

Вінницький національний технічний університет

Кафедра БМГА

**ОЦІНКА ПОТЕНЦІАЛУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ
ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ
МАЛОПОВЕРХОВИХ БУДИНКІВ З ПРИРОДНИХ
МАТЕРІАЛІВ**

Розробив: ст. гр. Б-17мі Ванжула А. В.

Науковий керівник: к.т.н. Бікс Ю. С.

Актуальність теми. Для більш об'єктивної оцінки теплотехнічного потенціалу огорожувальних конструкцій будинків з різних матеріалів слід комплексно враховувати низку фізико-механічних, еколого-економічних та інших параметрів матеріалу для можливості прийняття рішення з вибору того чи іншого матеріалу для зведення стін. Дана робота присвячена визначенню такого критерію для різних варіантів огорожувальних конструкцій з натуральних матеріалів органічного походження.

Мета і основні задачі дослідження.

Метою даної роботи є вирішення науково-технічної задачі аналізу та комплексної оцінки теплотехнічних параметрів багатошарових конструкцій стін з природних матеріалів та вдосконалення способу оптимального вибору конструктивного варіанту багатошарової стіни в контексті фізико-механічних характеристик її шарів.

Відповідно до даної мети необхідно виконати **наступні завдання:**

- Проведення комплексного чисельного моделювання з визначення показників часу теплової інерції стіни, її приведенного опору теплопередачі;
- Проведення комплексного чисельного моделювання з визначення енергетичної ефективності зовнішніх огорожувальних конструкцій;
- Визначити інтегральний комплексний критерій теплотехнічного потенціалу, розрахувати його за методом аналізу ієрархій та запропонувати альтернативну методику оцінки;
- Виконати порівняльний аналіз інтегрального комплексного критерію теплотехнічного потенціалу для всіх типів стін;
- Виконати розрахунок економічної частини з метою оцінити потенціал розробленої методики.

Об'єкт дослідження

- Об'єктом даного дослідження є енергоефективність огорожувальних конструкцій стін з натуральних матеріалів.

Предмет дослідження

- Предметом даного дослідження є комплекс теплофізичних, фізико-механічних та економічних параметрів огорожуючої конструкції стіни з натуральних матеріалів.

Вступ

Існуюча загальносвітова тенденція використання матеріалів природного походження для зведення індивідуального житла в контексті концепції сталого розвитку зумовлює наявний сплеск у використанні відомих натуральних матеріалів та їх комбінацій, пошук нових технологічних рішень.

Особливе місце тут займає тренд екобудинків – в першу чергу зведених з екологічних матеріалів, низькоенергетичних та дружніх до довкілля. Поширення даної тенденції в світі взагалі та в Україні зокрема набуває особливого значення [1]. Визначення оптимального типу будівельного матеріалу для сучасної, дружньої до навколишнього середовища забудови, з огляду на наявні рішення постає зовсім не тривіальною задачею.

В нашій державі серед найпоширеніших природних матеріалів та «зелених» технологічних рішень слід відмітити:

- ✓ відомий вже не одно століття **саман**;
- ✓ сучасний та технологічний **арболіт** (збірний або монолітний, різновидом якого є костробетон на костриці технічної коноплі, льону);
- ✓ **дерев'яне каркасне будівництво** (зруби, подвійний каркас з ефективним утеплювачем);
Серед забутих та нових технологій зведення є й такі екзотичні як:
- ✓ **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.

На передній план зараз виходить не тільки і не стільки вартість самого матеріалу, а загальносвітова тенденція до використання матеріалів, що завдають мінімальної шкоди навколишньому середовищу (критерієм цієї шкоди є т. з. **індекс первинного споживання енергії**, що вимірюється у МДж/м²). Фактично це обсяг необхідних енергетичних ресурсів на виробництво та обслуговування 1м² поверхні, (англ. **Primary Energy Input (PEI) index**) [2].

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 [3].

Вибір типу матеріалу для зведення огорожуючих конструкцій стін, елементів перекриття/покриття не завжди очевидний, потребує одночасного аналізу цілої низки впливаючих факторів [2, 4]. Як зауважує Ю. М. Лапін [5] «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 [6].

Основний матеріал і результати

Для України, за даними Саницького М. А. [4] частка тепла, яка витрачається на опалення житлових будинків складає майже три чверті від тепла, яке генерується при спалюванні палива (рис. 1).

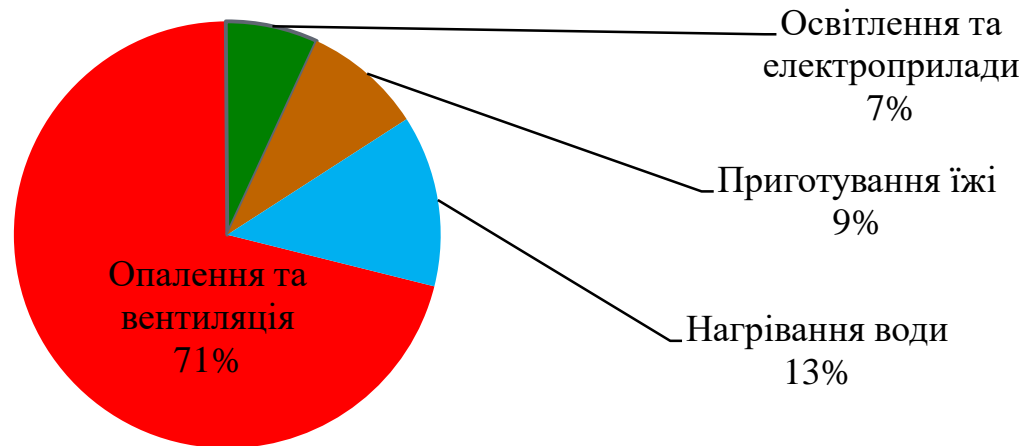


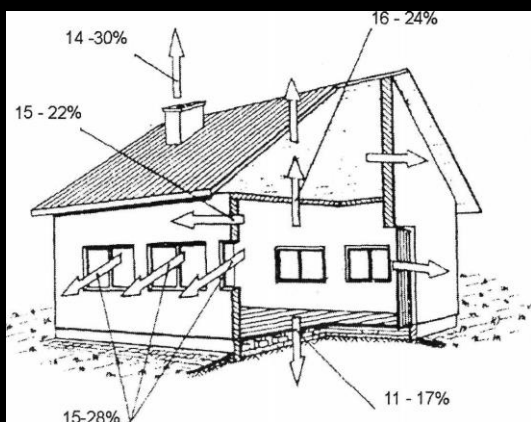
Рис. 1 – Орієнтовний розподіл витрат тепла в житлових будинках

Енергоефективний або пасивний будинок (англ. *passive house*) – будівля, основною особливістю якої є низьке енергоспоживання (приблизно 10% від питомого енергоспоживання на одиницю об'єму).

