призводить до зниження міцності. Відповідно до розподілу температури за товщиною стіни розморожування поєднується з інтенсивним замочуванням зовнішньої стіни під час косого дощування, під час конденсації вологи в перехідні періоди («зима-весна», «осінь-зима») і локалізується в зовнішніх шарах стіни.

Оптимізація технології виробництва автоклавних стінових виробів ґрунтується, як правило, практично на єдиному критерії – максимальній міцності стосовно конкретної щільності. Відповідно до цього, проєктування складу вапняно-кремнеземистих або змішаних в'яжучих, що стосуються певної дисперсності (3000-5000 см^2/г), базується на мінімальному

співвідношенні C/S, з формуванням у циклі автоклавування низькоосновних гідросилікатів кальцію типу ксонотліту (C_6S_6H), тоберморіта ($C_5S_6H_6$) за умови повного зв'язування вапна. Така система, через високу пористість 75 – 85 % і попеpемінне зволоження-осушення, вразлива щодо повітростійкості через доступність структуроутворювальних фаз у вигляді гідросилікатів кальцію для вуглекислого газу повітря CO_2. Карбонізація ніздрюватого бетону атмосферною вуглекислотою протікає у багато разів швидше, ніж у щільних силікатних бетонах або на цементній основі. Швидкість карбонізації не зупиняється в поверхневих шарах стіни, як це відбувається у важких бетонів. Глибокому проникненню CO_2 у товщу стіни і порівняно високій швидкості протікання карбонізаційних процесів сприяє мережа наскрізних капілярів і макропор, характерних для ніздрюватих бетонів, пористість яких формується за рахунок газоутворювача [19, 20].

Карбонізація низькоосновних гідросилікатів кальцію, що переважають в автоклавному газобетоні, відбувається з перекристалізацією в карбонати кальцію під час виділення кремнекислот із втратою об'єму носія міцності – кристалічної фази.

Більш сприятливим для збереження міцності та забезпечення довговічності буде розтягнутий у часі двостадійний процес перекристалізації високоосновних гідросилікатів кальцію частково в низькоосновні гідросилікати і частково – в кальцит (перша стадія). Наявне при цьому непрогідратоване вапно також буде перекристалізовуватись в $CaCO_3$, при цьому об'єм носія міцності – кристалічної фази буде приростати.

На другій стадії перекристалізації низькоосновних гідросилікатів у карбонати також спостерігатиметься збільшення об'єму кристалічної фази. Це підтверджено результатами розрахунків в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Розрахунок об'ємних змін при карбонізації вапна та

гідросилікатних фаз

Реакції карбонізації	Вихідні кристалічні фази до карбонізації		Кристалічні продукти карбонізації				Коефіцієнт зміни об'єму кристалічної фази	Коефіцієнт зміни обсягу всієї твердої фази
			Кристалічні		Кремнієва кислота			
	Молекулярна маса m_x	Густина γ_x, г/см^3	Молекулярна маса m_y	Густина γ_y, г/см^3	Молекулярна маса m_y	Густина γ_y, г/см^3		
1 $Ca(OH)_2+CO_2 \Rightarrow CaCO_3+H_2O$								
2.1 (гілебрандит) => ($6CO_2 \Rightarrow 6H_2O$								
2.2(ксонотліт) + $6CaCO_3+6H_2O+6CO_2 \Rightarrow 12CaCO_3+6SiO_2+7H_2O$								
3.1 (фошагіт) => (ксонотліт) $2C_5S_3H_3+4CO_2 \Rightarrow C_6S_6H+4CaCO_3+5H_2O$								
(ксонотліт) $C_6S_6H+4CaCO_3+5H_2O+6CO_2 \Rightarrow 10CaCO_3+6SiO_2+6H_2O$								
(афвіліт) => (ксонотліт) $3C_3S_2H_3+3CO_2 \Rightarrow C_6S_6H+3CaCO_3+8H_2O$								
4.2 (ксонотліт) C S H+$3CaCO_3+8H_2O+6C$								

Продовження Таблиці 3.3 – Розрахунок об'ємних змін при карбонізації вапна та гідросилікатних фаз

