

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ПОРІВНЯННЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ ТА СТІНОВИХ МАТЕРІАЛІВ У МАЛОПОВЕРХОВОМУ ЖИТЛОВОМУ БУДІВНИЦТВІ

Український державний університет науки і технологій

Сучасні енергоефективні матеріали та вироби повинні відрізнятися розширеною сферою свого застосування під час зведення, ремонту чи реконструкції будівель та дозволяти покращувати споживчі якості об'єктів капітального будівництва. Прикладом матеріалу, структура і властивості якого є ефективними з точки зору теплозахисту конструкцій, є утеплювач на основі автоклавного пористого бетону.

Метою роботи є аналіз сучасних теплоізоляційних та стінових матеріалів, що набули широкого використання у порівнянні із газобетоном. Зростання виробництва газобетону визначається підвищеним попитом на цю продукцію, який, у свою чергу, викликаний високими фізико-механічними та теплотехнічними характеристиками. В умовах військового стану, енергетичної кризи та необхідності відновлення країни, будівництва та відновлення зруйнованих селищних малоповерхових будинків, газобетон вступає ефективним матеріалом.

Розглянуті та проаналізовані порівняльні характеристики газобетону як теплоізоляційного та стінового матеріалу з іншим традиційними відповідними матеріалами. Конкурентами ніздрюватого бетону на сучасному ринку теплоізоляції є такі поширені утеплювачі як мінеральна вата і пінополістирол, однак ці матеріали мають суттєві недоліки. Мінераловатна теплова ізоляція при намоканні осідає і створює порожнечі – «містки холоду». Пінополістирол вифарбовується і має високий ступінь пожежонебезпечності та токсичності, а сама стінова конструкція на його основі вимагає надійного з'єднання різнорідних шарів.

Найбільш перспективним утеплювачем у ситуації, що склалася, може бути автоклавний газобетон, що також підтверджується даними техніко-економічних показників різних варіантів утеплення стін. За теплофізичними показниками та енергоємністю виробництва автоклавний газобетон краще традиційних стінових матеріалів. Перспективою розвитку, а також зменшення енергоємності виробництва автоклавного газобетону є підвищення його коефіцієнта конструктивної якості, що досягається підвищенням міцності газобетону або її збереженням при одночасному зменшенні його густини.

Ключові слова: газобетон, теплоізоляційний матеріал, конструкційно-теплоізоляційний стіновий матеріал, властивості, коефіцієнт конструктивної якості.

Вступ

Сучасні енергоефективні матеріали та вироби повинні відрізнятися розширеною сферою свого застосування під час зведення, ремонту чи реконструкції будівель та дозволяти покращувати споживчі якості об'єктів капітального будівництва. Прикладом матеріалу, структура і властивості якого є ефективними з точки зору теплозахисту конструкцій, є утеплювач на основі автоклавного пористого бетону.

Ніздрюватий бетон автоклавного твердіння – це штучний пористий будівельний матеріал з характерною і рівномірно розподіленою дрібнодисперсною комірчастою структурою. Даний вид бетону отримують в результаті порізації (процес пороутворення) та гідротермальної обробки під тиском (процес автоклавування) раціонально підібраної, ретельно перемішаної до однорідної маси сировинної суміші, що складається з в'язучого, кремнеземистого компонента, води, пороутворювача та різноманітних добавок. Якщо процес порізації протікає за рахунок виділення газу, що утворюється в результаті хімічної взаємодії газоутворювача, що спеціально вводиться, з компонентами бетонної суміші, то такий бетон називають газобетоном або газосилікатом [1, 2]. У залежності від середньої густини та міцності газобетон може бути як і теплоізоляційним так і конструкційно-теплоізоляційним матеріалом.

Зростання виробництва газобетону визначається підвищеним попитом на цю продукцію, який, у свою чергу, викликаний високими фізико-механічними та теплотехнічними характеристиками. Спостерігається тенденція зниження середньої густини виробів: за 20 років вона знизилася на 20 %. Слід зазначити, що у майбутньому ця тенденція збережеться.

Метою роботи є аналіз сучасних теплоізоляційних та стінових матеріалів, що набули широкого використання у порівнянні із газобетоном.

Результати дослідження. Сучасні будівельні матеріали повинні задовольняти багатьом вимогам і забезпечувати економічну доцільність будівництва і подальшу експлуатацію будівель.

