

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В БУДІВНИЦТВІ

УДК 711

DOI: 10.31649/2311-1429-2024-2-158-162

К. В. Гігієншвілі
М.О. Постолатій

РОЛЬ МАСИВНОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМУ БУДІВЛІ

Вінницький національний технічний університет

Розглянуто актуальність питання впливу масивності конструктивних елементів будівлі на її енергозбереження у контексті сучасних вимог до енергоефективності та сталого розвитку. Проаналізовано здатність масивних конструкцій до акумулювання теплової енергії, зменшення амплітуди добових коливань температури в приміщеннях та зниження пікових навантажень на системи опалення й кондиціонування.

Розглянуто основні фізичні параметри огорожувальних конструкцій, які мають суттєвий вплив на її теплотехнічні властивості та рівень енерговитрат. Узагальнено теплотехнічні показники огорожувальних конструкцій будівель згідно нормативів країн ЄС та актуальних на сьогоднішній день вітчизняних норм.

Проведено порівняльний аналіз будівель із різними типами огорожувальних конструкцій, зокрема за показниками тепловтрат, інерційності конструкцій, стабільності мікроклімату на території різних країн та з різним типом кліматичних умов. Розглянуто вплив кліматичних умов та орієнтації будівлі на доцільність застосування масивних рішень при проектуванні та зведенні будівель.

Розглянуто основні характеристики актуальних та популярних стінових матеріалів та їх теплофізичні властивості, які використовуються на території України і є лідерами на будівельному ринку. Виокремлено ключові чинники, що впливають на вибір типу конструкцій з огляду на енергозбереження: функціональне призначення будівлі, режим експлуатації, матеріали конструктивних елементів, наявність систем накопичення енергії та економічна доцільність таких рішень. Досліджено, ефект теплонакопичення, який дозволяє зміщувати пікові навантаження на інженерні системи та оптимізувати споживання енергії протягом доби.

Сформульовано практичні рекомендації щодо використання масивних конструктивних рішень у проектуванні енергоефективних будівель із урахуванням нормативних вимог та сучасних технологій для забезпечення їх теплового режиму.

Ключові слова: масивність конструктивних елементів, енергозбереження, теплоакумуляція, теплові характеристики, будівельні матеріали, енергоефективність, кліматичні умови.

Вступ

Енергозбереження в Україні є одним з пріоритетних напрямів державної політики у сфері енергетики, що зумовлено як економічними, так і екологічними чинниками. Енергоспоживання на одиницю ВВП в Україні перевищує середній показник по ЄС, що свідчить про необхідність активного впровадження заходів з енергозбереження в майже всіх сферах. Одним з найбільш актуальних та цікавим є будівельний сектор, який споживає близько 40% загальної енергії.

Як показують результати останніх досліджень, головними напрямками підвищення енергоефективності є утеплення будівель, використання сучасних теплоізоляційних матеріалів, а також впровадження систем енергомоніторингу та автоматизації. Проте за останні роки значно виріс інтерес саме до огорожувальних конструкцій, як основного елемента оптимізації теплотехнічних характеристик будівель.

Основна частина

Одним з найважливіших аспектів енергоефективності будівель є її конструктивна масивність, яка впливає на здатність утримувати тепло. Оптимізація огорожувальних конструкцій будівлі дозволяє корелювати частий перегрів влітку та надмірні тепловтрати взимку. Згідно з дослідженнями [1], масивні будівельні елементи, такі як стіни з бетону або цегли, мають високі теплоакумуляційні властивості. Це дозволяє підтримувати стабільну температуру всередині приміщення, знижуючи потребу в опаленні або охолодженні на 15-20 % у порівнянні з легкими конструкціями.

З наведених вище в таблиці показників очевидно, що основні тепловтрати будівлі формуються за рахунок поверхонь стін, стелі і покриття. Тому, для покращення показників енергоефективності в першу чергу є необхідність запровадження організаційних і інженерно-економічних заходів з метою отримання підвищення експлуатаційних показників енергоефективності об'єктів житлового фонду.

Варто враховувати, що основними параметрами конструктивних елементів будівлі, які мають суттєвий вплив на її теплотехнічні властивості та рівень енерговитрат є саме фізичні параметри, такі як теплопровідність, теплоємність, щільність та вологість матеріалів. Як показує досвід, правильний

вибір конструктивних матеріалів з урахуванням їх фізичних властивостей є визначальним чинником у формуванні енергоефективної та економічно вигідно будівлі. На нормативному рівні вимоги до теплотехнічних характеристик будівель регламентуються в Україні документом ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель», який встановлює граничні значення показників енергоефективності залежно від типу та призначення споруди [2].

