

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

УДК 725.691.2:504

Г. С. Ратушняк
Ю. С. Бікс
А. О. Лялюк

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ ЧЕРЕЗ ЗОВНІШНІЙ БАГАТОШАРОВИЙ СОЛОМ'ЯНИЙ СТІНОВИЙ БЛОК

Вінницький національний технічний університет

Запропоновано конструктивне виконання зовнішнього багатошарового стінового теплозвукоізоляційного блоку. Блок містить плиту із матеріалів різної густини та теплопровідності. Основним теплоізоляційним матеріалом є пресована солома, що оброблена антисептиком та антипіреном. Зовнішню поверхню блока армовано полімерною сіткою та декоративним оздоблювальним шаром складного цементно-глиняно-пісчаного розчину. Внутрішню поверхню блока оштукатурено шаром повітропроникної глиняно-пісчаної суміші. Наведено систему балансових рівнянь теплових потоків на межі шарів теплозвукоізоляційного блоку. Виконано чисельне математичне моделювання огорожувальної конструкції з врахуванням теплофізичних властивостей матеріалів багатошарового солом'яного стінового блоку. Установлено що найбільші значення приведенного опору теплопередачі для запропонованого конструктивного виконання зовнішнього багатошарового теплозвукоізоляційного блоку при співвідношенні максимальна товщина спресованої соломи та найменша її теплопровідність, а найменші значення при співвідношенні мінімальної товщини спресованої соломи до максимальної її теплопровідності.

Ключові слова: моделювання, опір теплопередачі, солом'яний стіновий блок, теплопровідність.

Вступ

Обсяги будівництва малоповерхових житлових будівель з використанням малорозмірних елементів в світі та Україні щорічно зростають [1, 2]. Найбільш поширеними є безкаркасні та каркасно-панельні будівлі з просторових об'ємних блоків, матеріалом яких є саман, цегла, арболіт, керамзитобетон, пінобетон, ракушечник тощо [3-6]. Унікальним природним матеріалом, що перевершує відомі будівельні матеріали за своїми теплофізичними властивостями, є солома злакових культур, що може бути використана як у вигляді несучих/самонесучих елементів огорожувальної конструкції будівлі (солом'яні блоки) [1,2] так і елементом заповнення промислово виготовлених панелей [7]. Крім теплофізичних характеристик перевагами використання солом'яних блоків в малоповерховому житловому будівництві є біопозитивність, швидкість зведення конструкцій та незначна потреба теплової енергії на створення комфортних мікрокліматичних умов проживання [8-10]. Для моделювання розрахунку термічного опору складеної багатошарової конструкції стінового огороження зовнішніх стін будівлі запропоновано багатошарову стінову конструкцію, що складаються з солом'яних стінових блоків, наприклад [11-13], а також досліджено деякі їх теплотехнічні характеристики [5].

Метою роботи є розроблення фізико-математичної моделі теплопередачі через зовнішній багатошаровий теплозвукоізоляційний солом'яний стіновий блок.

Основна частина

У сучасній практиці будівництва в Україні, для зовнішнього утеплення фасадів, як правило використовуються стінові теплоізоляційні елементи, які містять жорстку основу у вигляді теплоізолюючої плити із мінеральної вати або пінополістиролу, опоряджені шаром захисного покриття по армувальній сітці [14]. Ці матеріали мають значну вартість, у них відсутній дієвий захисний гідроізоляційний шар. З метою усунення цих недоліків запропоновано зовнішній стіновий теплозвукоізоляційний блок у вигляді багатошарової конструкції із зовнішнім декоративно-оздоблювальним та повітропропускним шарами з внутрішньої сторони. Між зовнішнім та внутрішнім шарами як теплоізоляційний матеріал використовується пресована

солома, яка є дешевим й екологічно чистим матеріалом [1, 2, 7, 8, 9, 11-13]. Такий стіновий блок сприяє зменшенню тепловтрат із будівлі у зовнішнє середовище.

