

## ОЦІНКА ТЕПЛОТЕХНІЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ СТІН БУДИНКІВ З ПРИРОДНИХ МАТЕРІАЛІВ

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*Виконано спробу оцінити теплотехнічний потенціал ефективних огорожуючих конструкцій з природних матеріалів для зведення малоповерхової забудови. Розглянуто варіанти влаштування стін з солом, глини, костри льону/конопель. Показано, що стіна з арболітових блоків володіє максимальною тепловою інерцією при високому значенні сумарного термічного опору огорожуючої конструкції стіни. При цьому інтегральний показник теплотехнічного потенціалу такої стіни є найбільшим.*

**Ключові слова:** природні будівельні матеріали, моделювання, теплова інерція.

### *Annotation*

*An attempt to assess the heat engineering potential of effective enclosing structures from natural materials for the construction of low-rise buildings was made in this paper. The options of walls' design from straw, clay, flax/hemp sheave are considered. It is shown that the wall of hempcrete blocks has the maximum thermal inertia at a high value of the total thermal resistance of the wall protecting structure. At the same time, the integral index of the heat engineering potential of such a wall is the largest.*

**Keywords:** natural building materials, modeling, thermal inertia.

### **Вступ**

В нашій державі серед найпоширеніших природних матеріалів та «зелених» технологічних рішень слід відмітити: відомий вже не одно століття саман, арболіт (збірний або монолітний, різновидом якого є костробетон на костриці технічної коноплі, льону) дерев'яне каркасне будівництво (зруби, подвійний каркас з ефективним утеплювачем), землебит (використання мішків з землею в якості будівельного матеріалу несучих стін), солом'яні панелі (самонесучі з включенням у несучий дерев'яний каркас ефективного природного утеплювача – соломи) або ущільнені до певної щільності блоки (несучі елементи стін), торфоблоки типу «Геокар» а також різноманітні їх комбінації.

При остаточному виборі проектного рішення щодо зведення власного житла потенційний забудовник повинен обрати з поміж існуючих технологій та матеріалів варіант, що максимально відповідає його потребам в контексті екологічних, економічних, фізіологічних, естетичних складових [1].

Вибір типу матеріалу для зведення огорожуючих конструкцій стін, елементів перекриття/покриття не завжди очевидний, потребує одночасного аналізу цілої низки впливаючих факторів [2]. Як зауважує Ю. М. Лапін у своїй роботі [3] «кількість факторів, що підлягають обліку та адекватному реагуванню в процесі створення екобудинку, налічує тисячі, та всі вони пов'язані один з одним». Одним з головних факторів зазвичай є економічний критерій [4].

Оптимальне рішення щодо матеріалу може бути прийнято при порівнянні основних техніко-економічних показників вартості матеріалів, технологічного процесу зведення хоча б у першому наближенні. У випадках вагань або невизначеності, для полегшення вирішення задачі можна застосувати різні алгоритми для виявлення доцільності прийнятого варіанту проекту, наприклад вказані у роботах [5, 6].

### **Результати дослідження**

Для кількісної оцінки тепловтрат через стіни будівлі можна використати таке поняття як теплова інерція [11-13], що показує наскільки огорожуюча конструкція є ефективною з точки зору

періоду часу, при якому відбувається стабілізація температури зовнішньої та внутрішньої поверхні стіни. Як зазначає автор [7], для огорожуючих конструкцій стін, які фактично завжди є багатошаровими, неможливо використовувати залежності тривалості квазістаціонарного теплового процесу (часу теплової інерції)  $\tau_u$  в простому виді для однорідної стінки:

$$\tau_u = \pi^{-2} c \rho \delta R, \quad (1)$$

де  $c$  – теплоємність матеріалу стіни, кДж/кг×м;

$\rho$  – густина, кг/м<sup>3</sup>;

$R = \delta / \lambda$  – термічний опір м<sup>2</sup>×К/Вт;

$\delta$  – товщина, м;

$\lambda$  – теплопровідність матеріалу стіни, Вт/м×К.