(ксонотліт) $C_6S_6H+6CO_2 \Rightarrow 6CaCO_3+6SiO_2+H_2O$								
(ріверсайдіт) $C_5S_6H_3+5CO_2 \Rightarrow 5CaCO_3+6SiO_2+3H_2O$								
(тоберморит) $C_6S_5H_{5,5}+5CO_2 \Rightarrow 5CaCO_3+6SiO_2+5,5\ H_2O$								
(гідроліт) $C_2S_3H_{2,5}+2CO_2 \Rightarrow 2CaCO_3+3SiO_2+2,5H_2O$								

Наукові дослідження спрямовані, головним чином, на зростання коефіцієнта конструктивної якості газобетону. Результати досліджень щодо примусової карбонізації автоклавного газобетону, засвідчили зниження міцності ніздрюватих бетонів на вапняно-кремнеземистих в'яжучих, сформованих із низькоосновних гідросилікатів, відносно показників до карбонізації. Механізм зниження міцності газобетону за дії атмосферної вуглекислоти пов'язаний із пошкодженням структуроутворювального елемента – міжпорових перегородок.

Зниженню міцності ніздрюватого ніздрювато-бетонної стіни сприяє не лише вологісна і карбонізаційна усадка, але і градієнт вологості та карбонізації матеріалу за товщиною стіни, що зумовлює розвиток додаткових конструкційних напружень розтягування.

Таким чином, необхідною умовою повітростійкості автоклавного газобетону у вихідному стані є наявність у його структурі гідросилікатів підвищеної основності та вільного вапна.

Нормування міри повзучості дрібнозернистих автоклавних ніздрюватих

бетонів з урахуванням фактору карбонізації

Внаслідок карбонізації змінюються міцність та модуль пружності автоклавних ніздрюватих бетонів, що призводить до значних деформацій усадки та повзучості бетону [7, 10, 18].

Проектування огороджувальних конструкцій з автоклавних ніздрюватих бетонів, без урахування впливу фактору карбонізації на його повзучість, може призвести до зниження експлуатаційної надійності і, в ряді випадків, до недостатньої їхньої довговічності, а також до обмеження області їхнього раціонального застосування. У зв'язку з чим, вельми актуальним стає питання про внесення відповідних науково-обґрунтованих коригувань щодо врахування впливу фактору карбонізації в наявні методи прогнозування і нормування граничних деформацій повзучості автоклавних ніздрюватих бетонів.

Одним з можливих є нормувати характеристику повзучості автоклавних силікатних ніздрюватих бетонів за аналогічною формулою 3.1, як для важких бетонів:

φ

де: $\varphi^{c}(\infty)$ - значення граничної характеристики повзучості для умов, прийнятих за середні;

η_1 - поправочний коефіцієнт, що залежить від вологості середовища, в якому перебуває елемент (конструкція);

η_2 - коефіцієнт, що враховує масштабні чинники (розміри елемента);

η_3 - поправочний коефіцієнт, що залежить від віку бетону в момент його завантаження;

η_4 - коефіцієнт, що залежить від вологості ніздрюватого бетону;

η_5 - коефіцієнт, що враховує попеременне нагрівання і охолодження бетону.

∞

)

-

Як «середні» умови прийнято: відносна вологість повітря 30%; найменший розмір поперечного перерізу елемента 7х7 см; вік бетону в момент завантаження $\tau \leq 3$ діб. Для зазначених «середніх» умов коефіцієнти η, наведені у формулі, прийнято рівними одиниці.

Проте, прийняття характеристики повзучості як показник тривалої деформативності бетону під навантаженням може бути не зовсім вдалим, оскільки характеристика повзучості $\varphi(t, \tau)$ неприйнятна для порівняльної оцінки тривалої деформативності різних видів бетонів (наприклад, легких із важкими). Тому доцільним нормувати не характеристику, а міру повзучості бетону.

Велике практичне значення для розв'язання прикладних задач теорії повзучості в галузі дрібнозернистих автоклавних ніздрюватих бетонів має метод нормування і прогнозування граничної міри повзучості.

На основі аналізу експериментальних даних, щодо повзучості автоклавних ніздрюватих бетонів, найбільший вплив на їхню деформацію повзучості має його міцність. Виявлено, що криві міри повзучості $C(t - \tau)$ ніздрюватого бетону, незалежно від його міцності, є подібними за формулою

причому коефіцієнтом такої подібності є відношення $\frac{C_{R_1}(t-\tau)}{C_{R_1}(\infty)}$ їхніх граничних значень.

Ц

е

–

д

а По формулі (3.3) були визначені граничні значення міри повзучості

газобетону різної міцності.