На рис. 1 наведено складові конструктивного виконання зовнішнього багатошарового стінового теплозвукоізоляційного блоку в поперечному перерізі, в якому як теплоізоляційний матеріал використовується спресована солома [13]

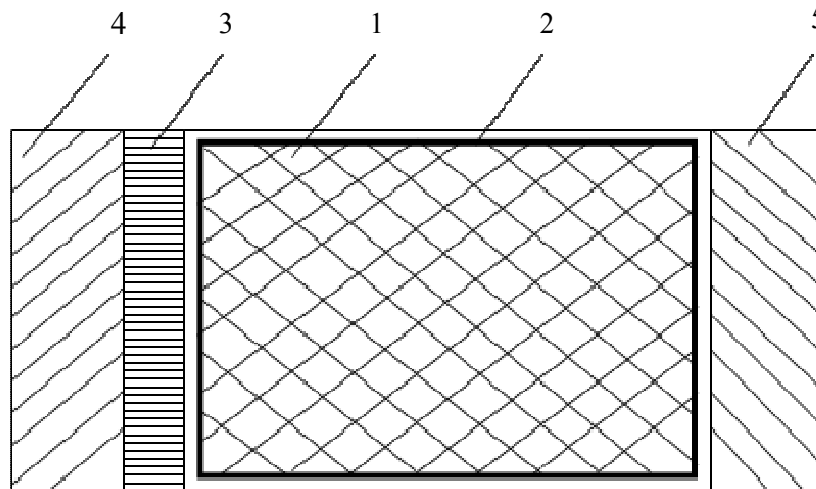


Рисунок 1 – Зовнішній багатошаровий стіновий теплозвукоізоляційний блок (1 – блок, 2 – полімерна сітка, 3 – тепловідбивна та гідроізоляційна плівка, 4 – декоративно-оздоблювальний водонепроникний шар складного цементно-глиняно-піщаного розчину, 5 – повітропроникна глиняно-піщана суміш)

Зовнішній багатошаровий стіновий теплозвукоізоляційний блок (рис. 1) містить плиту із матеріалів різної густини та теплопровідності, що виготовлено із спресованої обробленої антисептиком та антипіреном соломи 1. По зовнішній поверхні периметра блок армовано полімерною сіткою 2. Зовнішню поверхню блока 1 захищено тепловідбивною та гідроізоляційною плівкою 3 та покрито декоративно-оздоблювальним водонепроникним шаром складного цементно-глиняно-піщаного розчину 4. Внутрішню поверхню блока 1 оштукатурено шаром повітропроникної глиняно-піщаної суміші 5. В якості тепловідбивної ізоляції використовується матеріал з теплопровідністю не більше ніж $0,05 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, на поверхні якого влаштовано тонкий шар матеріалу з високою відбивною властивістю, а саме коефіцієнтом чорноти від 0,04 до 0,05.

При проектуванні захисних огорожувальних конструкцій будівель за теплофізичними параметрами необхідно достовірно поставити завдання та запропонувати обґрунтовану математичну модель процесу теплопередачі з врахуванням достовірних початкових умов [14]. На рис. 2 наведено схему конструкції зовнішнього багатошарового солом'яного стінового блоку, на якій позначено окремі теплозахисні шари товщиною δ_i та теплопровідністю λ_i та характерні межі між ними, що відповідають внутрішній й зовнішній поверхням та стикам шарів із різних за теплофізичними властивостями матеріалів.

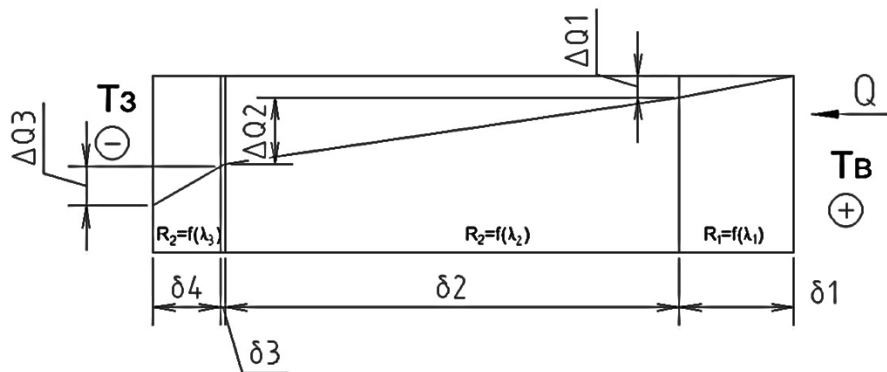


Рисунок 2 – Схема до фізико-математичної моделі теплопередачі через зовнішній багатошаровий солом'яний стіновий блок