Тому для чисельного моделювання будемо використовувати аналітичну залежність для багатошарових стін [7]:

$$\tau_u = \tau_u' S_n, \quad (2)$$

де  $\tau_u'$  – час інерції однорідної стіни товщиною  $\delta$  з параметрами першого шару [7]:

$$\tau_u' = c_i \rho_i \delta^2 / \pi^2 \lambda_i, \quad (3)$$

$S_n$  – фактор шаруватості огорожуючої конструкції стіни [7];

$$S_n = \{3\delta\delta_1^2 - 2\delta_1^3 + \frac{\lambda_1}{c_i \rho_i} \sum_{i=2}^n c_i \rho_i \delta_i^2 [\frac{\Delta\delta_i}{\lambda_i} + (1 + 2\frac{\Delta\delta_i}{\delta_i})(3\sum_{j=1}^{i-1} \frac{\delta_j}{\lambda_j} + \frac{\delta_i}{\lambda_i})]\} \delta^{-3} \quad (4)$$

де  $\delta$  – загальна товщина конструкції багатошарової стіни;

$\delta_1$  – товщина першого шару багатошарової конструкції стіни;

$\Delta\delta_i = \sum_{j=i+1}^n \delta_j$  – товщина огорожуючої конструкції стіни починаючи з другого шару  $i = 2$ .

Окрім цього для порівняння теплової інерції стін з різних конструктивних елементів визначено безрозмірний показник теплової інерції  $D$  за [8]

$$\sum_{i=1}^n D_i = \sum (S_i \cdot R_i) \quad (5)$$

де  $S_i = \sqrt{\frac{2\pi\lambda_i c_i \rho_i}{T}}$  – коефіцієнт теплосасвоєння, (Вт/м<sup>2</sup>×К)  $i$ -того шару конструкції;

$T$  – період теплових коливань, с.

Для визначення показника теплової інерції  $D$  прийнято добовий період теплових коливань, тобто  $T = 24 \cdot 3600 = 86400$  (с).

Для аналізу та чисельного моделювання використано три типи стінового огороження умовних стін будинку з природних матеріалів (рис. 1): стіна з арболіту (тип «А»), стіна з саману (тип «Б»), стіна з солом'яної панелі (тип «В»), з даними теплотехнічних характеристик конструктивних шарів (табл. 1). При чому, для об'єктивної оцінки всі стіни виконано однакової товщини – 500 мм. Для визначення питомого тиску на фундамент вагу 1м<sup>2</sup> стіни поділено на ширину стіни 500 мм.

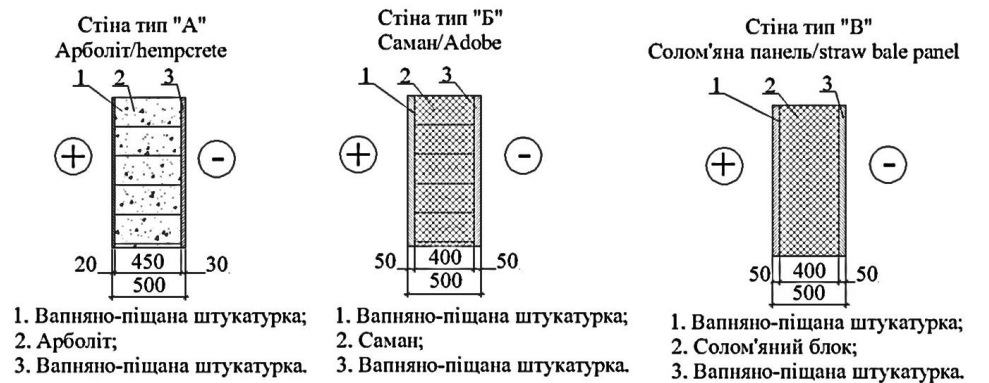


Рис. 1 Поперечний розрізи варіантів конструкцій огорожуючих стін (типи стін «А», «Б», «В»)