Статистична обробка цих даних дозволила отримати рівняння

з ∞

м =

о

кореляційного зв'язку виду за формулою 3.4:

де: R_{bn} – нормативна призмова міцність ніздрюватого бетону.

Чисельні значення постійних a, n, *e*, що входять до цієї формули, наведено в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Чисельні значення постійних a, n, *e*, МПа$^{-1}$ для формули

Постійні у формулі	Вид бетону	
	газобетон	газосилікат
	.	.
	.	.
e		

Враховуючи зв'язок між R_{bn} і класом бетону за міцності на стиск (B), розглянемо нормативні значення граничної міри повзучості автоклавного газобетону і газосилікату всіх наявних класів (табл. 3.5).

Таблиця 3.5 – Нормативні значення граничної міри повзучості ніздрюватого бетону

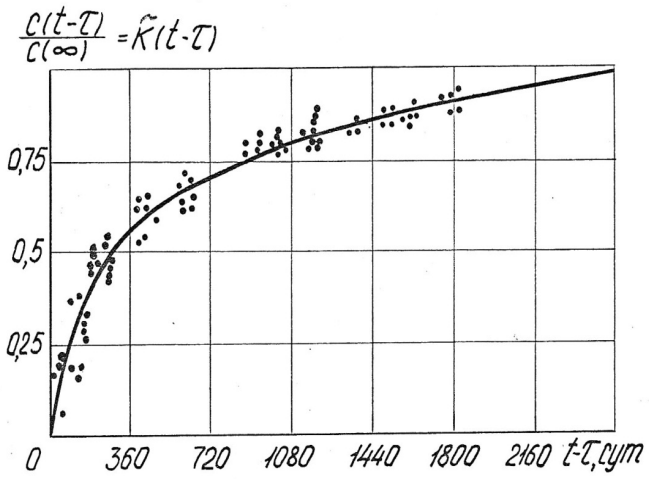
Вид ніздрюватого бетону	C						
	B1	B1,5	B2,5	B3,5	B5	B7,5	B10
Газобетон							
Газосилікат							

Приведеними в таблиці 3.5 нормативними значеннями граничної міри повзучості рекомендується користуватися при розрахунку тривалих деформацій конструкцій з ніздрюватого бетону, а також для визначення його характеристик повзучості та коефіцієнтів релаксації напружень.

Тому внаслідок карбонізації автоклавного ніздрюватого бетону під впливом вуглекислого газу, істотно підвищується його повзучість.

Проаналізувавши приведені вище дані, отримані нами для автоклавного газобетону класу В2,5 і В3,5, на предмет дотримання принципу подібності кривих мір повзучості, визначено, що цього принципу дотримуються не тільки для некарбонізованих, а й для карбонізованих газобетонів різних класів за міцністю.

Міра повзучості некарбонізованого газобетону густиною 600 кг/м^3 класу В2,5 і 700 кг/м^3 класу В3,5 за рівня напруги, що дорівнює 0,3R_b с т а н о в и т ь ,



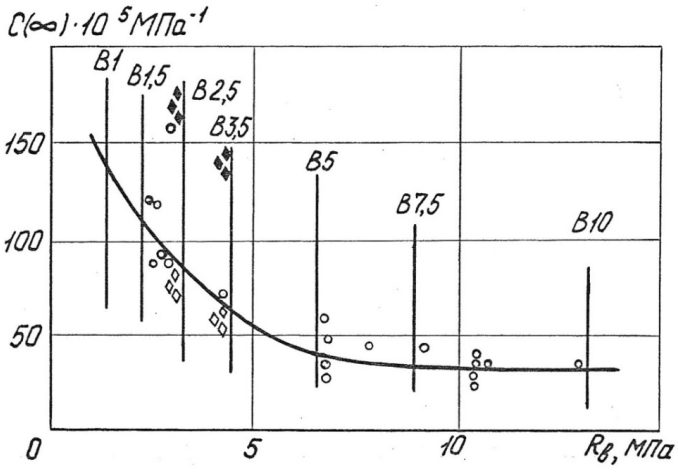
з а

Рисунок 3.2 – Статистична середня крива $R(t-\tau)$

т Граничні значення міри повзучості газобетону класу В2,5, некарбонізованого та карбонізованого 10%-им вуглекислим газом, вирахувані и в а Згідно з експериментальними даними, отриманими нами під час розроблення методики з визначення деформацій повзучості ніздрюватих бетонів з урахуванням фактору карбонізації, міра повзучості газобетону при р т и .