Ефективність газобетону підтверджується досвідом його багаторічного застосування, як у малоповерховому, і у висотному будівництві каркасно-монолітному, так і в країнах із сейсмонезбезпечними районами, наприклад, у Греції, Мексиці, Японії.

Матеріал є унікальним за своїми властивостями. Згідно ДСТУ Б В.2.7–45:2010, за функціональним призначенням газобетон може бути: теплоізоляційним, конструкційно-теплоізоляційним, конструкційним. Для поєднання основних властивостей (міцності та теплопровідності) існує поняття коефіцієнт конструктивної якості, який дорівнює відношенню показника міцності R (МПа) до

відносної густини d (безрозмірна величина) [3].

Конкурентами ніздрюватого бетону на сучасному ринку теплоізоляції є такі поширені утеплювачі як мінеральна вата і пінополістирол, однак ці матеріали мають суттєві недоліки. Наприклад, мінераловатна тепла ізоляція при намоканні осідає і створює порожнечі – «містки холоду». Порівняно висока волого- і паропроникність мінераловатного утеплювача призводить до конденсації вологи на холодній стороні поверхні, що ізолюється, що у свою чергу сприяє появі та швидкому поширенню в товщі теплоізоляції різних мікроорганізмів небезпечних для здоров'я людини.

Пінополістирол вифарбовується і має високий ступінь пожежонебезпечності та токсичності, а сама стінова конструкція на його основі вимагає надійного з'єднання різнорідних шарів. Крім того, повною мірою не вивчено процеси деструкції («старіння») даного матеріалу, а також його стійкість до біологічного впливу при тривалій експлуатації. Тим часом ці параметри мають вирішальне значення при виборі виду утеплювача. Так, в результаті старіння пінопласти втрачають конструктивну міцність, вифарбовуються, а продукти деструкції негативно впливають на людину.

Найбільш перспективним утеплювачем у ситуації, що склалася, може бути автоклавний газобетон, що також підтверджується даними техніко-економічних показників різних варіантів утеплення стін (табл. 1).

При аналізі стінових будівельних матеріалів для огорожувальних конструкцій малоповерхових споруд обрані сім основних фізичних характеристик матеріалів. Для порівняння обрано: силікатна та керамічна цегла, деревина (сосна), газобетон, пінобетон, керамзитобетон. Фізичні характеристики матеріалів представлені в таблиці 2.

Таблиця 2

Характеристики стінових будівельних матеріалів

Характеристика	Матеріали					
	Силікатна цегла ДСТУ Б В.2.7-80:2008	Керамічна цегла ДСТУ Б В.2.7-61:2008 (EN 771-1:2003, NEQ)	Деревина (сосна) повздовж волокон	Газобетон ДСТУ Б В.2.7-137:2008	Пінобетон ДСТУ Б В.2.7-137:2008	Керамзитобетон
Густина, кг/м ³	1800	1800	500	500	600	1000
Міцність, МПа	5	2,5	4	B2,5	B2	B2,5
Коефіцієнт теплопровідності у сухому стані, Вт/м ² С	0,88	0,44	0,18	0,12	0,17	0,35
Водопоглинання, % за масою	16	12	23	20	14	18
Поронепроникність, мг/(м ² чПа)	0,11	0,16	0,32	0,2	0,17	0,14
Морозостійкість, цикли	F75	F75	F70	F35	F35	F50
Усадка, см	0	0,03	0,3	0,4	1,2	0
Теплоємність, кДж/(кг ² С)	0,88	0,88	2,3	0,84	0,84	0,84
Коефіцієнт екологічності	10	5	1	2	3	20

При аналізі стінових матеріалів обрані фізичні характеристики були складені в один узагальнюючий (інтегральний) показник за значенням якого з'являється можливість судити про найбільш ефективне використання певного будівельного матеріалу у малоповерховому будівництві. Для цього розглядаємо найбільші значення за такими характеристиками: теплоємність, пароненіпроникність, морозостійкість, а також мінімальні значення за такими характеристиками як теплопровідність, водопоглинання, усадка, коефіцієнт екологічності. Реалізуючи ці дані, будуюмо майданну діаграму (рис. 1).

