

# ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В БУДІВНИЦТВІ

УДК 691.12

DOI 10.31649/2311-1429-2020-1-100-107

Ю. С. Бікс  
Г. С. Ратушняк  
О. Г. Ратушняк  
А. О. Лялюк

## УСТАНОВКА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ РОСЛИННОГО ПОХОДЖЕННЯ

Вінницький національний технічний університет

Одним з характерних критеріїв будь-якого теплоізоляційного матеріалу, що визначають його енергоефективність є теплопровідність. Визначення теплопровідності матеріалів рослинного походження, як і будь-яких інших, достовірно можна визначити лише експериментальним шляхом. Запропонована оригінальна конструкція недорогої у виконанні установки для дослідження теплопровідності теплоізоляційних матеріалів рослинного походження містить теплоізольований пустотілий корпус для розміщення досліджуваного зразка та джерело тепла. Тепловий потік створюється нагрівним елементом, який складається з верхньої та нижньої металеві пластина заданої товщини з відомим коефіцієнтом теплопровідності. Створений між пластинами об'єм заповнено шаром кварцового піску для створення додаткового гомогенного теплового потоку. Таке виконання нагрівного елемента забезпечує гомогенний розподіл теплового потоку по площі поперечного перерізу досліджуваного зразка теплоізоляційного матеріалу. Для реєстрації зміни величини теплового потоку використовуються термопари, які розташовані на внутрішній поверхні верхньої пластини джерела тепла та на холодній стороні досліджуваного зразка теплоізоляційного матеріалу. Дані про зміну температур реєструються автоматичним блоком реєстрації.

До нижньої пластини симетрично по площі перерізу прикріплено трубчатий електронагрівник відповідної конфігурації. Трубчатий електронагрівник з'єднано з блоком управління напругою. Між нижньою площиною нижньої пластини та корпусом установки міститься повітряний прошарок для мінімізації тепловтрат зі сторони нагрівного елемента. Коефіцієнт теплопровідності, який характеризує ефективність теплоізоляційного матеріалу, обчислюється за відомою формулою Фур'є для стаціонарного температурного режиму за вхідною інформацією про перепад температур в характерних перерізах досліджуваного зразка.

**Ключові слова:** енергоефективність, теплопровідність, теплоізоляційний матеріал, гомогенний тепловий потік, нагрівальний елемент, термопари.

### Вступ

Глобальний світовий тренд щодо мінімізації споживання енергоносіїв для підтримання необхідного мікроклімату в холодний період року з однієї сторони, та диверсифікація типів натуральних матеріалів рослинного походження при використанні їх у будівництві з іншої [1]-[4], зумовлює потребу у реалізації енергоефективних інноваційних проєктів, в тому числі з використанням натуральних матеріалів [5]-[14]. В контексті значного збільшення величини нормативного термічного опору  $R$  огорожувальних конструкцій протягом останніх 25 років, наприклад для огорожувальних конструкцій стін з  $1,6-2,5 \text{ м}^2 \times \text{К/Вт}$  станом на 1996 рік [15] до  $3,3 \text{ м}^2 \times \text{К/Вт}$  за чинними вітчизняними нормами з 2017 року [16], на сьогоднішній день такий показник економічно доцільно реалізувати лише при зведенні термічно неоднорідних огорожувальних конструкцій стін [17]-[19]. При цьому особлива увага при вирішенні низки еколого-економічних проблем приділяється впровадженню теплоізоляційних матеріалів саме рослинного походження [20]-[23]. Використання в якості теплоізоляційних матеріалів рослинного походження дозволяє створювати ресурсозберігаючі та екологічні житлові утворення на засадах біосферосумісності [24]. Теплоізоляційні матеріали огорожувальних конструкцій будівель повинні відповідати національним нормативним вимогам. В Україні ці вимоги регламентує ДСТУ-Н. Б. В. 2.6-190:2013 «Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель» [25].

Аналіз літературних джерел вітчизняних [3], [26], [27], [28] та закордонних [4], [29]-[35] публікацій свідчить про те, що теплофізичні властивості теплоізоляційних матеріалів рослинного походження потребують подальшого дослідження, оскільки є низка впливових факторів, які слід враховувати при визначенні коефіцієнту теплопровідності матеріалу  $\lambda$ , а саме: густину  $\rho$ , вологість  $\omega$ , напрям волокон (для солом'яних блоків), розмір костри (для льону/конопель, тощо. Не всі

існуючі методи визначення теплопровідності теплоізоляційних матеріалів дозволяють отримати достовірні результати саме для спресованих матеріалів рослинного походження [4], [36], а обладнання для визначення їх теплопровідності є надзвичайно дорогим [37] та не випускається в Україні.

Мета роботи полягає у визначенні шляхів удосконалення при конструюванні недорогої установки для визначення теплопровідності теплоізоляційних матеріалів рослинного походження, що дозволить створювати гомогенний тепловий потік на досліджуваній зразок.