Таблиця 1

Узагальнені теплотехнічні показники огорожувальних конструкцій будівель згідно нормативів країн ЄС [1] і вітчизняних норм

Країна	Опір теплопередачі, $m^2 \cdot ^\circ C / Wt$			Питомі тепловитрати, $kWt \cdot год / m^2$
	стіни	покриття	вікна (двері)	
Данія	4.3	5.5	0.7	55
Литва	3.33	5.55	0.52	45-60
Польща	3.5	5.0	0.55	70-100
Канада	4.1	6.6	0.9	30-70
Німеччина	5.0	5.8	0.75	30-70
Словаччина	3.1	5.0	0.69	30-100
Україна	4	6	0,75	90-180
Фінляндія	4.5	5.5	0.77	55-70

В результаті дослідження питання впливу фізичних характеристик будівельних конструкцій на енергоефективність будівлі [1, 2], виявили, що найбільш перспективним напрямком досліджень є саме огорожувальні стінові конструкції. Зокрема, масивні стіни з високою теплоємністю та низькою теплопровідністю, які здатні ефективно зберігати тепло в холодний період та запобігати перегріву влітку.

Наприклад, дослідження, проведене в Ірані, показало, що традиційні стіни товщиною 50-60 см із глини, мулу та соломи забезпечують значну буферну здатність до тепла та вологи, сприяючи термічному комфорту мешканців в даному регіоні [3].

Дослідження в Індонезії показало, що в тропічних гірських районах будинки з кам'яними стінами мають нижчу внутрішню температуру порівняно з дерев'яними, що свідчить про ефективність масивних конструкцій у стабілізації мікроклімату [4].

Кліматичні умови та орієнтація будівлі мають значний вплив на ефективність огорожувальних конструкцій. У регіонах з високою інсоляцією та великими добовими коливаннями температури масивні конструкції можуть забезпечити кращий термічний комфорт. Наприклад, у Фамагусті (Кіпр) традиційні будівлі з товстими стінами та високими стелями демонструють кращу термічну інерційність та комфорт порівняно з сучасними будівлями з легких матеріалів [5].

У порівнянні, сучасні легкі конструкції з матеріалів, таких як автоклавний газобетон або легкий керамзитобетон, мають нижчу теплопровідність, але також меншу теплоємність, що може призводити до швидших коливань температури в приміщенні. Це особливо актуально в регіонах з великими добовими коливаннями температури, де масивні конструкції можуть забезпечити більш стабільний мікроклімат.

Нижче наведено порівняльну характеристику актуальних та популярних стінових матеріалів та їх теплофізичні властивості, які використовуються на території України і є лідерами на будівельному ринку.

Таблиця 1

Теплофізичні властивості матеріалів [3]

Матеріал	λ , [Дж/кг·К]	ρ , [кг/м ³]	c , [Дж/кг К]
Повітряний прошарок	0,28	1,3	1000
Блоки з ніздрюватого бетону	0,16	600	1500
Цементно-вапняна штукатурка	0,82	1850	840
Бетонна плита	1,35	2000	1000
Гіпсокартон	0,25	900	1000
Вапняно-піщана штукатурка	0,80	1600	1000
Мінеральна вата (40)	0,036	40	1030
Мінеральна вата (90)	0,037	90	1030
Мінеральна вата (150)	0,4	150	1030

Як показують останні дослідження - масивні конструкції, за умови раціонального проектування, забезпечують ефективне теплозбереження, сприяють зменшенню експлуатаційних витрат і підвищують комфорт користування приміщенням. До прикладу стіни з високою теплоємністю можуть накопичувати тепло протягом дня та віддавати його вночі, забезпечуючи стабільний мікроклімат без використання додаткових енергетичних ресурсів.

Ще одним досить цікавим та перспективним напрямком є дослідження щодо впливу теплової маси на тепловий комфорт та потребу в охолодженні житлових будинків. Аналізуючи досвід європейських країн можна побачити тенденцію, що вплив теплової потужності огорожувальних конструкцій будівлі на зміни внутрішніх температур зводиться до 24-годинного періоду. У цей період денні надходження тепла врівноважуються нічними тепловтратами. Максимальна температура в приміщенні, добові коливання температури в приміщенні та часовий проміжок між досягненням максимальної добової температури визначають досягнутий ефект. Але проведені дослідження [6] показують, що вплив масивності будівлі на температуру в приміщенні не обмежується 24 годинами, а накопичується протягом декількох днів. В умовах високої сонячної активності, коли зовнішня температура зростає протягом кількох днів поспіль, різниця між температурами будівлі з низькою масивністю і будівлі з середньою масивністю також зростає. І навпаки, різниця між температурами в будівлях з низькою і середньою конструктивною масивністю зменшується при зниженні зовнішньої температури.

Варто зазначити, що орієнтація будівлі також впливає на теплові надходження. Згідно з принципами пасивного сонячного дизайну, оптимальна орієнтація будівлі дозволяє максимізувати сонячне тепло взимку та мінімізувати його влітку, що сприяє енергоефективності та комфортному мікроклімату [7].

