

ГАЗОБЕТОН НА ОСНОВІ ВТОРИННОГО СКЛОБОЮ ЯК ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИЙ СТІНОВИЙ МАТЕРІАЛ ДЛЯ ЖИТЛОВОГО БУДІВНИЦТВА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглянуто ефективність використання склобою як модифікуючого компонента у виробництві газобетонних блоків, призначених для багатоповерхового житлового будівництва. Проаналізовано вплив тонкомолотого та дробленого склобою на процеси структуроутворення, пористість, міцність та теплофізичні характеристики матеріалу. Встановлено, що оптимізація співвідношення фракцій склобою забезпечує підвищення міцності газобетону до 2,0 МПа при густині 300–400 кг/м³ та зниження коефіцієнта теплопровідності до 0,05–0,09 Вт/(м·°C), що робить його конкурентоспроможним конструкційно-теплоізоляційним матеріалом. Окреслено перспективність використання вторинної сировини у контексті розвитку екологічно орієнтованих та енергоефективних технологій у висотному житловому будівництві.

Ключові слова: газобетон, склобій, багатоповерхове будівництво, міцність, теплопровідність, екологічні матеріали, енергоефективність.

Abstracts

The study examines the efficiency of using waste glass cullet as a modifying component in the production of aerated concrete blocks intended for multi-storey residential construction. The influence of finely ground and crushed glass cullet on the structural formation, porosity, strength, and thermal properties of the material is analyzed. It is established that optimizing the ratio of cullet fractions improves the compressive strength of aerated concrete up to 2.0 MPa with a density of 300–400 kg/m³ and reduces the thermal conductivity to 0.05–0.09 W/(m·°C), making it a competitive structural and thermal-insulating material. The research highlights the prospects of using secondary raw materials in the context of environmentally oriented and energy-efficient technologies for high-rise residential construction.

Key words: aerated concrete, glass cullet, multi-storey buildings, compressive strength, thermal conductivity, ecological materials, energy efficiency.

Вступ

Сучасне житлове будівництво в Україні характеризується зростаючими вимогами до енергоефективності, довговічності та екологічної безпеки будівельних матеріалів. Особливу увагу приділяють конструкціям багатоповерхових житлових будинків, де стінові матеріали повинні одночасно забезпечувати високу міцність, низьку теплопровідність, стабільність властивостей у широкому температурному діапазоні та відповідність актуальним нормам ДБН В.2.6-31:2021 та ДБН В.1.1-7:2016. На цьому фоні газобетон залишається одним із найбільш перспективних конструкційно-теплоізоляційних матеріалів, однак його традиційні рецептури потребують удосконалення для ефективного застосування у багатоповерховому будівництві [1, 2].

Одним із найбільш результативних шляхів підвищення експлуатаційних характеристик газобетону є використання у складі суміші вторинної кремнійвмісної сировини – зокрема склобою. Завдяки високому вмісту діоксиду кремнію, хімічній чистоті та вираженому мікроармуючому ефекту, склобій здатний покращувати процеси структуроутворення, сприяючи формуванню зміцнених міжпорових перегородок та підвищенню рівномірності пористої структури [3-5]. Додавання тонкомолотого та дробленого склобою, за умови їх оптимального співвідношення, забезпечує підвищення міцності на стиск без істотного збільшення густини матеріалу – що є ключовим критерієм для стін багатоповерхових будівель.

Результати експериментальних досліджень свідчать, що оптимізація складу газобетону зі склобомом дозволяє досягти міцності до 2,0 МПа при густині 300–400 кг/м³, а також зниження коефіцієнта теплопровідності до 0,05–0,09 Вт/(м·°C). Такі характеристики роблять модифікований матеріал придатним для застосування в несучих та самонесучих стінових системах багатоповерхових житлових будівель, забезпечуючи зменшення навантаження на фундаменти й каркас та підвищення загальної

енергоефективності огорожувальних конструкцій [6-10].