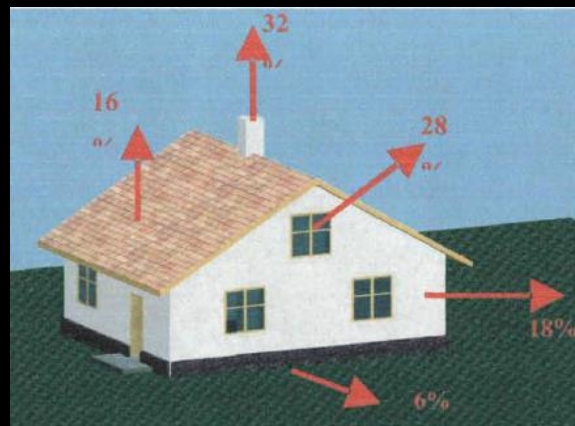
Витрата енергії на опалення в пасивному будинку не повинна перевищувати 15 кВт×год/м²×рік.

Основні втрати тепла в будинках пов'язані з нещільним примиканням різних за своїми теплотехнічними характеристиками матеріалів (віконних/дверних рам до огорожуючих конструкцій стін, від різних за теплопровідністю включень (містків холоду)) тощо. На думку автора [5], за невеликим виключенням всі енерговитрати будинку носять тепловий характер, оскільки майже вся енергія, що виділяється у будинку – чи то механічна, чи електрична або променева переходить, перш ніж залишити будівлю, у теплову форму. Теплова енергія втрачається будинком у трьох основних напрямках (рис.2):

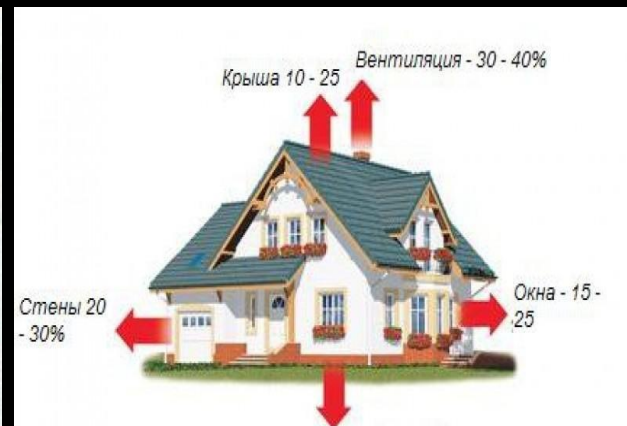
- через непрозорі огорожуючі конструкції (стіни, підлога, стеля);
- через світлопрозорі огороження (вікна, ліхтарі);
- за рахунок вентиляції.



а)



б)



в)

Рис. 2 – Орієнтовний розподіл втрат тепла в одноповерховому будинку, (а – за даними [5], б – за даними [9]; в – за даними [10])

З рис. 2 очевидно, що усереднені втрати мають один порядок величин, причому дані [9] стосуються будинку, до якого ще не було висунуто вимоги по сучасному теплозахисту.

Як зазначає Bläsi W.[10] основні втрати в залежності від типу будівлі, її конфігурації та інших параметрів показники втрат будуть змінюватись, але для загального розуміння величини втрат скористаємось даними значеннями. Отже втрати тепла від роботи опалення складатимуть 32%, через вікна – 28% (причому 20% -через скло та рами, 8% – через нещільності вікон та за рахунок вентиляції, через стіни – 18%, через покрівлю – 16%, через підвал – 6% [10].

З іншого боку, для кількісної оцінки тепловтрат через стіни будівлі можна використати таке поняття як теплова інерція [11, 12], що показує наскільки огорожуюча конструкція є ефективною з точки зору періоду часу, при якому відбувається стабілізація температури зовнішньої та внутрішньої поверхні стіни. Як зазначають Коршунов О. В., та Зуєв В. І. [12], для фактично завжди багат шарових огорожуючих конструкцій стін, неможливо використовувати залежності часу теплової інерції $\tau_{и}$ в простому виді для однорідної стінки:

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

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

ρ – густина, кг/м³;

$R = \delta / \lambda$ – термічний опір м²×К/Вт;

δ – товщина, м;

λ – теплопровідність матеріалу стіни, Вт/м×К.

Тому для чисельного моделювання будемо використовувати аналітичну залежність для багат шарових стін [12]:

$$\tau_{и} = \tau_{и}^{\text{`}} S_n \quad (2)$$

де $\tau_{и}^{\text{`}}$ – час інерції однорідної стіни товщиною δ з параметрами першого шару:

$$\tau_{и}^{\text{`}} = c_1 \rho_1 \delta^2 / \pi^2 \lambda_1, \quad (3)$$

S_n – фактор шаруватості огорожувачої конструкції стіни

$$S_n = \{3\delta_{заг} \delta_1^2 - 2\delta_1^3 + \frac{\lambda_1}{c_1 \rho_1} \sum_{i=2}^n c_i \rho_i \delta_i^2 [\frac{\Delta \delta_i}{\lambda_i} + (1 + 2 \frac{\Delta \delta_i}{\delta_i}) (3 \sum_{j=1}^{i-1} \frac{\delta_j}{\lambda_j} + \frac{\delta_i}{\lambda_i})]\} \delta_{заг}^{-3} \quad (4)$$

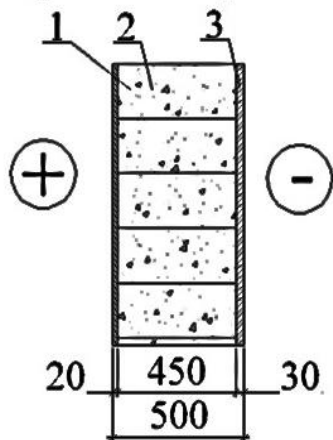
$\delta_{заг}$ – загальна товщина конструкції багат шарової стіни;

δ_1 – товщина першого шару багат шарової конструкції стіни;

$\Delta \delta_i$ – товщина огорожувачої конструкції стіни починаючи з другого шару $i = 2$.