дії атмосферної вуглекислоти для зразків 10×10×40 см становить 0,45 від міри повзучості під впливом 10%-го вуглекислого газу. Це дає змогу, визначивши граничне значення міри повзучості карбонізованого 10%-им CO_2 газобетону класу В2,5 і В3,5, перейти до граничних значень міри повзучості цих же бетонів з урахуванням впливу на них вуглекислоти атмосферної концентрації.

Використовуючи ці результати, нами було визначено граничні значення міри повзучості газобетону класу В2,5 і В3,5 з урахуванням фактору карбонізації від дії атмосферної вуглекислоти, які вийшли, відповідно, р і в н и м и і .



МПа$^{-1}$. Порівняння ...сті газобетону класу В2,5 і В3,5 з у...нізації бетону атмосферною вугле...ває, що дані про граничні мі...етону добре узгоджуються зі статистичною кривою.

Рисунок 3.5 – Результати статистичної обробки даних про граничну міру повзучості для газобетону

Водночас граничні значення міри повзучості газобетону цих же класів, але з урахуванням його карбонізації атмосферною вуглекислотою ж класів, але з урахуванням його карбонізації атмосферною вуглекислотою, перевищують нормативні значення граничної міри повзучості некарбонізованого газобетону класу В2,5 і В3,5 (табл. 3.5) відповідно в 1,94 і 2,14 рази.

Таким чином, для нормування граничної міри повзучості

дрібнозернистих автоклавних ніздрюватих бетонів, з урахуванням їхньої карбонізації від дії атмосферної вуглекислоти, стає можливим користуватися формулою (3.4), шляхом множення її правої частини на поправочний коефіцієнт k, що враховує вплив природної карбонізації ніздрюватого бетону в експлуатаційних умовах за формулою 3.5:

$$Ca\infty = k(a + n \cdot e - \xi R_{bn}), \qquad (3.5)$$

де: k = 2 – корегуючний коефіцієнт, що враховує вплив природної карбонізації на повзучість ніздрюватого бетону;

R_{bn} - нормативна призмова міцність некарбонізованого ніздрюватого бетону.

Пропонована формула (3.5) дає можливість врахувати вплив карбонізації автоклавного ніздрюватого бетону на його повзучість під час розрахунку напружено-деформованого стану ніздрюватобетонних огороджувальних конструкцій, і тим самим істотно підвищити їхню експлуатаційну надійність та довговічність.

Системи захисту від дії факторів, що чинять деструктивний вплив на стіни з автоклавного газобетону

Зберегти переважні характеристики автоклавного газобетону можливо за умови оздоблення за допомогою підходящої внутрішньої і зовнішньої спеціальних штукатурок або інших відповідних вимогам варіантів. Для того щоб вода безперешкодно виходила зі стін, зовнішнє оздоблення повинно бути виконане з паропроникних матеріалів.

Післяавтоклавна вологість газобетону становить від 25 до 40% від сухої маси бетону. Додаткове зволоження кладки може відбуватися в процесі будівництва – волога привноситься дощами і мокрими будівельними

процесами.

В ідеалі після завершення основних будівельних робіт має пройти 6 місяців, щоб основна частина вологи вивітрилася. Після закінчення зазначеного часу виконується спочатку внутрішнє, потім зовнішнє оздоблення будинку. Дозволяється проводити облицювальні роботи зовні раніше, ніж зсередини, якщо обшивка стін буде проводитися за технологією вентильованого фасаду. Коли зовнішнє оздоблення газобетонного будинку проводиться раніше, внутрішні роботи найкраще виконувати поза опалювальним сезоном, щоб зайва волога не вбиралася в стінові блоки. Через рік після закінчення будівництва послідовність виконання обробки стін не має значення.