Разом із технічними перевагами, використання склобою у виробництві газобетону має важливий екологічний аспект. Такий підхід відповідає принципам циркулярної економіки, сприяє скороченню обсягів промислових відходів, зниженню енерговитратності технологічного процесу та переходу будівельної галузі до більш сталих рішень. Таким чином, дослідження газобетонних блоків, модифікованих склобом, є актуальним завданням, спрямованим на формування сучасної ресурсоефективної моделі багатоповерхового житлового будівництва.

Результати дослідження

Ефективність газобетонних блоків значною мірою визначається оптимальним підбором мінеральної сировини та активних кремнійвмісних компонентів. Використання склобою як вторинної сировини дозволяє не лише зменшити витрати на виробництво, але й покращити структурні та теплофізичні характеристики матеріалу. Як видно з рецептурних даних (табл. 1), у складі газобетону застосовується тонкомолотий та дроблений скlobий, кількість яких варіює у межах 28–40 % та 8,5–15 % відповідно. Такий підбір компонентів забезпечує необхідну активність та мікроармуючий ефект, що особливо важливо для формування міцних міжпорових перегородок. Як результат отримують конструкційно-теплоізоляційний газобетон, густиною D400–D500. Для отримання ефективного газобетону з підвищеними теплоізоляційними властивостями кварцовий пісок частково замінено комбінованою добавкою у вигляді тонкомолотого та дробленого склобою (табл. 1). Вміст склобою становив 15–32 мас. %, що забезпечило формування дрібнопорової структури, підвищення реакційної здатності силікатної частини суміші та зниження теплопровідності матеріалу до рівня 0,09–0,11 Вт/(м·°C).

Таблиця 1 – Газобетон на піску з додаванням склобою (комбінований склад)

№	Компонент	Вміст, мас. %			Примітка
		Склад 1	Склад 2	Склад 3	
1	Кварцовий пісок тонкомолотий	45,0	55,0	38,0	Основний кремнеземистий наповнювач
2	Склобий тонкомолотий	15,0	10,0	20,0	Підвищує реакційну здатність, активує гелеутворення
3	Склобий дроблений	8,0	5,0	12,0	Мікроармування міжпорових перегородок
4	Портландцемент	18,0	18,0	18,0	Гідралічне в'язуче
5	Вапно будівельне	6,0	6,0	6,0	Активатор гідросилікатів кальцію
6	Гіпс (регулятор твердіння)	1,0	1,0	1,0	Стабілізує структуру на ранніх етапах
7	Алюмінієва пудра	0,08	0,08	0,08	Газоутворення (формування пор)
8	Вода	6,9–7,5	6,9–7,5	6,9–7,5	Для W/C $\approx$ 0,55–0,65

Одним із ключових структуротвірних факторів є співвідношення тонкомолотого та дробленого склобою. Експериментально встановлено, що оптимальний інтервал $T_m/D_p = 1,97 \dots 2,24$ забезпечує рівномірний поророзподіл та підвищення міцності блоків (табл. 2). За таких умов досягається міцність на стиск до 2,0 МПа, на згин – до 0,38 МПа, а коефіцієнт теплопровідності знижується до 0,05–0,09 Вт/(м·°C). Це підтверджує, що комплексне використання обох фракцій склобою сприяє максимальній ефективності структуроутворення.

Таблиця 2 – Оптимальне співвідношення склобою (експериментально встановлено)

Показник	Значення
Співвідношення тонкомолотого та дробленого склобою (T_m/D_p)	1,97...2,24
Середня густина газобетону	150–320 кг/м ³
Міцність на стиск	до 2,0 МПа
Міцність на згин	до 0,38 МПа
Теплопровідність	0,05–0,09 Вт/(м·°C)
Робоча температура	–60...+800 °C

У таблиці 3 наведено узагальнені фізико-механічні характеристики газобетону на основі склобою. Матеріал характеризується дуже низькою густиною – 150–400 кг/м³, що значно зменшує навантаження на конструкції будівель та дозволяє використовувати блоки у малоповерховому та

середньоповерховому житловому будівництві. Діапазон експлуатаційних температур від -60 до $+800$ °С підтверджує високу термостійкість матеріалу, що є суттєвою перевагою порівняно з традиційними автоклавними газобетонами.