Для аналізу та чисельного моделювання використано п'ять типів огорожувальних конструкцій стін будинків з природних матеріалів органічного походження (рис. 3): стіна з арболіту (тип «А»), стіна з саману (тип «Б»), стіна з солом'яної панелі (тип «В»), стіна з землебіту (тип «Г») та стіна з чуркобетону (глиночурки) (тип «Д»).

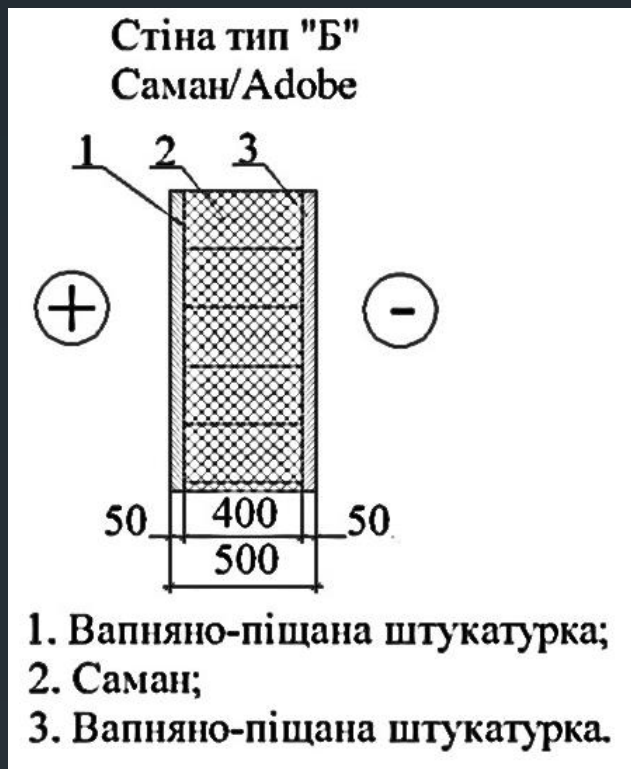
Стіна тип "А"
Арболіт/hempcrete



1. Вапняно-піщана штукатурка;
2. Арболіт;
3. Вапняно-піщана штукатурка.

Теплофізичні та механічні характеристики шарів конструкції стіни	Конструктивний шар стіни починаючи з середини приміщення		
	Внутрішня вапняно-піщана штукатурка	Арболіт з костри льону	Зовнішня вапняно-піщана штукатурка
Питома теплоємність матеріалу шару, c_i (Дж/кг×К)	840	2300	840
Товщина шару, δ_i (м)	0.02	0.45	0.03
Густина шару ρ_i , (кг/м ³)	1600	550	1600
Маса 1м ² стіни, кг	32	247.5	48
Теплопровідність шару λ_i , (Вт/м×К)	0.81	0.075	0.81
Коеф. Теплозасвоєння шару, s_i (Вт/м ² ×К) за формулою	8.90	2.63	8.90
Термічний опір і-го шару, R_i (м ² ×К/Вт)	0.025	6.000	0.037
Показник теплової інерції шару D	0.22	15.76	0.33

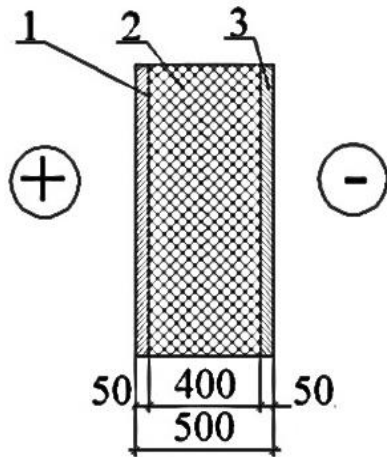
Рис. 3 – Конструктивне виконання та теплофізичні параметри стіни типу «А»



Тепло-фізичні та механічні характеристики шарів конструкції стіни	Конструктивний шар стіни починаючи з середини приміщення		
	Внутрішня вапняно-піщана штукатурка	Саман	Зовнішня вапняно-піщана штукатурка
Питома теплоємність матеріалу шару, c_i (Дж/кг×К)	840	880	840
Товщина шару, δ_i (м)	0.05	0.4	0.05
Густина шару ρ_i , (кг/м ³)	1600	1400	1600
Маса 1м ² стіни, кг	80	560	80
Теплопровідність шару λ_i , (Вт/м×К)	0.81	0.4	0.81
Коеф. Теплозасвоєння шару, s_i (Вт/м ² ×К) за формулою (3.14)	8.90	5.99	8.90
Термічний опір і-го шару, R_i (м ² ×К/Вт)	0.062	1.000	0.062
Показник теплової інерції шару D	0.55	5.99	0.55

Рис. 4 – Конструктивне виконання та теплофізичні параметри стіни типу «Б»

Стіна тип "В"
Солом'яна панель/straw bale panel

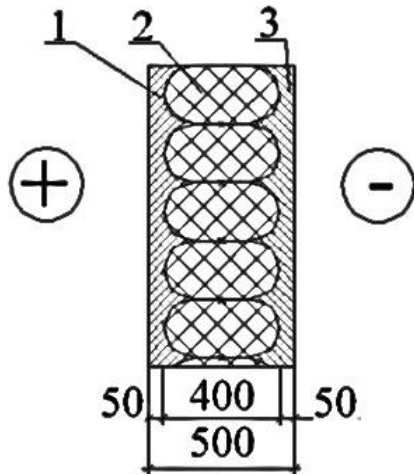


1. Вапняно-піщана штукатурка;
2. Солом'яний блок;
3. Вапняно-піщана штукатурка.