Аналізуючи наведені вище дані можемо сформулювати декілька основних рекомендацій щодо врахування масивності стінових конструкцій у проектуванні енергоефективних будівель:

- вибір конструкцій з високою теплоємністю та щільністю - застосування масивних матеріалів (бетон, силікатна цегла, композитні кам'яні блоки) забезпечує підвищену інерційність огорожувальних конструкцій, що дозволяє ефективно акумулювати тепло вдень та віддавати його вночі. Це забезпечує стабілізацію внутрішньої температури приміщень без надмірного використання систем опалення чи охолодження.
- раціональне поєднання масивних та теплоізоляційних шарів – рекомендується використовувати багатошарові стіни, де внутрішній шар виконує функцію теплової маси, а зовнішній – забезпечує мінімальні втрати тепла. Такий принцип відповідає вимогам ДБН В.2.6-31:2021 щодо досягнення нормативного опору теплопередачі для зовнішніх стін (не менше 3,5–4,0 м²·К/Вт залежно від кліматичної зони).
- орієнтація будівлі з урахуванням теплового балансу - масивні стіни доцільно розташовувати на південному або західному фасаді для ефективного акумулювання сонячного тепла взимку. Це дозволяє реалізувати принципи пасивного будівництва з мінімальними втратами енергії.
- використання динамічного теплового моделювання - на етапі проектування рекомендовано застосовувати BIM-технології та спеціалізовані програмні засоби, які дозволяють враховувати інерційні властивості конструкцій, вплив орієнтації та сонячної інсоляції на поведінку огорожувальних елементів.
- дотримання нормативних вимог щодо питомих тепловтрат – загальні питомі тепловтрати для житлових будівель в Україні мають не перевищувати 70–120 кВт·год/м²·рік відповідно до категорії будівлі та кліматичної зони. Масивні конструкції дозволяють дотримуватись цих параметрів без значного підвищення витрат на додаткову теплоізоляцію.
- перевага конструкцій з накопичувальним ефектом у регіонах з високою амплітудою температур - у зонах із великими добовими коливаннями температур (наприклад, південні та східні області України) застосування масивних огорожувальних конструкцій є економічно доцільним, оскільки вони зменшують коливання внутрішнього мікроклімату та знижують пікове навантаження на інженерні системи.

Висновок

Проведений аналіз підтвердив важливість конструктивної масивності будівель у формуванні енергоефективних рішень для житлового та громадського будівництва в Україні. Масивні стінові конструкції, завдяки своїм теплофізичним властивостям, зокрема високій теплоємності та щільності, відіграють ключову роль у стабілізації мікроклімату приміщень, зменшенні тепловтрат взимку та запобіганні перегріву влітку.

Аналіз нормативних вимог, зокрема ДБН В.2.6-31:2021, а також порівняльні характеристики

національних та європейських стандартів показують, що Україна рухається у напрямі гармонізації з практиками ЄС щодо підвищення теплозахисту будівель. Проте реальні питомі тепловтрати залишаються на рівні, вищому за середньоєвропейські показники, що вимагає впровадження додаткових інженерних рішень та стратегій термомодернізації.

Масивні конструкції, за умови їх раціонального проектування (поєднання з ефективною теплоізоляцією, врахування орієнтації, інсоляції та кліматичних факторів), мають значний потенціал у зниженні енергоспоживання. Зокрема, ефект теплонакопичення дозволяє зміщувати пікові навантаження на інженерні системи та оптимізувати споживання енергії протягом доби.

Практичні рекомендації щодо використання масивних конструкцій включають орієнтацію будівель з урахуванням сонячної активності, дотримання нормативних значень опору теплопередачі, застосування ВІМ-моделювання на стадії проектування, а також урахування добових і кумулятивних теплових ефектів, що особливо важливо для південних і східних регіонів України.