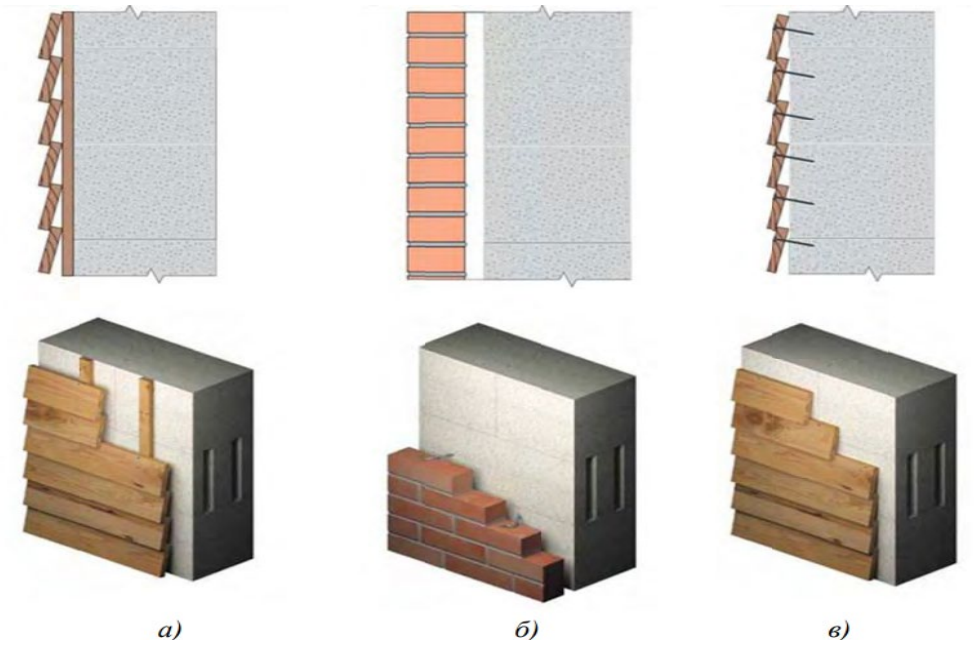
Усі види оздоблення можна розділити на три групи:

– облицювання на віднесенні;

– суцільні пов'язані з кладкою шари (штукатурки, шпаклівки, просочення);

– пов'язані облицювання (приклеювані вироби з кераміки та каменю, плитка, гідроізоляція, що приклеюється і наплавляється).

Зовнішня обробка стін, що являє собою шар, відокремлений від основної конструкції повітряним прошарком – один з найкращих видів обробки. Механізм технології облицювання на віднесенні показано на рис. 3.4.



а) *б)* *в)*

Рисунок 3.4 – Облицювання на віднесенні: а) кріплення облицювальних виробів до направляючих; б) кладка з штучних матеріалів; в) механічне кріплення безпосередньо до кладки

Безпосереднє кріплення облицювальних елементів до стіни – це окремий випадок облицювання на віднесенні (з «нульовою» товщиною напрямних).

Лицьова кладка – традиційно один із найпоширеніших способів зовнішнього оздоблення газобетонних стін. Залежно від регіону будівництва і від поточної моди переваги віддаються лицьовій керамічній або силікатній цеглі, бетонним каменям.

Розташований на віднесенні шар облицювання приймає на себе вплив сонця, дощів та абразивну дію пилу. Стіна піддається впливу лише температури і вологості повітря та змінам повітряного і атмосферного тиску. За облицюванням виключається пересушення поверхні газобетону та його зволоження до надсорбційних значень.

Оздоблювальні покриття, що наносяться на ніздрюватий бетон мокрим способом (штукатурка, шпаклівки просочення), найбільш універсальні, але в той же час найбільш вимогливі до характеристик застосовуваних матеріалі в.

Саме штукатурні та фарбувальні склади, якщо їх підібрати без урахування нормативних вимог можуть стати причиною повільного висихання кладки або навіть зимового вологонакопичення, що перевищує річне випаровування. Водночас саме суцільні адгезійно-пов'язані з бетоном покриття дають змогу використовувати кладку (без облицювання) в умовах інтенсивного зволоження, а також гарантовано забезпечують низьку повітропроникність стіни.

Зв'язані облицювання – це керамічні та бетонні плитки і плити з каменю, що наклеюються на стіну, тобто вироби з низькою паропроникністю. Вони найменш використовувані в наш час.

При облицюванні керамічною, клінкерною, гранітною і мармуровою

плиткою необхідно забезпечити вихід вологи через шви. Їх площа має становити не менше 25% площі стін.

У сучасній практиці зустрічається місцеве оздоблення кладки керамічною плиткою, плитами натурального і штучного каменю. Окремий випадок пов'язаного облицювання – облицювальна кладка в півцеглини без повітряного зазору.

Одним із можливих варіантів захисту зовнішньої стіни на основі автоклавних газобетонних блоків від дії названих вище негативних факторів може вирішити гідрозахисна штукатурна система, що поєднує також декоративну функцію, тобто декоративно-захисна система.