Тепло-фізичні та механічні характеристики шарів конструкції стіни	Конструктивний шар стіни починаючи з середини приміщення		
	Внутрішня вапняно-піщана штукатурка	Солом'яна панель	Зовнішня вапняно-піщана штукатурка
Питома теплосмієність матеріалу шару, c_i (Дж/кг×К)	840	1675.00	840
Товщина шару, δ_i (м)	0.05	0.40	0.05
Густина шару ρ_i , (кг/м ³)	1600	120.00	1600
Маса 1м ² стіни, кг	80	47.40	80
Теплопровідність шару λ_i , (Вт/м×К)	0.81	0.07	0.81
Коеф. Теплозасвоєння шару, s_i (Вт/м ² ×К) за формулою	8.90	0.97	8.90
Термічний опір і-го шару, R_i (м ² ×К/Вт)	0.062	6.08	0.062
Показник теплової інерції шару D	0.55	5.92	0.55

Рис. 5 – Конструктивне виконання та теплофізичні параметри стіни типу «В»

Стіна тип "Г"
Землебит/earthbag building

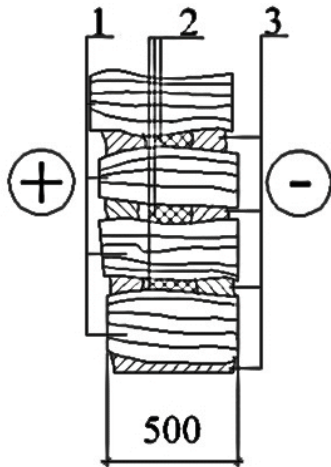


1. Вапняно-піщана штукатурка;
2. Мішки з утрамбованим ґрунтом;
3. Вапняно-піщана штукатурка.

Тепло-фізичні та механічні характеристики шарів конструкції стіни	Конструктивний шар стіни починаючи з середини приміщення		
	Внутрішня вапняно-піщана штукатурка	Щільно спресований ґрунт у мішках	Зовнішня вапняно-піщана штукатурка
Питома теплоємність матеріалу шару, c_i (Дж/кг×К)	840	837	840
Товщина шару, δ_i (м)	0.05	0.4	0.05
Густина шару ρ_i , (кг/м ³)	1600	2000	1600
Маса 1м ² стіни, кг	80	800	80
Теплопровідність шару λ_i , (Вт/м×К)	0.81	1.05	0.81
Коеф. Теплозасвоєння шару, s_i (Вт/м ² ×К)	8.90	11.31	8.90
Термічний опір і-го шару, R_i (м ² ×К/Вт)	0.062	0.381	0.062
Показник теплової інерції шару D	0.55	4.31	0.55

Рис. 6 – Конструктивне виконання та теплофізичні параметри стіни типу «Г»

Стіна тип "Д"
Глиночурка/Cordwood masonry



1. Дерев'яні чурки;
2. Природний утеплювач (подрібнена солома);
3. Вапняно-піщаний розчин.

Тепло-фізичні та механічні характеристики шарів конструкції стіни	Конструктивний шар стіни починаючи з середини приміщення		
	Внутрішня вапняно-піщана штукатурка +чурки з дерева	Утеплювач з посіченої соломи	Зовнішня вапняно-піщана штукатурка+чурки з дерева
Питома теплосмність матеріалу шару, c_i (Дж/кг×К)	2146.67	1675.00	2146.67
Товщина шару, δ_i (м)	0.10	0.30	0.10
Густина шару ρ_i , (кг/м ³)	866.67	200.00	866.67
Маса 1м ² стіни, кг	86.67	60.00	86.67
Теплопровідність шару λ_i , (Вт/м×К)	0.71	0.08	0.71
Коеф. Теплозасвоєння шару, s_i (Вт/м ² ×К)	9.80	1.35	9.80
Термічний опір і-го шару, R_i (м ² ×К/Вт)	0.14	4.00	0.14
Показник теплової інерції шару D	1.38	5.41	1.38

Рис. 5 – Конструктивне виконання та теплофізичні параметри стіни типу «Г»

Теплофізичні та фізико-механічні параметри огорожувальних конструкцій для різних типів стін

Теплофізичні та механічні параметри стін	Тип стіни				
	Тип «А»	Тип «Б»	Тип «В»	Тип «Г»	Тип «Д»
Теплова інерція базового шару τ_n , год за формулою	11.67	11.67	11.44	11.67	18.44
Коефіцієнт шаруватості багат шарової конструкції стіни, S_n за формулою	9.11	1.61	1.68	1.03	1.62
Сумарна теплова інерція багат шарової конструкції τ_n , год за формулою	106.32	18.77	19.22	11.98	29.85
Сумарний термічний опір стіни R , ($m^2 \times ^\circ C / Wt$)	6.06	1.12	6.20	0.50	4.28
Показник теплової інерції стіни, $\Sigma D_i = \Sigma (S_i \times R_i)$	16.31	7.08	7.02	5.41	8.17
Тиск на фундамент p , кг/м.п.	655.00	1440.00	418.99	1920.00	466.67