Процес теплопередачі через зовнішній багатошаровий солом'яний стіновий блок (рис. 2) досліджується для таких початкових умов. Розглядається холодний період року коли внутрішня

температура в приміщенні T_e більше зовнішньої T_z . Товщини шарів δ_i та їх теплопровідність λ_i незмінні, а шар 3 з тепловідбивної та гідроізоляційної плівки своє відбивною поверхнею розміщено до внутрішньої поверхні блока. Теплопровідність окремих шарів λ_i визначається теплофізичними властивостями матеріалу. На границі шарів різних матеріалів стінового блока температури T_i та T_{i+1} однакові.

Тепловий баланс захисного шару огорожувальної конструкції описується диференціальним рівнянням Фур'є [16-18]

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, \quad (1)$$

де c – масова теплоємність матеріалу захисного шару, Дж/(кг·К);

ρ – щільність матеріалу, кг/м³;

T – температура поверхні матеріалу, °К;

x – товщина захисного шару, м;

τ – час зміни температури;

λ – теплопровідність, Вт/(м·К).

Зміна кількості акумульованого тепла для елементарного захисного шару ΔQ_i огорожувальної конструкції товщиною $\Delta \delta_i$ при зміні в часі τ його середньої температури на величину ΔT_i описується рівнянням [17,18]

$$\Delta Q_i = c_i \rho_i \Delta \delta_i \Delta T_i, \quad (2)$$

де $\Delta \delta_i$ – відповідно товщина шару глиняно-піщаної суміші δ_1 , спресованої соломи δ_2 , тепловідбивної та гідроізоляційної плівки δ_3 та цементно-глиняно-піщаного розчину δ_4 .

Система балансових рівнянь теплових потоків на межі шарів теплозвукоізоляційного солон'яного стінового блоку (рис. 2) має такий вигляд:

Величина теплового потоку на межі шарів 1 та 2

$$Q_1 = (Q_B - \Delta Q_1). \quad (3)$$

Величина теплового потоку на межі шарів 2 та 3

$$Q_2 = (Q_1 - \Delta Q_2 + \Delta Q_2''). \quad (4)$$

Величина теплового потоку на межі шарів 3 та 4

$$Q_3 = (Q_2 - \Delta Q_3). \quad (5)$$

Величина теплового потоку на зовнішній поверхні стінового блоку

$$Q_4 = (Q_3 - \Delta Q_4). \quad (6)$$

Сумарні тепловтрати через зовнішній багат шаровий теплозвукоізоляційний стіновий блок (рис. 2) визначаються як

$$\Delta Q = \Delta Q_1 + \Delta Q_2 + \Delta Q_3 + \Delta Q_4. \quad (7)$$

де ΔQ_1 , ΔQ_2 , ΔQ_3 , ΔQ_4 – тепловтрати відповідно через шар повітропроникної глиняно-піщаної суміші 1 товщиною δ_1 та теплопровідністю λ_1 , шар спресованої соломи товщиною δ_2 та теплопровідністю λ_2 , шар тепловідбивної та гідроізоляційної плівки 3 товщиною δ_3 та теплопровідністю λ_3 , шар цементно-глиняно-піщаного розчину 4 товщиною δ_4 та теплопровідністю λ_4 ;

$\Delta Q_2''$ – відбита в напрямку приміщення теплота від тепловідбивної плівки.

Величина сумарних тепловтрат через зовнішній багат шаровий стіновий блок визначається значенням сумарного опору теплопередачі

$$R_{\text{пр}} = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} \quad (8)$$

Результати чисельного моделювання непрозорої теплоізоляційної огорожувальної конструкції з врахуванням теплофізичних властивостей матеріалів багатошарового солом'яного стінового блоку наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Теплоізоляційні показники багатошарового солом'яного стінового блоку

Матеріал шарів блока	Товщина шару δ_i , м	Густина матеріалу ρ_i , кг/м ³ [14]	Теплопровідність матеріалу λ_i , Вт/(м·К) [14]	Приведений опір теплопередачі $R_{\text{пр}}$, м ² ·К/Вт			
				$\frac{\delta_{\min}}{\lambda_{\min}}$	$\frac{\delta_{\max}}{\lambda_{\min}}$	$\frac{\delta_{\min}}{\lambda_{\max}}$	$\frac{\delta_{\max}}{\lambda_{\max}}$
Вапняно-піщаний розчин	0,01-0,05	1600	0,81	6,02	10,09	4,31	7,24
Спресована солома	0,3-0,5	130-150 [7]	0,05-0,07 [7,8]				
Цементно-піщаний розчин	0,01-0,03	1800	0,93				