Така система повинна мати гідрофобність, що забезпечує блокування надходження вологи під час косого дощування, конденсатної вологи, що локалізується на поверхні стіни в перехідні періоди. Адгезія системи до автоклавного газобетону має бути на рівні міцності газобетону на розтягнення, тобто приблизно 1,5 R_{btn} (R_{btn} – нормативний опір ніздрюватого бетону на розтягнення). Для бетонів з середньою густиною цей показник відповідає діапазону характеристик адгезії 1,5 – 3,5 МПа. Елементи захисної системи повинні мати мінімальну усадку, підвищену розтяжність та морозостійкість. Матеріали захисної системи мають бути паропроникними, щоб забезпечити захист стіни від перезволоження за двома критеріями: за умови неприпустимості накопичення вологи в огороджувальній конструкції за річний період і за умови обмеження вологи за період з негативними середньомісячними температурами зовнішнього повітря $ДW_{ax}$. Ці умови повинні узгоджуватися з високим коефіцієнтом паропроникності високопористого газобетону (μ= 0,23-0,17 мг/(м-год-Па) для ніздрюватих бетонів із середньою густиною 400-600 кг/м^3) та низьким опором поропроникненню стіни (для товщини стіни 400 мм R_{op} = 1,8-2,4 м^2 год Па/мг).

В умовах II температурної зони в системі теплоефективних стін із фасадної теплоізоляції на основі автоклавних газобетонних блоків, випробувано декоративно-захисна система «Бауміт» («Baumit»). Її

характеристики наведено в табл. 1.1. Результати розрахунку вологонакопичення стіна на основі автоклавних газобетонних блоків завтовшки 400 мм наведено в табл. 3.6. Розрахунки показують, що за критеріями вологонакопичення стіни в робочому діапазоні середніх густин 400-600 кг/м^3 відповідають вимогам.

Таблиця 3.6 – Характеристики паропроникності та опору паропроникненню елементів декоративно-зовнішньої системи «Baumit»

	Елемент декоративно-зовнішньої системи	Товщина, мм	Коефіцієнт паропроникності ц, мг/(м-год-Па)	Опір паропроникнення R
1а	Кварцова грунтовка U			
	Клей KNAUF			
	Декоративна штукатурка (Baumit			
Опір паропроникненню декоративно-захисної системи за варіантом 1а+2 - 0,107 м^2 Па/мг; за варіантом 16+2 - 0,190 м^2 Па/мг.				

На рисунку 3.5 показано багатоповерховий житловий каркасно-монолітний будинок в м. Харків, 2017 року будівництва, зі стінами-заповнювачами 400 мм завтовшки з автоклавних газобетонних блоків з середньою густиною 500 кг/м^3. Будинок оброблено фасадною декоративно-захисною системою «Baumit». Після шести років експлуатації захисна система не показала будь-яких пошкоджень, а стіна довела свою повноцінність за теплозахистом, температурно-вологісним режимом приміщень і станом внутрішньої поверхні стін.



Рисунок 3.5 – Багатоповерховий каркасно-монолітний будинок м. Харків

Дані розрахунку вологонакопичення за період з від'ємними середньомісячними температурами зовнішнього повітря (листопад-березень) для зовнішніх стін на основі автоклавних газобетонних блоків у поєднанні з декоративно-захисною системою «Baumit» подано в таблиці 3.7.

Стіна: внутрішня цементно-піщана штукатурка (20 мм) + стіна товщиною 400 мм + фасадна декоративно-захисна система «Baumit» (Baumit

Таблиця 3.7 – Розрахунок вологонакопичення стін

Параметр, що визначається	Характеристики зовнішніх стін товщиною 400 мм з автоклавних газобетонних блоків різної середньої густини, кг/м^3		
Загальна товщина стіни, м			
R			

($м^2$ год Па)/мг			
А			

Підсумовуючи, автоклавнова газобетонна кладка повинна мати можливість безперешкодного висихання. Оздоблювальні покриття повинні підбиратися з урахуванням цієї вимоги. Друге за значимістю завдання оздоблювальних покриттів – запобігати вторинному зволоженню кладки. Для забезпечення довговічності покриття штукатурка повинна мати низький модуль пружності. При її нанесенні має бути забезпечена однорідність основи.