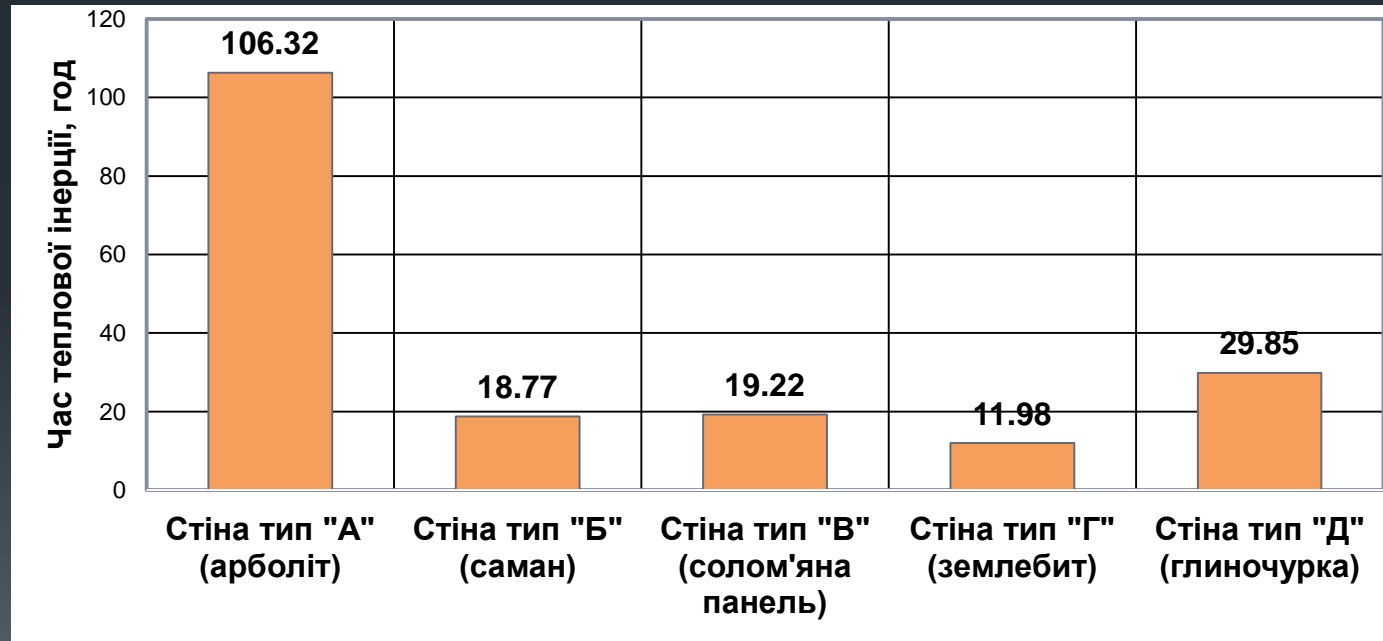


Рис. 7 – Час теплової інерції для різних стін

Вартісні параметри огорожувальних конструкцій для різних типів стін

Критерій	Стіна тип «А» (арболіт)	Стіна тип «Б» (саман)	Стіна тип «В» (солом'яна панель)	Стіна тип «Г» (землебит)	Стіна тип «Д» (глиночурка)
Вартість матеріалів, грн/м ² стіни	1 178.26	1516.52	1536.52	816.52	321 1/2
Вартість роботи, грн/м ² стіни	353.48	454.96	768.26	653.22	643
Вартість роботи+матеріалів, грн/м ² стіни	1 531.74	1 971.48	2 304.78	1 469.74	964.60
Прийнятий термін експлуатації T _{еб} , років	50	50	50	50	50

Д.т.н. Савіним В. К. запропоновано методику для визначення мінімальних енергозатрат при розрахунку оболонки будівлі. Для цього спочатку визначають безрозмірний критерій Sa , що вказує, наскільки тепловтрати 1 м² огорожувальної конструкції, що має опір теплопередачі R_0^* , більше чи менше теплової енергії, що затрачена на її створення та монтаж протягом строку служби огорожувальної конструкції.

Це пов'язує енергоємність конструкції, теплозахисну характеристику, район будівництва та довговічність, що є додатковим комплексним критерієм для об'єктивного вибору типу огорожувальної конструкції стіни.

Безрозмірний критерій Sa визначається за формулою

$$Sa = \frac{Q_k^* \cdot R_0^*}{24 \cdot D \cdot z},$$

Q_k^*

– енергоємність еталонного елемента, що дорівнює 1 кВт×год/м²;

R_0^* – опір теплопередачі конструкції, що дорівнює 1 м²×°C/Вт;

D – кількість градусо-днів опалювального періоду для міста будівництва, °C ×днів;

$$z = \frac{z_{\text{експл}}}{z_{\text{оп.період}}}$$

– безрозмірна величина, яка є співвідношенням періоду експлуатації

Мінімальний сумарний коефіцієнт теплопередачі та акумуляції тепла 1м² елемента зовнішнього огородження при різниці температур в 1°С знаходимо за формулою

$$K_{\text{сум}}^{\text{min}} = 2 \cdot K_e^* \cdot Sa^{1/2} = 2 \cdot 1 \cdot Sa^{1/2} = 2 \cdot Sa^{1/2}, \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}} \right].$$

Мінімальні сумарні річні енергетичні витрати, що враховують витрати на створення конструкції та її експлуатацію обчислюють за формулою

$$q_{\text{сум}}^{\text{min}} = 0,024 \cdot D \cdot K_{\text{сум}}^{\text{min}}, \left[\text{кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2 \cdot \text{°C} \right].$$