Техніко-економічні показники різних варіантів утеплення стін

Показник	EPS (Expanded PolyStyrene) – спінений полістирол по ДСТУ Б EN 13163, або пінополістирол (ППС)	XPS (eXtruded PolyStyrene) – екструдований полістирол по ДСТУ Б EN 13164, чи екструзійний пінополістирол (ЕППС).	Плити з мінеральної вати	Автоклавний газобетон D150-200 ДСТУ Б В.2.7-45:2010
Природа матеріалу	Органічний матеріал	Органічний матеріал	Неорганічний матеріал на органічному зв'язуючому	Неорганічний матеріал
Середня густина, кг/м ³	15-35	35-45	100-175	150-200
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К)	0,041	0,035	0,039	0,045
Коефіцієнт паропроникності, мг/(м·рік·Па)	0,05	0,02	0,3	0,3
Стабільність розмірів	змінюється	змінюється	змінюється	Не змінюється
Міцність при стиску, МПа	0,05	0,25	0,045	Не менш 0,40
Вогнестійкість	горючий	горючий	негорючий	негорючий
Екологічна безпека під час експлуатації	виділяє токсичні речовини	виділяє токсичні речовини	виділить небезпечний пил	екологічно безпечний
Термін експлуатації	До 15 років	До 25	До 30	До 100
Заміна утеплювача за час експлуатації будинку (100 умовних років)	6	4	3	Не потребує
Товщина утеплювача, мм	50	50	50	100

Відображена на діаграмі (рис.1) інформаційна композиція дозволяє показати позицію «ідеального» будівельного матеріалу для будівництва стін будівель. Це характеризується «мотузковим» багатокутником, що відповідає прийнятим у нашому випадку найкращим значенням показників на кожному промені діаграми. Площа фігури, узагальнено обмеженою багатокутником, відображає переваги видів будівельних матеріалів, що розглядаються. Чим вона більша, тим будівельний матеріал краще з погляду ефективного використання їх у малоповерховому будівництві (ЕВБМ). Замір площ за побудованою діаграмою та співвідношення площ, що відповідають кожному виду матеріалу, з площею «ідеального» матеріалу, дозволяє оцінити найкращий будівельний матеріал за формулою:

$$ЕВБМ_i = S_i/S_u \quad (1)$$

де $ЕВБМ_i$ – значення ефективного використання i -го матеріалу, частки одиниці; S_i - площа багатокутника, що відповідає i -му матеріалу, одиниці площі; S_u – те саме, «ідеального» матеріалу, одиниці площі.

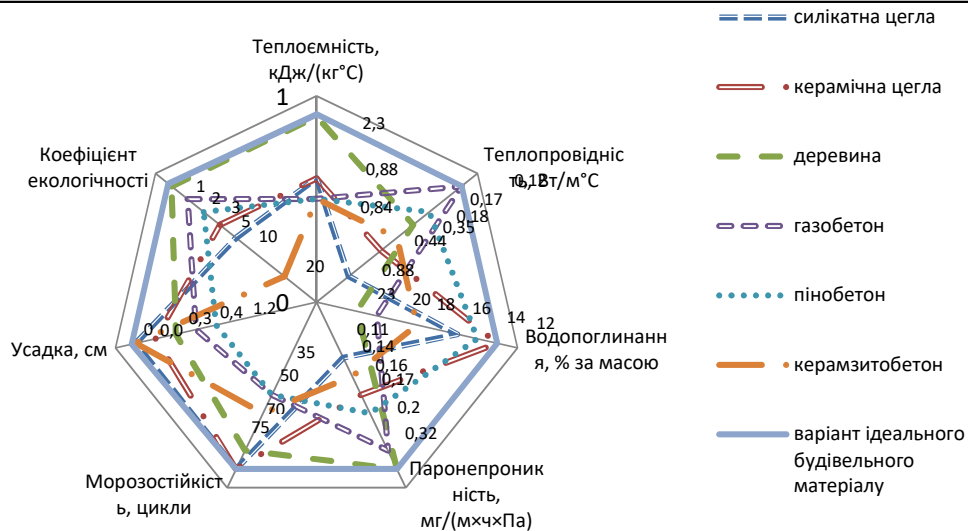


Рисунок 1 – Композиційна інфографічна модель порівняння фізичних характеристик будівельних матеріалів

Для наочності проаналізуємо та проранжуємо будівельні матеріали у порядку зменшення значень інтегрального показника (ЕВБМ) (рис. 2).