Отже, підвищення енергоефективності будівель можливе не лише за рахунок використання теплоізоляційних матеріалів, а й шляхом оптимізації конструктивних рішень, що враховують масивність, інерційність та динаміку теплових процесів. Такий підхід є економічно доцільним, екологічно обґрунтованим і відповідає принципам сталого розвитку та енергетичної безпеки держави.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Шульгін В.В. Імовірнісне подання технічних характеристик теплоізоляційних матеріалів / В.В. Шульгін, А.М. Карюк // Збірник наукових праць. Сер. : Галузеве машинобудування, будівництво. 2013. Вип. 4 (39), т. 2. С. 257-262.
2. ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель [Чинний від 2022-09-01]. ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (НДІБК), 2021.
3. Kuczynski, Tadeusz & Staszczuk, Anna. (2020). Experimental study of the influence of thermal mass on thermal comfort and cooling energy demand in residential buildings. *Energy*. 195. 116984. 10.1016/j.energy.2020.116984.
4. Hermawan Hermawan, Jozef Švajlenka (2022). Building Envelope and the Outdoor Microclimate Variable of Vernacular Houses: Analysis on the Environmental Elements in Tropical Coastal and Mountain Areas of Indonesia, *Sustainability* 2022, 14(3).
5. Pooya Lotfabadi and Polat Haçer, A Comparative Study of Traditional and Contemporary Building Envelope Construction Techniques in Terms of Thermal Comfort and Energy Efficiency in Hot and Humid Climates, *Sustainability* 2019, 11(13), 3582; <https://doi.org/10.3390/su11133582>.
6. Staszczuk, Anna & Kuczynski, Tadeusz. (2023). Cumulative Multi-Day Effect of Ambient Temperature on Thermal Behaviour of Buildings with Different Thermal Masses. *Energies*. 16. 1-15. 10.3390/en16217361.
7. Інтернет джерело: https://www.nrel.gov/docs/fy01osti/29236.pdf?utm_source=chatgpt.com.

REFERENCES

1. Shulgin V.V. Probabilistic representation of technical characteristics of heat-insulating materials / V.V. Shulgin, A.M. Karyuk // Collection of scientific papers. Series: Branch engineering, construction. 2013. Issue 4 (39), vol. 2. С. 257-262.
2. DBN V.2.6-31:2021 Thermal insulation and energy efficiency of buildings [Effective from 2022-09-01]. State Research Institute of Building Constructions (SRIBC), 2021.
3. Kuczynski, Tadeusz & Staszczuk, Anna. (2020). Experimental study of the influence of thermal mass on thermal comfort and cooling energy demand in residential buildings. *Energy*. 195. 116984. 10.1016/j.energy.2020.116984.
4. Hermawan Hermawan, Jozef Švajlenka (2022). Building Envelope and the Outdoor Microclimate Variable of Vernacular Houses: Analysis on the Environmental Elements in Tropical Coastal and Mountain Areas of Indonesia, *Sustainability* 2022, 14(3).
5. Pooya Lotfabadi and Polat Haçer, A Comparative Study of Traditional and Contemporary Building Envelope Construction Techniques in Terms of Thermal Comfort and Energy Efficiency in Hot and Humid Climates, *Sustainability* 2019, 11(13), 3582; <https://doi.org/10.3390/su11133582>.
6. Staszczuk, Anna & Kuczynski, Tadeusz (2023). Cumulative Multi-Day Effect of Ambient Temperature on Thermal Behaviour of Buildings with Different Thermal Masses. *Energies*. 16. 1-15. 10.3390/en16217361.
7. Internet source: https://www.nrel.gov/docs/fy01osti/29236.pdf?utm_source=chatgpt.com.

Гізінеішвілі Карло Володимирович – аспірант кафедри будівництва, міського господарства та архітектури Вінницького національного технічного університету. E-mail: hihineishvili@gmail.com.

Постолатій Маріанна Олександрівна – аспірант кафедри будівництва, міського господарства та архітектури Вінницького національного технічного університету. E-mail: marianna.postolatii@gmail.com.

K. Hihineishvili
M. Postolatii

THE ROLE OF MASSIVENESS OF BUILDING STRUCTURES IN ENSURING THE THERMAL REGIME OF THE BUILDING

Vinnitsa National Technical University

The article considers the relevance of the issue of the influence of massiveness of structural elements of a building on its energy saving in the context of modern requirements for energy efficiency and sustainable development. The ability of massive structures to accumulate thermal energy, reduce the amplitude of daily temperature fluctuations in the premises and reduce peak loads on heating and air conditioning systems is analysed.

The main physical parameters of building envelopes that have a significant impact on their thermal properties and energy consumption are considered. The thermal performance of building envelopes in accordance with EU standards and current national standards is summarised.

A comparative analysis of buildings with different types of building envelopes is carried out, in particular, in terms of heat loss, structural inertia, microclimate stability in different regions and with different types of climatic conditions. The influence of climatic conditions and building orientation on the feasibility of using massive solutions in the design and construction of buildings is considered.

The main characteristics of current and popular wall materials and their thermal properties, which are used in Ukraine and are leaders in the construction market, are considered. The key factors influencing the choice of the type of construction in terms of energy saving are highlighted: functional purpose of the building, mode of operation, materials of structural elements, availability of energy storage systems and economic feasibility.

Key words: *massiveness of structural elements, energy saving, heat accumulation, thermal characteristics, building materials, energy efficiency, climatic conditions.*

Karlo Hihineishvili – Postgraduate Department of Department of Construction, Urban Management and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: hihineishvili@gmail.com.

Marianna Postolatii – Postgraduate Department of Department of Construction, Urban Management and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: marianna.postolatii@gmail.com.