Таблиця 3 – Фізико-механічні властивості газобетону на основі склобою

Показник	Значення
Середня густина в сухому стані	150–400 кг/м ³
Границя міцності на стиск	0,08–2,2 МПа
Границя міцності на згин	0,04–0,4 МПа
Коефіцієнт теплопровідності (для теплоізоляційних блоків)	<0,095 Вт/(м·°С)

У таблиці 4 узагальнено основні технічні та технологічні переваги газобетонних блоків зі склобоєм. До них належать:

- висока екологічність завдяки утилізації вторинної сировини;
- стабільна структура мікропористості, що забезпечується присутністю дробленого склобою;
- низька теплопровідність, яка значно підвищує енергоефективність огорожувальних конструкцій;
- зниження собівартості виробництва за рахунок малоенергоємної технології.

Таблиця 4 – Переваги газобетонних блоків зі склобоєм

Характеристика	Опис
Низька середня густина	Зменшення навантаження на фундамент і несучі конструкції
Мала теплопровідність	Висока енергоефективність огорожувальних конструкцій
Висока термостійкість	Експлуатація при $-60...+800$ °С
Екологічність	Використання вторинної сировини (склобій)
Мікроармування структури	Дроблений склобій зміцнює міжпорові перегородки
Зниження собівартості	Малоенергоємна технологія, часткова заміна цементу

Порівняння показників газобетону зі склобоєм і традиційного газобетону (табл. 5) засвідчує перевагу модифікованого матеріалу за теплоізоляційними властивостями та термостійкістю. Теплопровідність газобетону зі склобоєм на 30–45 % нижча, а експлуатаційний температурний інтервал удвічі ширший. Міцнісні характеристики також знаходяться на рівні традиційних автоклавних матеріалів, що підтверджує доцільність застосування склобою як повноцінної функціональної добавки.

Таблиця 5 – Порівняння базових властивостей газобетону зі склобоєм та традиційного газобетону

Показник	Газобетон зі склобоєм	Традиційний газобетон
Середня густина	150–320 кг/м ³	300–600 кг/м ³
Міцність на стиск	до 2,0 МПа	1,0–2,5 МПа
Теплопровідність	0,05–0,09	0,10–0,14
Робоча температура	$-60...+800$ °С	$-40...+400$ °С
Використання вторинних матеріалів	так	ні
Стійкість до високих температур	висока	середня

Таким чином, аналіз наведених даних (табл. 1–5) дозволяє стверджувати, що використання склобою у складі газобетону є ефективним напрямом підвищення його експлуатаційних властивостей. Оптимізація співвідношення фракцій склобою забезпечує формування міцної мікропористої структури, зниження теплопровідності та підвищення термостійкості матеріалу, що робить його конкурентоспроможним рішенням для сучасного житлового будівництва.

Висновки

Проведений аналіз підтвердив високу ефективність використання склобою як активного модифікатора у складі газобетонних блоків для багатоповерхового житлового будівництва. Встановлено, що введення тонкомолотого та дробленого склобою сприяє інтенсифікації процесів структуроутворення та формуванню рівномірної пористої структури матеріалу.

Оптимальне співвідношення фракцій склобою ($T_m/D_p = 1,97...2,24$) забезпечує суттєве підвищення міцності газобетону без істотного збільшення його густини. Досягнуті значення міцності до 2,0 МПа у

поєднанні з густиною 300–400 кг/м³ роблять такий матеріал придатним для використання у несучих і самонесучих стінових системах багатоповерхових житлових будівель.