Таблиця 1 – Фізико-механічні характеристики багатошарових стін

Фізико-механічні характеристики елементів конструкції стіни	Конструктивний шар стіни починаючи зсередини приміщення								
	Тип «А»		Тип «Б»			Тип «В»			
	Вапняно-піщана штукатурка	Арболіт з кострильону	Вапняно-піщана штукатурка	Вапняно-піщана штукатурка	Саман	Вапняно-піщана штукатурка	Вапняно-піщана штукатурка	Солом'яна панель	Вапняно-піщана штукатурка
Питома теплоємність матеріалу шару, $c_i$ (Дж/кг×К) [9,10,12]	840	2300	840	840	880	840	840	1675.00	840
Товщина шару, $\delta_i$ (м)	0.02	0.45	0.03	0.05	0.4	0.05	0.05	0.40	0.05
Прийнята густина шару $\rho_i$ (кг/м <sup>3</sup> )	1600	550	1600	1600	1400	1600	1600	120.00	1600
Вага 1м <sup>2</sup> стіни	32	247.5	48	80	560	80	80	47.40	80
Теплопровідність шару $\lambda_i$ (Вт/м×К)	0.81	0.075	0.81	0.81	0.4	0.81	0.81	0.07	0.81
Коеф. Теплозасвоєння шару, $s_i$ (Вт/м <sup>2</sup> ×К) [8]	8.90	2.63	8.90	8.90	5.99	8.90	8.90	0.97	8.90
Термічний опір $i$ -того шару, $R_i$ (м <sup>2</sup> ×К/Вт)	0.025	6.000	0.037	0.062	1.000	0.062	0.062	6.08	0.062
Показник теплової інерції шару, $D_i=R_i \times s_i$	0.22	15.76	0.33	0.55	5.99	0.55	0.55	5.92	0.55

Запропонований авторами метод визначення інтегрального показника потенціалу огорожуючої конструкції стіни для оцінювання різнохарактерних за одиницями виміру кількісних параметрів полягає у наступному:

1. Визначення нормованого показника з різними одиницями виміру виконано за формулою

$$n_{\text{норм},i} = \frac{n_i}{n_{\text{max},i}}, \quad (6)$$

де  $n_i$  – отримана за формулами (2)...(5) величина  $i$ -того параметру порівняння (див. стовбці табл. 1).

$n_{\text{max},i}$  – максимальне значення  $i$ -того параметру порівняння для кожної  $i$ -тої стрічки табл. 1 для всіх типів стін;

2. Для врахування від'ємного кількісного впливу параметру тиску на фундамент(чим більший тиск на фундамент, тим менша оцінка параметру) обчислено обернену до нормованої величини параметру залежність за формулами

$$c_i = \frac{1}{n_{norm,i}} = \frac{n_{max,found}}{n_{found,i}} \quad (7)$$

$$d_i = \frac{c_i}{c_{max,found}} = \frac{n_{max,found}}{n_{found,i} \cdot c_{max,found}}, \quad (8)$$

де  $n_{max,found}$  – максимальний тиск на фундамент з поміж трьох варіантів влаштування стін;

$n_{found,i}$  – тиск на фундамент для  $i$ -того варіанту влаштування стіни;

$c_{max,found}$  – максимальне значення оберненої до нормованої величини параметру порівняння «тиск на фундамент» (табл. 1) для всіх типів стін;

3. Інтегральний показник потенціалу  $i$ -тої стіни визначається за формулою

$$I_{n,i} = \frac{\sum n_i + d_i}{\sum_A (\sum n_i + d_i)} \quad (9)$$

Де  $\sum n_i + d_i$  – сумарний показник потенціалу  $i$ -того варіанту стіни враховуючи тиск на фундамент;

$\sum_1^3 (\sum n_i + d_i)$  – сума всіх значень потенціалу стін типів «А»...«В».

Порівняння значень інтегрального потенціалу обчисленого за двома методиками представлено на рис. 2