До штукатурок, призначених для зовнішнього оздоблення стін з ніздрюватих бетонів опалювальних будівель, пред'являються дві основні вимоги. По-перше, вимога загальна – механічна міцність штукатурок повинна бути нижчою за міцність основи. Дотримання цієї вимоги запобігає виникненню напружень на межі штукатурка/основа.

По-друге, вимога специфічна саме для оздоблення газобетонної кладки. Оздоблювальний шар має пропускати вологу, бути паропроникним і забезпечувати оптимальний режим висушування стіни.

Як бачимо, облицювання фасаду є обов'язковою процедурою, адже без нього газобетон втратить усі свої переваги перед іншими будівельними матеріалами і почне поступово руйнуватися під впливом погодних умов.

ВИСНОВОК

Стіна з автоклавнових газобетонних блоків є технологічним варіантом зовнішньої теплоефективної стіни. Одношарова стіна з автоклавного газобетону марки за середньою щільністю D600 є оптимальним конструктивним рішенням суперечливої проблеми підвищення теплозахисних властивостей та довговічності конструкцій, що захищають. При оцінці конкурентоспроможності стінових будівельних матеріалів у сучасних умовах необхідно враховувати стрімке збільшення вартості матеріалів, зокрема цементу, енергоносіїв, подорожчання транспортних витрат, а також появу орієнтації на малоповерхове та котеджне будівництво. Усі ці тенденції роблять якісний газобетон унікальним рішенням для будівництва.

Слід зазначити, що попри появу в Україні нових сучасних заводів з виробництва автоклавного газобетону та безперечної переваги останнього як стінового матеріалу ми лише придивляємось до цього економічно вигідного матеріалу. Тим часом інші країни вже давно успішно придивилося до нього і активно впроваджує його в будівництві. Економія та екологічна чистота – визначальні фактори при виборі будматеріалу.

Задля забезпечення довговічності зовнішніх стін будівель необхідно дотримуватися ряду правил на всіх стадіях зведення. Для зовнішньої обробки стін не рекомендується використовувати повітронепроникні матеріали, фарби та штукатурки. Краще підійдуть спеціальні штукатурні суміші для газобетона, облицювальна цегла, а також вентильовані фасади. В свою чергу до внутрішнього оздоблення рекомендується приступати через півроку, щоб основна частина вологи вивітрилася. Матеріали для оздоблення можуть бути будь-якими. Під час оздоблення стін деревом або панелями, необхідно залишати вентильований зазор.

Існує ряд факторів, що можуть чинити деструктивний вплив на стіни з автоклавного газобетону. До фізичних можна віднести – коливання

температури матеріалу (під дією сонячного випромінювання, перепадів температури повітря); коливання вологості (від зволоження опадами/висушування вітром і сонцем); заморожування і відтавання (замерзання рідкої вологи в порах матеріалу). До хімічних факторів відносять карбонізацію.

В роботі було визначено, що найбільш агресивним фактором, що впливає на довговічність огороджувальних конструкцій з автоклавних ніздрюватих бетонів, є вуглекислота повітря, яка в результаті впливу атмосферного вуглекислого газу призводять до карбонізації газобетону, що в свою чергу збільшує його повзучість. Зниженню міцності ніздрювато-бетонної стіни сприяє також і градієнт вологості та карбонізації матеріалу за товщиною стіни, що зумовлює розвиток додаткових конструкційних напружень розтягування.

Таким чином, необхідною умовою повітростійкості автоклавного газобетону у вихідному стані є наявність у його структурі гідросилікатів підвищеної основності та вільного вапна.

Для збільшення експлуатаційної надійності стін з автоклавного газобетону важливим є зовнішня обробка стін. Відокремлений, від основної конструкції повітряним прошарком, шар з штучних та природних матеріалів – один з найкращих видів обробки.

Доцільним також є використання декоративно-зовнішніх систем, що мають гідрофобність та забезпечують блокування надходження вологи.

Завдяки таким обробкам забезпечуються:

– опір паропроникненню не більше допустимого;

– захист від атмосферної крапельної вологи не менший за необхідний;

– довговічність цих якостей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Вінник О.М. Інвестиційне право : навч. посіб. Київ : Юридична думка, 2006. 568 с.

2. Пашинський В.А. Основи теорії надійності будівель і споруд : навчальний посібник для студентів будівельних спеціальностей усіх форм навчання. Кіровоград : КНТУ, 2016. 154 с.