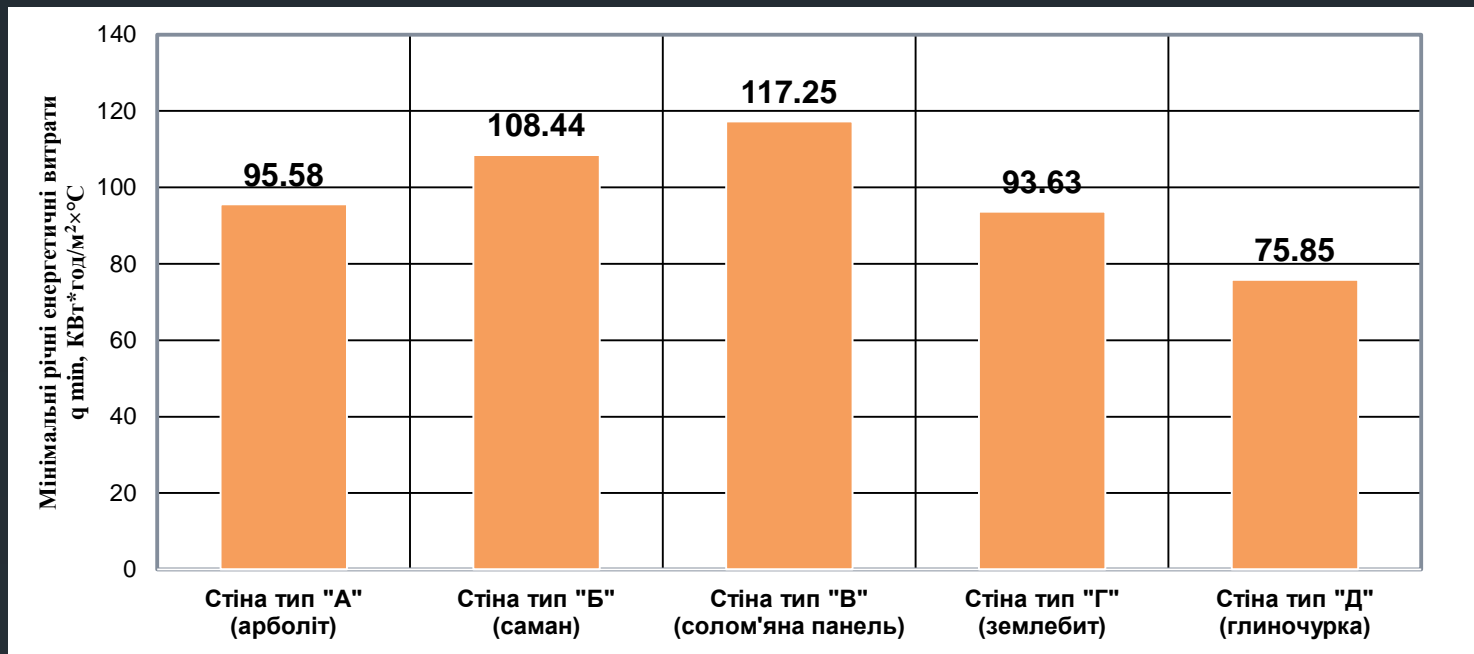


Рис. 8 – Мінімальні річні енерговитрати для різних типів стін

Для більш об'єктивної, багатокритеріальної оцінки показників кожного з досліджуваних варіантів влаштування огорожувальних конструкцій стін застосовано метод аналізу ієрархій MAI (the analytic hierarchy process, АНР) Сааті Т. Л., де в якості цільової функції обрано *інтегральний показник потенціалу енергоефективності* – безрозмірний критерій, який дозволяє оцінити вплив різнорозмірних показників на величину цільової функції.