Аналіз результатів чисельного моделювання з різними значеннями товщин та теплопровідностей багатошарового солом'яного блоку (табл. 1) свідчить, що найбільші значення приведенного опору теплопередачі при співвідношенні $\delta_{\max}/\lambda_{\min}$, а найменший – при $\delta_{\min}/\lambda_{\max}$. Дані співвідношення геометричних та теплофізичних параметрів доцільно враховувати при проектуванні огорожувальних конструкцій будівель, так як даже при самому несприятливому відношенні опір теплопередачі перевищує сучасні нормативні значення.

Висновки

- Запропоноване конструктивне виконання зовнішнього багатошарового стінового теплозвукоізоляційного блоку при його використанні в малоповерховому будівництві дозволить забезпечити енергоефективність будинків за рахунок збільшення теплової надійності огорожувальних конструкцій. Це дозволить зменшити затрати енергоносіїв на опалення будівель, що дозволить також підвищити екологічність систем теплопостачання.
- За результатами чисельного моделювання запропонованої огорожувальної конструкції з врахуванням теплофізичних властивостей матеріалів багатошарового солом'яного блоку встановлено найбільші та найменші значення приведенного опору теплопередачі. Так при співвідношенні максимальної товщини спресованої соломи до найменшої її теплопровідності термічний опір буде найбільший. Отримані результати можуть бути викорисані при проектуванні огорожувальних конструкцій з оптимальними теплофізичними параметрами для енергоощадних екологічних будівель.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бікс Ю. С. Перспективи використання виробів із соломи в малоповерховому будівництві. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2017. №1. С. 74–83.
2. Семко О. В., Філоненко О. І., Панченко С. П., М'який Є. І. Спорудження малоповерхових житлових будинків із солом'яних блоків та визначення їх теплотехнічних характеристик. Вісник Придніпр. держ. академ. буд. та арх. Дніпро: ПДАБА. 2013. №8. С. 47–52.
3. ДБН В.6 – 31:2016. Теплова ізоляція будівель. [Чинний від 2017-05-01]. Вид. Офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2017. – 33 с. (Державні будівельні норми).
4. Ратушняк Г. С., Попова Г. С. Проектування захисних конструкцій будівель за теплофізичними параметрами: навч. посіб. Вінниця: ВДТУ, 2003. 78 с.
5. Фаренюк Г. П. Основи забезпечення енергоефективності будинків та теплової надійності огорожувальних конструкцій. Київ: Гамма-Принт, 2009. 137 с.
6. Ратушняк Г. С., Ратушняк О. Г. Управління проектами енергозбереження шляхом термореновації будівель: навч. посіб. Вінниця: Універсум-Вінниця, 2006. 120 с.

7. Производство домов из соломенных блоков. URL: <http://rainbowecosystem.com/ru/products/straw-blocks/> (Дата звернення 16.03.2018).
8. 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.
9. Куліченко І. І. та ін. 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.
10. Ратушняк Г. С., Анохіна К. В. Аналіз методів математичного моделювання для визначення тепловологої передачі через багатшарові захисні конструкції. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2007. №4. С. 137–141.
11. Стіновий теплоізолюючий елемент: пат. 24734 Україна: МПК Е 04С 2/10. №200702806; заявл. 16.03.2007; опубл. 10.07.2007, Бюл. №10. 3 с.
12. Зовнішній стіновий теплоізолюючий елемент: пат. 31204 Україна: МПК Е04С 2/10 №200714541; заявл. 24.12.2007; опубл. 25.03.2008, Бюл. №6. 3 с.
13. Зовнішній стіновий теплозвукоізоляційний блок: пат. 121651 Україна: МПК Е04С 2/10. № 2017 06564; заявл. 26.06.2017; опубл. 11.12.2017, Бюл. №23. 4 с.
14. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. ДСТУ Б В.2.6. – 189:2013. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ, Мінрегіон України, 2014. 55 с. (Державні стандарт України).
15. Энергосбережения в будівлях. URL: <http://www.patriot-nrg.ua/ukr/savings/view/26> (дата звернення 16.03.2018).
16. Богословский В. Н. Строительная теплофизика. Москва: Высшая школа, 1982. 415 с.
17. Bläsi W. Bauphysik. Bibliothek des technischen Wissens. 3 Auflage. Naan: Verlag Europa Lehrmittel, 2001. 536 p.
18. Hens H. Building Physics Heat, Air and Moisture: Fundamentals and Engineering Methods with Examples and Exercises. 2nd Ed. Berlin: Wilhelm Ernst & Sohn, 2012. 324 p.