Ранжування будівельних матеріалів дозволило встановити, що найбільш ефективним матеріалом для зведення конструкцій будівель, що захищають, за фізичними характеристиками є дерево. Однак в степовій зоні України немає достатніх запасів деревини, тому її використання буде не ефективним. Разом з цим численні дослідження, проведені вітчизняними та закордонними вченими показують, що автоклавний пористий бетон є поряд з деревом екологічно чистим і сприятливим для людини будівельним матеріалом на всіх етапах його створення - починаючи від сировинних матеріалів, процесів виробництва, будівництва, експлуатації будівель, закінчуючи переробкою відходів. [1, 4-10].

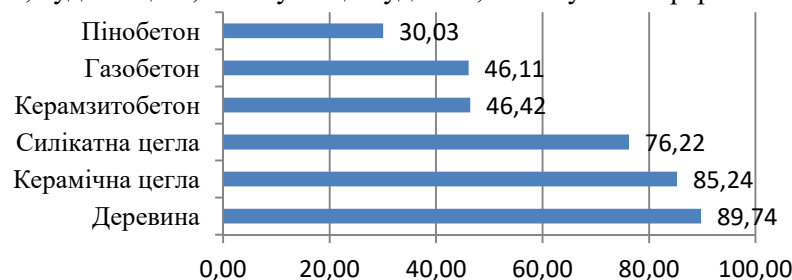


Рисунок 2 – Ранжування будівельних матеріалів за фізичними характеристиками

За даними [11] застосування стінових матеріалів з пористих бетонів забезпечує зниження вартості: фундаментів до 30%, енерговитрат на опалення будівель до 35%, транспортних витрат до 30%, вартості одного квадратного метра житла до 20%. Зростання цін на енергоносії та нормативних вимог термічного опору огорожувальних конструкцій будівель дало поштовх до збільшення виробництва автоклавного газобетону. В табл. 3, 4 наведені порівняльні характеристики стінових матеріалів, відповідно показники виробництва та використання.

Таблиця 3

Порівняльні показники виробництва та основних властивостей стінових матеріалів [11]

Показник	Од. вим.	Цегла		Керамзитобетон	Газобетон
		глиняна	силікатна		
Середня густина	кг/м ³	1550-1700	1700-1950	900-1200	300-600
Теплопровідність	Вт/м·°С	0,6-0,95	0,85-1,15	0,75-0,95	0,08-0,15
Питомі витрати умовного. палива	кг.ум.п./тис. шт. ум. цегли	246	60-80	35	20-40
Питомі витрати електроенергії	кВт·год/тис шт ум. цегли	80-82	36-38	30-32	20-35

Як видно з табл. 3 за теплофізичними показниками та енергоємністю виробництва автоклавний газобетон краще традиційних стінових матеріалів.

Таблиця 4

Порівняльна характеристика використання традиційних стінових матеріалів

Параметри, одиниці виміру	Керамічна цегла	Керамічний блок	Газобетонний блок
Розмір, мм	250x120x65	380x250x238	600x200x300
Середня густина, кг/м ³	1800	800-900	500
Кількість шт./1 м ³	512	44,2	28
Вартість, грн./шт.	8,50	96	150
Вартість матеріалу, грн./м ³	4352	4243,2	4200
Вартість робіт, грн./м ³	1900	2000	1700-1800
Разом, сума кладки, грн./м ³	6250	6243,2	5900-6000