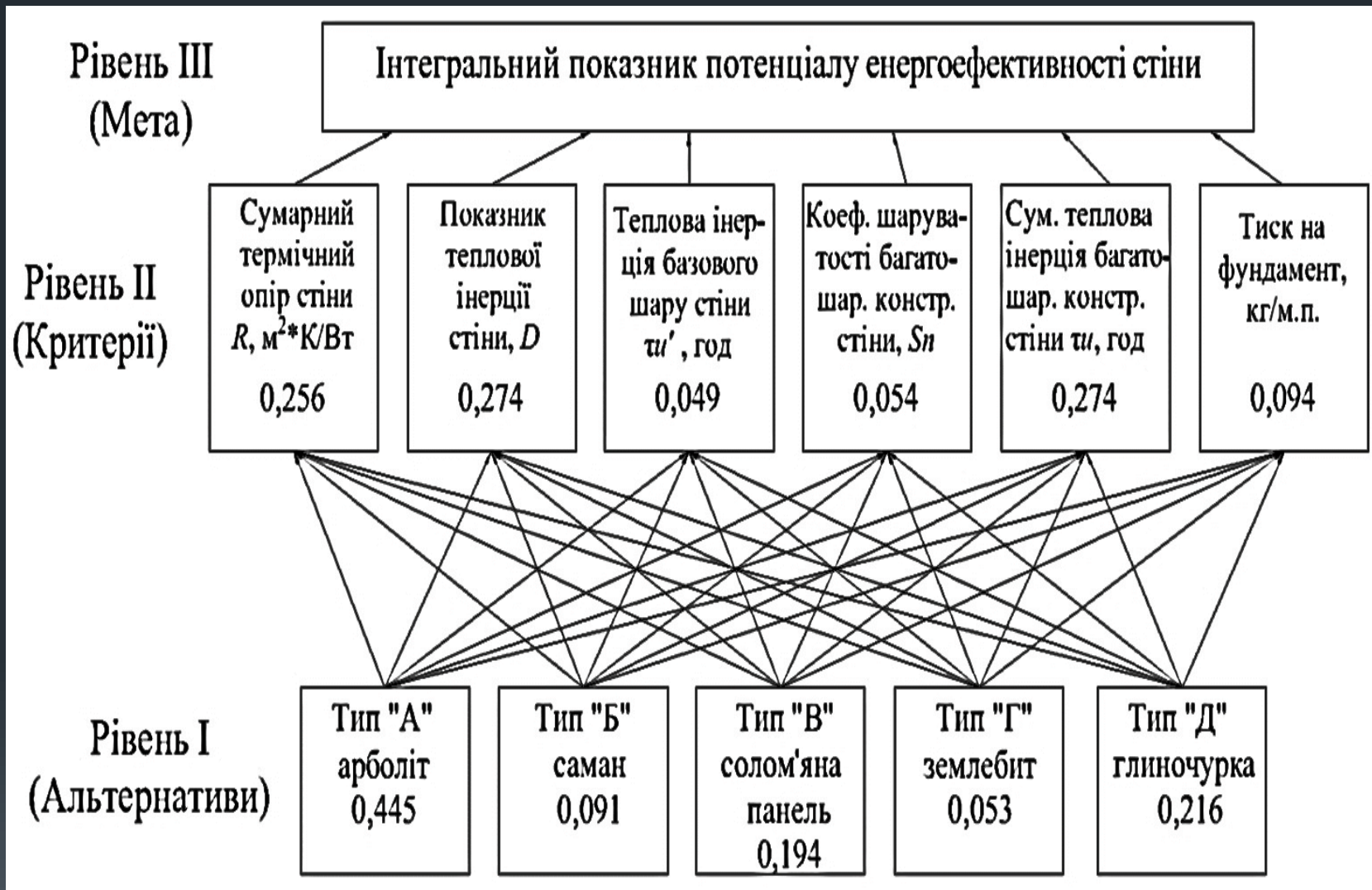


Рис. 9 Трьохрівнева ієрархія для визначення інтегрального показника за МАІ

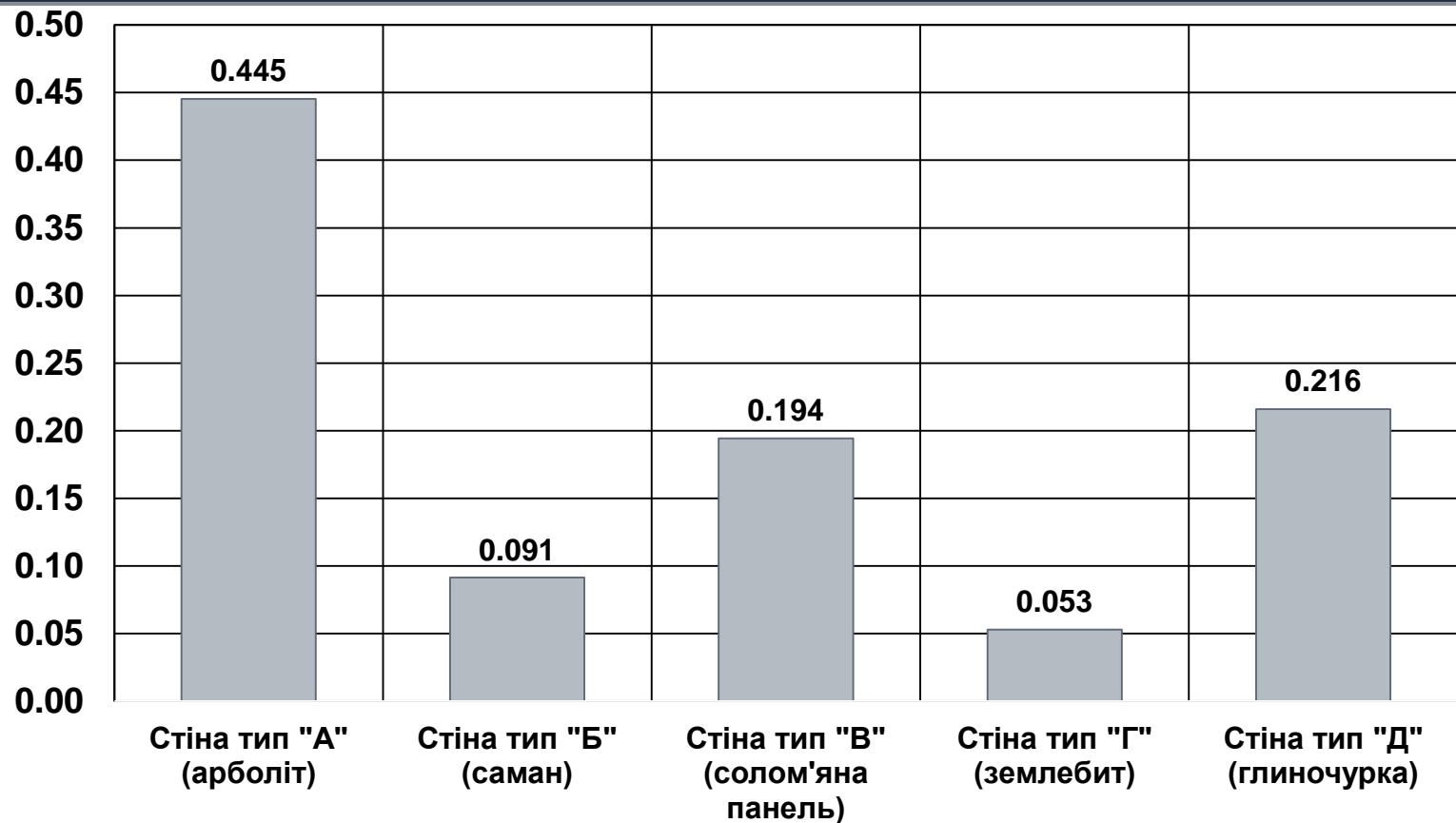


Рис. 10 Величина інтегрального показника потенціалу енергоефективності для огорожувальних конструкцій стін будинків з природних матеріалів органічного походження обчислена за МАІ

Альтернативна методика визначення інтегрального показника потенціалу енергоефективності огорожувальних конструкцій стін

$$n_{\text{норм},i} = \frac{n_i}{n_{\text{max},i}}$$

n_i - отримана за формулами величина i -го параметру порівняння

$$d_i = \frac{c_i}{c_{\text{max},\phi}} = \frac{n_{\text{max},\phi}}{n_{\phi,i} \cdot c_{\text{max},\phi}},$$

$n_{\text{max},\phi}$

– максимальний тиск на фундамент з поміж п'ятьох варіантів влаштування стін, кг/м.п.;

$n_{\phi,i}$

– тиск на фундамент для i -того варіанту влаштування стіни, кг/м.п.;

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

$c_{\text{max},\phi}$

– максимальне значення оберненої до нормованої величини параметру порівняння «тиск на фундамент» для різних типів стін;

$\sum n_i + d_i$

– сумарний показник потенціалу i -того варіанту стіни враховуючи тиск на фундамент;

$\sum_A (\sum n_i + d_i)$

– сума всіх значень потенціалу стін типів «А»...«Д».