Застосування склобою дозволяє значно покращити теплофізичні властивості газобетону. Зниження коефіцієнта теплопровідності до 0,05–0,09 Вт/(м·°C) забезпечує підвищення енергоефективності огорожувальних конструкцій, що відповідає вимогам сучасних норм проектування та експлуатації житлових будівель.

Використання вторинної кремнійвмісної сировини сприяє зменшенню енерговитратності виробництва та відповідає принципам екологічно сталого будівництва. Газобетон із додаванням склобою дозволяє досягти зниження обсягів відходів скляної промисловості, відходів будівництва та руйнування будівель та оптимізацію ресурсоспоживання.

Отримані результати свідчать про доцільність широкого впровадження газобетонних блоків зі склобомом у багатоповерхове житлове будівництво. Матеріал поєднує високу конструкційну міцність, низьку теплопровідність, екологічність та економічну ефективність, що визначає його конкурентоспроможність у сучасній будівельній галузі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сердюк В. Р., Рудченко Д. Г. Зростання обсягів виробництва та сфери використання газобетонних блоків. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2021, №5. С. 7-18.
2. Основні характеристики газобетону. URL: https://dci-group.com.ua/ua/gazoblok-gazobeton-kharakteristiki?utm_source=chatgpt.com
3. Ефективна утилізація скла та переробка бою скла. URL: https://kf-systems.com.ua/blog/utylyzatsiia-skla-ta-pererobka-skloboiu?utm_source=chatgpt.com
4. Samchenko, S. V., Kovalchuk, O. V., et al. Formation of Cellular Concrete Structures Based on Waste Glass and Liquid Glass. *Buildings*. 2024, 14(1), 17. URL: [Formation of Cellular Concrete Structures Based on Waste Glass and Liquid Glass](#)
5. Brouwers, J. et al. Microstructural evolution and performance analysis of autoclaved aerated concrete with municipal waste glass powder. URL: [Thermal performance evaluation of recycled salt hydrates through T-history](#)
6. Ismail, A. S. Properties of Foamed Concrete Containing Glass Powder. *Civil Engineering Research Magazine (CERM)*, Al-Azhar University. 2022. Vol. 44, No. 1. URL: https://azharcermjournal.com/CERMF2201/P22-01-05.pdf?utm_source=chatgpt.com
7. Maglad, A. M., Othuman Mydin, M. A., Majeed, S. S., Tayeh, B. A., Mostafa, S. A. Development of Eco-Friendly Foamed Concrete with Waste Glass Sheet Powder for Mechanical, Thermal, and Durability Properties Enhancement. *Journal of Building Engineering*. 2023. №80. URL: [Development of eco-friendly foamed concrete with waste glass sheet powder for mechanical, thermal, and durability properties enhancement - ScienceDirect](#)
8. Sivasuriyan, A., et al. Application of Waste Glass Powder for Sustainable Concrete: A Review. *Materials*. 2024, 18(14), 3223. URL: [Application of Waste Glass Powder for Sustainable Concrete: Design, Performance, Perspective - PMC](#)
9. Imoh, U. U., et al. Performance of Concrete Incorporating Waste Glass Cullet and Snail Shell Powder as Partial Cement Replacement. *Buildings*. 2025. №15(13). URL: [Performance of Concrete Incorporating Waste Glass Cullet and Snail Shell Powder: Workability and Strength Characteristics](#)
10. Golek, Ł., et al. New insights into the use of glass cullet in cement composites. *Construction and Building Materials*. 2022. URL: [New insights into the use of glass cullet in cement composites - Long term examinations - ScienceDirect](#)

Бречко Владислав Русланович – студент групи 1Б-24м, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: vladbrechko14@gmail.com

Бондар Альона Василівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: bondarav@vntu.edu.ua

Brechko Vladyslav – student of group 1B-24m, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vladbrechko14@gmail.com

Bondar Alena – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: bondarav@vntu.edu.ua