Теліченко О.І., Нагорний М.В. Т-31 Зведення і монтаж будівель та споруд : навчальний посібник для розробки курсових і дипломних проектів студентів спеціальності 192 «Промислове та цивільна інженерія» (ПЦБ). Суми : СНАУ, 2020. 197с.

Посібник з проектування малоповерхових будівель з автоклавного газобетону (з альбомом технічних рішень) / ДП «Український державний науково-дослідний і проектний інститут цивільного сільського будівництва», «УкрНДІпроцивісільбуд». Київ : МРБ та КГУ, 2012. 153 с.

І.Г. Любченко. Будівельні конструкції / Енциклопедія Сучасної України / Редкол. : І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк [та ін.]; НАН України, НТШ. К. : Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2004.

Паплавскіс Я. Енергозбереження при проектуванні та будівництві малоповерхових будинків / за ред. Паплавскіс Я., Фрош А. / Будівництво, матеріалознавство, машинобудування: серія Теорія та практика виробництва та застосування пористого бетону в будівництві : зб. наук. праць. вип. 4. Дніпропетровськ: ПДАБА, 2009. С. 81 – 88.

Улицкий И.И. Определение величин деформаций ползучести и усадки бетонов. – Киев: Госстройиздат УССР, 1963. – 132 с.

Про затвердження Технічного регламенту будівельних виробів (продукції) : Постанова Кабінету Міністрів України від 20.12.2006 р. № 1764. *Офіційний вісник України*. 2006. № 51. С. 145, стаття 3415.

Д

С

Т

10. ДСТУ-Н Б В.2.6-202:2015. Настанова з проектування та улаштування конструкцій будівель із застосуванням виробів із ніздрюватого бетону автоклавного тверднення. [Чинний від 2010-01-29]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонрозвитку України, 2010. 45 с.

. ДСТУ Б В.2.7-45:2010. Бетони ніздрюваті. Загальні технічні умови. [Чинний від 2016-07-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2016. 45 с.

ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. [Чинний від 2022-09-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіону України, 2021. 23 с.

Сердюк В. Р., Рудченко Д. Г. Сучасні тенденції виробництва газобетону автоклавного тверднення. *Науковий вісник будівництва*. ХНУБА т. 103, №1. 2021. С. 235-241.

14. В. Р. Сердюк, Б. І. Августович, О. С. Сідлак. Особливості експлуатаційних властивостей автоклавного газобетону. / Будівельні матеріали та вироби. *Науково-технічний журнал «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві»*. 2017. С. 21-26.

В. Р. Сердюк. Теплотехнічні особливості будівництва та експлуатації газобетонних зовнішніх стін малоповерхових будівель. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2019. № 5. С. 14-20. URL: https://doi.org/10.31649/1997-9266-2019-146-5-14-20.

Рудченко Д.Г., Сердюк В.Р. Зменшення енергоємкості виробництва газобетону автоклавного тверднення на стадії його автоклавування. *Збірник «Науковий вісник будівництва».* 2021. т. 105. №3. С. 196-204. URL: doi.org/10.29295/2311-7

Лаповская, С., Дюжилова, Н., Демченко, Т. (2019). Автоклавний газобетон в Україні. Основні виробники і асортимент виробів. *Будівельні матеріали та в*

и

р

18. Морозова Н.В., Середа С.Ю., Голубченко Т.Н. Статистический анализ качества автоклавного газобетона в задачах повышения эффективности его производства. *Вісник ПДАБА.* 2011. № 12. С. 45-50.

и

;

Анализ размера рынка автоклавного газобетона – тенденции роста и прогнозы (
2
0
Анализ размера и доли рынка автоклавного газобетона – тенденции роста и 2
прогнозы (2024–2029 гг.)
Source: https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/autoclaved-aerated-concrete-aac-market.
2 23. Мировой рынок автоклавного газобетона Анализ размера, доли и 0
воздействия COVID-19 по продуктам (элементы перекрытия, стеновые панели, 2
блоки, балки и перемычки, облицовочные панели, панели крыши и другие) по 0
конечным пользователям (нежилые, жилые и другие) и по регионам (север). Америка, Европа, Азиатско-Тихоокеанский регион, Латинская Америка, Ближний Восток и Африка). Анализ и прогноз на 2021-2030 годы. Spherical
I
M
s
i
g
h
s
I
n
U
R
L
lHYPERLINK "https://www.sphericalinsights.com/ru/reports/autoclaved-aerated-
c
g
n