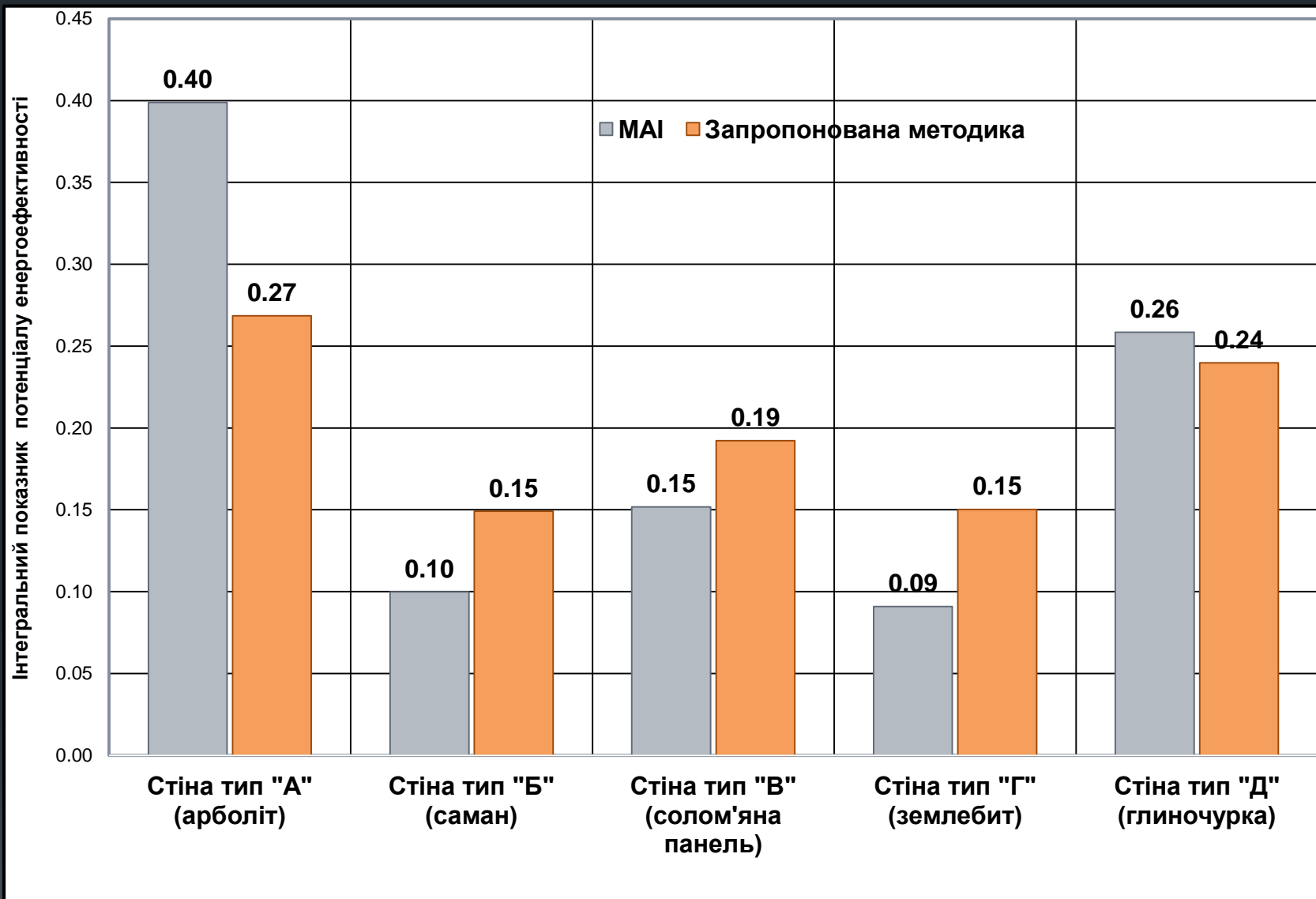


Рис. 10 Порівняння величини інтегрального показника потенціалу енергоефективності для огорожувальних конструкцій обчислена за різними методиками

Висновки

В магістерській кваліфікаційній роботі виконано розрахунок часу теплової інерції різних типів багат шарових огорожувальних конструкцій з матеріалів органічного походження, розроблено методику визначення інтегрального показника потенціалу енергоефективності. До основних результатів роботи можна віднести:

1. Енергоефективність будівлі залежить від багатьох теплофізичних параметрів матеріалу, основними з яких є теплоємність, термоінерційність, теплостійкість, які є функціями матеріалу.
2. Використання комплексної багатокритеріальної оцінки енергоефективності дозволяє виявити вплив економічних, теплофізичних, кліматичних факторів, тощо. При цьому, кількісна оцінка отримана за різними методиками буде відрізнятися за своєю величиною, в залежності від математичного апарату прийнятого до розрахунку.
3. При чисельному моделюванні визначення часу теплової інерції огорожувальних конструкцій з природних матеріалів органічного походження виявлено, що найбільш інерційним є варіант стіни з арболітових блоків, найменшим часом теплової інерції володіє стіна з землебиту – 106 та 12 годин відповідно, що можна пояснити різницею в теплофізичних показниках.
4. Комплексне врахування теплофізичних, механічних, економічних та кліматичних параметрів при оцінці в долях одиниці за МАІ (0,40) та запропонованою методикою (0,27) свідчить про найбільший потенціал стіни з арболітових блоків, причому він є максимальним при розрахунку по двом різним за своїм математичним апаратом методикам.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сычев С. А. Эко технологии строительства с учетом критериев энергоэффективного зданий. SCIENCE TIME. 2014. №10. С. 343–349.
2. Brojan L., Petric A., Clouston Peggi L. A comparative study of brick and straw bale wall systems from environmental, economical and energy perspectives. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2013. Vol. 8, No. 11. P. 920–926.
3. Смирнова С. Н. Теоретическая модель энергоэффективного здания. Приволжский научный журнал. Серия: Архитектура. Дизайн. 2009. № 2. С. 86–91.
4. Савицкий 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.
5. Лапин Ю. Н. Автономные экологические дома. Москва: Алгоритм, 2005. 416 с.
6. 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.
7. Шеина С.Г., Миненко Е.Н. Разработка алгоритма выбора энергоэффективных решений в строительстве. Инженерный вестник Дона. 2012. № 4-1 (22). С. 133.
8. 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.
9. Bläsi W. Bauphysik. Bibliothek des technischen Wissens. 3 Auflage. Naan: Verlag Europa Lehrmittel, 2001. 536 p.
10. Особенности малоэтажного энергоэффективного экологического строительства в разных климатических зонах. URL: http://www.itp.nsc.ru/conferences/mzhz_2017/files/Section_02.pdf#page=16 (дата звернення: 02.03.2018).
11. Arumi-Noe F., Hamilton K. Thermal inertia of Straw bale walls. – Buildings XII Conference, Florida (Diciembre, 2015), USA. URL: http://web.ornl.gov/sci/buildings/2012/1998%20B7%20papers/063_Arumi_Noel.pdf. (дата звернення: 13.03.2018).
12. Коршунов О. В., Зуев В. И. Время тепловой инерции и термическое сопротивление слоистых стен. Энергоресурсосбережение и энергоэффективность. 2011. №4(40). С. 23–26.
13. Височин І. А. Дослідження ефективності існуючих утеплювачів в багатошарових конструкцій зовнішньої стіни. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серия: «Будівництво», 2012. №5 (16). С. 3–12.

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!