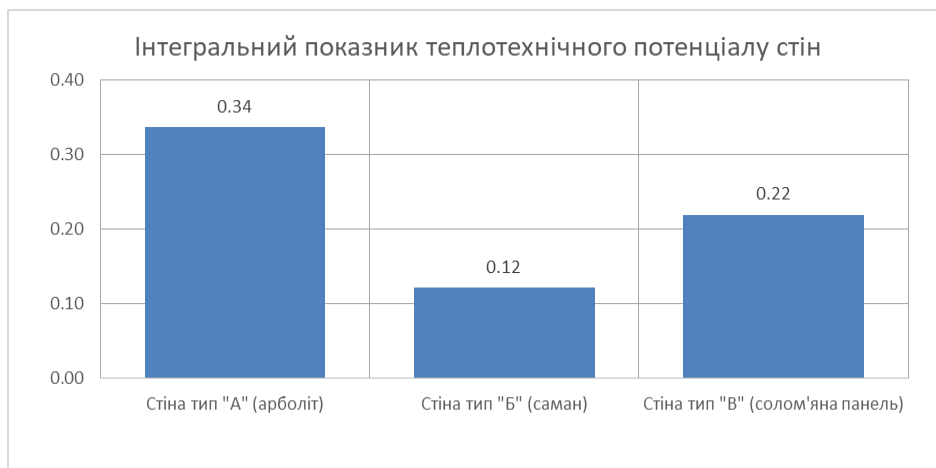


Рис. 2 Порівняння інтегральних показників потенціалу огорожуючої конструкції стіни з природних матеріалів

Очевидно, що отримані величини інтегрального показника є неповними, тому однозначний вибір тут складно зробити. оскільки вони не враховують район будівництва, термін експлуатації конструкції стіни (будівлі) без капітального ремонту а також власне вартість влаштування.

### Висновки

1. Оцінка теплотехнічного потенціалу стін з природних матеріалів особливо актуальна та доцільна при виборі типу матеріалу стін для індивідуальної забудови.

2. Використання арболіту з костри коноплі/льону майже втричі ефективніше ніж саман, та в півтора ризи ефективніше ніж використання солон'яних панелей в контексті досліджуваних параметрів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Смирнова С. Н. Теоретическая модель энергоэффективного здания. Приволжский научный журнал. Серия: Архитектура. Дизайн. 2009. № 2. С. 86–91.
2. Савицький М. В., Бабенко М. М. Показники енергоефективності екологічного малоповерхового будинку з місцевих матеріалів. Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: Инновационные технологии жизненного цикла объектов жилищно-гражданского, промышленного и транспортного назначения. 2014. №. 77. С. 168–172.
3. Лапин Ю. Н. Автономные экологические дома. Москва: Алгоритм, 2005. 416 с.
4. Куліченко І. І. и др. Економічна ефективність використання місцевих екологічних матеріалів в малоповерховому будівництві доступного житла. Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: Инновационные технологии жизненного цикла объектов жилищно-гражданского, промышленного и транспортного назначения. 2013. №. 69. С. 257-264.
5. Шеина С.Г., Миненко Е.Н. Разработка алгоритма выбора энергоэффективных решений в строительстве. Инженерный вестник Дона. 2012. № 4-1 (22). С. 133.
6. Мацура А. А., Ермоленко Б. В. Разработка методов оптимального проектирования энергоэффективных домов. Успехи в химии и химической технологии. 2015. № 8. ТОМ XXIX. С. 118–122.
7. Коршунов О. В., Зуев В. И. Время тепловой инерции и термическое сопротивление слоистых стен. Энергоресурсосбережение и энергоэффективность. 2011. №4(40). С. 23–26.
8. ДСТУ-Н. Б. В. 2.6-190:2013. Настанова з розрахункової оцінки теплостійкості будівлі. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2014. 40 с.
9. ДСТУ Б. В. 2.6-189:2013. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2014. 55 с.
10. Clarke J. A., Yaneske P. P., Pinney A. A. The Harmonisation of Thermal Properties of Building Materials. URL: [http://www.esru.strath.ac.uk/Documents/89/thermop\\_rep.pdf](http://www.esru.strath.ac.uk/Documents/89/thermop_rep.pdf) (дата звернення: 02.03.2018).
11. Правда об енергоефективності саманних домов. URL: <https://superdom.ua/build/planning/79-pravda-ob-energoeffektivnosti-samannyh-domov> (дата звернення: 26.03.2018).
12. Энергоемкость основных строительных материалов URL: <http://cnb.by/servisy/novosti/pochemu-neobhodimo-normirovat-energoemkost-v-stroitelstve> (дата звернення: 30.03.2018).

**Андрій Віталійович Ванжула** – магістрант гр. 1Б-17м, факультет будівництва теплоенергетики та газопостачання, Вінницький національний технічний університет.

Співавтор: **Юрій Семенович Бікс** – канд. техн. наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**Andriy V. Vanzhula** - Master hr. 1B-17m, Department of construction of thermal power and gas, Vinnytsia National Technical University.

Co author **Yuriy S. Biks** – PhD, assistant professor of department of construction, architecture and municipal economy, Vinnytsia National Technical University. Vinnytsia.