Ратушняк Георгій Сергійович – к.т.н., професор, декан факультету будівництва, теплоенергетики та газопостачання Вінницького національного технічного університету.

Бікс Юрій Семенович – к.т.н., доцент, Вінницький національний технічний університет

Лялюк Андрій Олександрович – студент, Вінницький національний технічний університет.

G. Ratushniak

Y. Biks

A. Lyalyuk

MODELING OF THERMAL TRANSMISSION THROUGH THE OUTSIDE MULTILAYERED STRAWBALE WALL UNIT

Vinnitsia National Technical University

The constructive execution of an external multilayer wall heat-and-sound insulation block is proposed. The block consists of different density and thermal conductivity materials. The main insulating material is pressed straw, which is treated with antiseptic and fire retardant. The external surface of the block is reinforced with a polymer mesh and a decorative finishing layer of a complex cement-clay-sandy mortar. The inside surface of the block is plastered with a layer of air-permeable clay-sand mixture. The system of balance equations of heat fluxes on the boundary between layers of heat and sound insulation block is given. Numerical mathematical modeling of envelop construction by taking into account the thermo-physical properties of multilayered straw wall block materials is executed. It is established that the greatest values of the reduced resistance of the heat transfer for the proposed constructional implementation of the external multilayered heat and sound insulation block at the ratio of the maximum thickness of the compressed straw. The smallest value of thermal conductivity is obtained by the ratio of minimum thickness of compressed straw to its maximum thermal conductivity.

Key words: modeling, heat transfer resistance, straw wall block, thermal conductivity.

Ratushniak Georgiy – Candidate of Technical Sciences, Professor, Dean of the Faculty of Construction, Heat and Power Engineering, Vinnitsia National Technical University.

Biks Yuriy – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Vinnitsia National Technical University.

Lyalyuk Andrey – student, Vinnitsia National Technical University.

Г. С. Ратушняк

Ю. С. Бикс

А. О. Лялюк

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ СКВОЗЬ ВНЕШНИЙ МНОГОСЛОЙНЫЙ СОЛОМЕННЫЙ СТЕНОВОЙ БЛОК

Винницкий национальный технический университет

Предложено конструктивное выполнение внешнего многослойного стенового теплозвукоизоляционного блока. Блок содержит плиту с материалов различной плотности и теплопроводности. Основным теплоизоляционным материалом является прессованная солома, которая обработана антисептиком и антипиреном. Внешнюю поверхность блока армировано полимерной сеткой и декоративным слоем сложного цементно-глиняно-песчаного раствора. Внутренняя поверхность блока оштукатурена слоем воздухопроницаемой глиняно-песчаной смеси. Приведено систему балансовых уравнений тепловых потоков на границе слоев теплозвукоизоляционного блока. Выполнено численное математическое моделирование ограждающей конструкции с учетом теплофизических свойств материалов многослойного соломенного стенового блока. Установлено что наибольшие значения приведенного сопротивления теплопередачи для предложенного конструктивного исполнения внешнего многослойного теплозвукоизоляционного блока при соотношении максимальной прослойки спрессованной соломы на наименьшей ее теплопроводности, а наименьшие значения при соотношении минимальной прослойки спрессованной соломы к максимальной ее теплопроводности.

Ключевые слова: моделирование, сопротивление теплопередачи, соломенный стеновой блок, теплопроводность.

Ратушняк Георгий Сергеевич – к.т.н., профессор, декан факультета строительства, теплоэнергетики и газоснабжения Винницкого национального технического университета.

Бикс Юрий Семенович – к.т.н., доцент, Винницкий национальный технический университет.

Лялюк Андрей Александрович – студент, Винницкий национальный технический университет.