Висновки

В умовах військового стану, енергетичної кризи та необхідності відновлення країни, будівництва та відновлення зруйнованих малоповерхових будинків, газобетон вступає ефективним матеріалом. За результатами розглянутих та проаналізованих порівняльних характеристик газобетону як теплоізоляційного та стінового матеріалу з іншим аналогічним матеріалами можна зробити наступний висновок: конкурентами ніздрюватого бетону на сучасному ринку теплоізоляції є такі поширені утеплювачі як мінеральна вата і пінополістирол, однак ці матеріали мають суттєві недоліки (мінераловатна теплова ізоляція при намоканні осідає і створює порожнечі – «містки холоду», пінополістирол вифарбовується і має високий ступінь пожежонебезпечності та токсичності, а сама стінова конструкція на його основі вимагає надійного з'єднання різнорідних шарів), тому найбільш перспективним утеплювачем у ситуації, що склалася, може бути автоклавний газобетон, що також підтверджується даними техніко-економічних показників різних варіантів утеплення стін; за теплофізичними показниками та енергоємністю виробництва автоклавний газобетон краще традиційних стінових матеріалів; перспективою розвитку, а також зменшення енергоємності виробництва автоклавного газобетону є підвищення його коефіцієнта конструктивної якості, що досягається підвищенням міцності газобетону або її збереженням при одночасному зменшенні його густини.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Р.Ф. Рунова, В.І. Гоц, О.Г. Гелевера, О.П. Константиновський, Ю.Л. Носовський, В.В. Піпа, *Основи виробництва стінових і оздоблювальних матеріалів*, Київ, Україна: «Основа», 2017,
2. Офіційний сайт Всеукраїнська Асоціація виробників Автоклавного Газобетону ВААГ. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://gazobeton.org/uk/>
3. В.М. Глушенко, *Будівельне матеріалознавство. Курс лекцій і практикум*, Дніпропетровськ, Україна: Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, 2014
4. В.Р. Сердюк і Д.Г. Рудченко, «Шляхи зменшення енергетичної та екологічної складової у виробництві автоклавного газобетону», *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 2, с. 20-26, 2020. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2020-149-2-20-26>
5. В.Р. Сердюк, О.В. Христич, Д.А. Мельничук, «Особливості технології улаштування огорожуючих конструкцій житлових будівель з використанням ніздрюватих бетонів», *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*, Т. 23, №2, с. 19-25, 2017.
6. С.Д. Лаповська, М.В. Черненко, М.С. Конопля, «Дослідження фізико-технічних характеристик ніздрюватого бетону автоклавного твердження для будівництва», *Будівельні матеріали та вироби*, № 1-2(103), с. 44-46, 2023. <https://doi.org/10.48076/2413-9890.2023-103-09>
7. С.Д. Лаповська, «Вплив характеристик вапна на стабільність функціонування технології та якості автоклавного газобетону», *Будівельні матеріали та вироби*: № 1-2(100), с. 14-17, 2019. <https://doi.org/10.48076/2413-9890.2019-100-01>
8. Rana Shabbar, Paul Nedwell, and Zhangjian Wu, «Porosity and Water Absorption of Aerated Concrete with Varying Aluminium Powder Content», *International Journal of Engineering and Technology*, Vol. 10, No. 3, p.234-238, 2018, <http://dx.doi.org/10.7763/IJET.2018.V10.1065>
9. Islam, M. M. ., Rashid, M. H. ., & Muntasir, M. A. «Influence of Aluminium and Autoclaving Temperature on the Properties of Autoclaved Aerated Concrete», *Journal of Engineering Science*, 12(3), p.11–17, 2022. <https://doi.org/10.3329/jes.v12i3.57475>
10. Kaliprasanna Sethy, Girija Sankar Nayak, Sushri Rojalin Nanda, «Aerated Concrete: A Revolutionary Construction Material», *International Journal of Engineering Technology Science and Research IJETSR* www.ijetsr.com ISSN 2394 – 3386 Volume 5, Issue 4 April p. 988-993, 2018.
11. В. Р. Сердюк, Д. Г. Рудченко, «Порівняльні показники енергоємності виробництва автоклавного газобетону та інших стінових матеріалів», *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*, № 1, с. 41-48, 2020. <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2020-1-41-48>

REFERENCES

1. R.F. Runova, V.I. Hots, O.H. Helever, O.P. Konstantynovskiy, Yu.L. Nosovskiy, V.V. Pipa, *Osnovy vyrobnystva stinovykh i ozdobiuvalnykh materialiv*, Kyiv, Ukraina: «Osnova», 2017.
2. Ofitsiyni sait Vseukrainska Asotsiatsiia vyrobnykiv Avtoklavnoho Hazobetonu VAAG. [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: <http://gazobeton.org/uk/>
3. V.M. Hlushchenko, *Budivne materialoznavstvo. Kurs leksii i praktykum*, Dnipropetrovsk, Ukraina: Prydnipravska derzhavna akademiia budivnytstva ta arkhitektury, 2014.
4. V.R. Serdiuk i D.H. Rudchenko, «Shliakhy zmenshennia enerhetychnoi ta ekolohichnoi skladovoi u vyrobnytsvi avtoklavnoho hazobetonu», *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu*, № 2, s. 20-26, 2020. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2020-149-2-20-26>
5. V.R. Serdiuk, O.V. Khrystych, D.A. Melnychuk, «Osoblyvosti tekhnolohii ulashtuvannia ohorodzhuiuchykh konstruksii zhytlovykh budivel z vykorystanniam nizdriu vatyh betoniv», *Suchasni tekhnolohii, materialy i konstruksii v budivnytstvi*, T. 23, № 2, s. 19-25, 2017.
6. S.D. Lapovska, M.V. Chernenko, M.S. Konoplia, «Doslidzhennia fizyko-tekhnichnykh kharakterystyk nizdriuvatoho betonu avtoklavnoho tverdnennia dlia budivnytstva», *Budivni materialy ta vyroby*, № 1-2(103), s. 44-46, 2023. <https://doi.org/10.48076/2413-9890.2023-103-09>
7. S.D. Lapovska, «Vplyv kharakterystyk vapna na stabilnist funktsionuvannia tekhnolohii ta yakist avtoklavnoho hazobetonu», *Budivni materialy ta vyroby*, № 1-2(100), s. 14-17, 2019. <https://doi.org/10.48076/2413-9890.2019-100-01>
8. Rana Shabbar, Paul Nedwell, and Zhangjian Wu, «Porosity and Water Absorption of Aerated Concrete with Varying Aluminium Powder Content», *International Journal of Engineering and Technology*, Vol. 10, No. 3, p.234-238, 2018, <http://dx.doi.org/10.7763/IJET.2018.V10.1065>
9. Islam, M. M., Rashid, M. H., & Muntasir, M. A., «Influence of Aluminium and Autoclaving Temperature on the Properties of Autoclaved Aerated Concrete», *Journal of Engineering Science*, 12(3), p.11–17, 2022. <https://doi.org/10.3329/jes.v12i3.57475>
10. Kaliprasanna Sethy, Girija Sankar Nayak, Sushri Rojalin Nanda, «Aerated Concrete: A Revolutionary Construction Material», *International Journal of Engineering Technology Science and Research (IJETSR)*, www.ijetsr.com, ISSN 2394–3386, Vol. 5, Issue 4, p. 988-993, 2018.
11. V.R. Serdiuk, D.H. Rudchenko, «Porivnialni pokaznyky enerhoiemnosti vyrobnystva avtoklavnoho hazobetonu ta inshykh stinovykh materialiv», *Suchasni tekhnolohii, materialy i konstruksii v budivnytstvi*, № 1, s. 41-48, 2020. <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2020-1-41-48>

Зібров Іван Федорович – аспірант кафедри архітектурного проектування, землеустрою та будівельних матеріалів, Український державний університет науки і технологій, Дніпро

I. F. Zibrov

TECHNICAL AND ECONOMIC COMPARISON OF THERMAL INSULATION AND WALL MATERIALS IN LOW-RISE RESIDENTIAL CONSTRUCTION

Ukrainian State University of Science and Technologie

Modern energy-efficient materials and products should be distinguished by an expanded scope of their application during the construction, repair or reconstruction of buildings and allow improving the consumer qualities of capital construction objects. An example of a material whose structure and properties are effective in terms of thermal protection of structures is a heater based on autoclaved aerated concrete.

The purpose of the work is to analyze modern thermal insulation and wall materials that have become widely used in comparison with aerated concrete. The growth of aerated concrete production is determined by the increased demand for this product, which, in turn, is caused by high physical, mechanical and thermal characteristics. In conditions of martial law, energy crisis and the need to restore the country, build and restore destroyed low-rise village buildings, aerated concrete becomes an effective material.

The comparative characteristics of aerated concrete as a thermal insulation and wall material with other traditional corresponding materials are considered and analyzed. The competitors of cellular concrete in the modern thermal insulation market are such common insulation materials as mineral wool and polystyrene foam, however, these materials have significant drawbacks. Mineral wool thermal insulation settles when wet and creates voids - "cold bridges". Polystyrene foam is painted and has a high degree of fire hazard and toxicity, and the wall structure itself based on it requires reliable connection of dissimilar layers.

The most promising insulation in the current situation may be autoclaved aerated concrete, which is also confirmed by the data of technical and economic indicators of various options for wall insulation. In terms of thermophysical indicators and energy intensity of production, autoclaved aerated concrete is better than traditional wall materials. The prospect of development, as well as a decrease in the energy intensity of production of autoclaved aerated concrete is to increase its constructive quality coefficient, which is achieved by increasing the strength of aerated concrete or maintaining it while simultaneously reducing its density.

Keywords: aerated concrete, thermal insulation material, structural and thermal insulation wall material, properties, structural quality factor.

Zibrov Ivan – Post-Graduate Student the Chair of of Architectural Design, Land Management and Building Materials.