### Результати досліджень

Аналіз відомих методів визначення теплопровідності матеріалів в стаціонарному та нестаціонарному режимах, конструктивних рішень та відповідного обладнання [36], [38], [39], свідчить про необхідність удосконалення установки для дослідження теплопровідності енергоефективних теплоізоляційних матеріалів рослинного походження [40].

На рис. 1 запропоновано принципову конструкцію установки для визначення теплопровідності теплоізоляційних матеріалів [41], та її окремих елементів наведено на рис. 2.

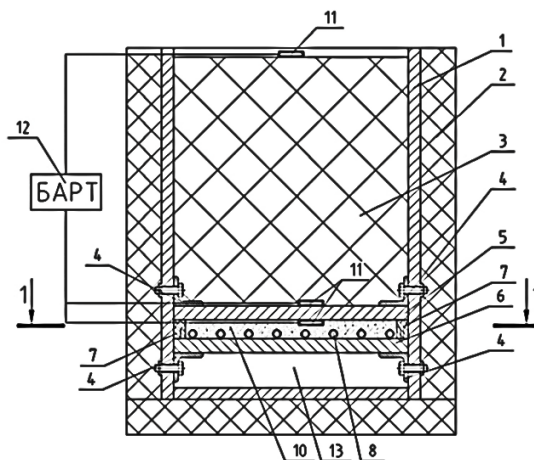


Рисунок 1 – Конструктивна схема установки для визначення теплопровідності теплоізоляційних матеріалів [41]:  
 1 – корпус; 2 – теплоізоляційний шар; 3 – зразок матеріалу, що досліджується; 4 – елементи кріплення; 5,6 – верхня та нижня металеві пластини нагрівного елемента; 7 – фіксуючі бруски; 8 – трубочатий електронагрівник (ТЕН);  
 10 – кварцовий пісок; 11 – датчики температури; 12 – блок автоматичного регулювання температури (БАРТ);  
 13 – повітряний прошарок

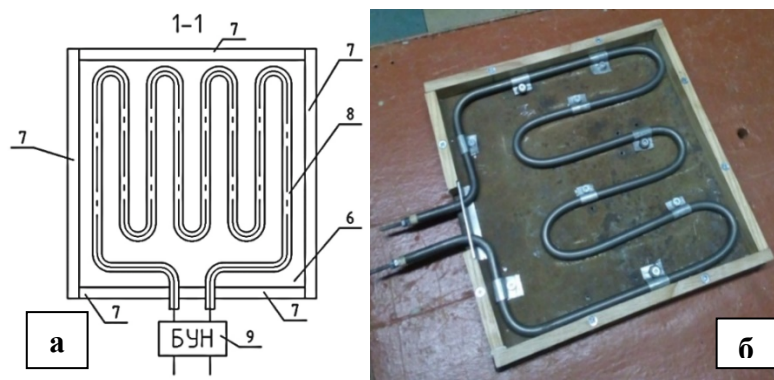


Рисунок 2 – Конструктивне виконання нагрівного елемента створення теплового потоку [41]  
 (а) розріз 1-1 ТЕНу; б) ТЕН, закріпленний на нижній пластині нагрівального елемента; 6 – нижня пластинка нагрівного елемента; 7 – фіксуючі бруски; 8 – трубочатий електронагрівник (ТЕН); 9 – блок управління напругою (БУН)

Установка для визначення теплопровідності теплоізоляційних матеріалів (рис. 1) містить корпус, теплоізолюваний стінками. Внутрішній об'єм корпусу 1 створює пустотілу камеру для розміщення досліджуваного зразка матеріалу 3. Тепловий потік до матеріалу створюється нагрівним елементом, який прикріплено до стінок корпусу 1 фіксуючими елементами кріплення 4.

Нагрівний елемент складається з верхньої 5 та нижньої 6 металеві пластини заданої товщини з відомим коефіцієнтом теплопровідності. Пластини закріплено фіксуючими брусками 7 по периметру нагрівного елемента. Задана товщина пластин нагрівного елемента 5 та 6 забезпечує гомогенний розподіл теплового потоку по площі поперечного перерізу досліджуваного зразка теплоізоляційного матеріалу 3. Внутрішній об'єм нагрівного елемента містить трубчатий електронагрівник (ТЕН) 8 відповідної конфігурації (рис. 2), температуру якого плавно можна змінювати за допомогою блока управління нагрівання (БУН) 9. ТЕН 8 розміщено та закріплено рівномірно по площі перерізу нижньої пластини нагрівного елемента 6, засипано кварцовим піском 10 для створення додаткового гомогенного розподілу теплового потоку по всьому перерізу досліджуваного зразка теплоізоляційного матеріалу 3.

Коефіцієнт теплопровідності теплоізоляційного матеріалу визначається за відомою формулою Фур'є для стаціонарного температурного режиму вхідної інформації (при визначенні значенні) перепаду температур в характерних перерізах досліджуваного зразка теплоізоляційного матеріалу 3 з відомою площею поперечного перерізу, через який проходить обчислений тепловий потік, що генерується нагрівним елементом через верхню металеву пластину 5. Температуру вимірюють за допомогою термоперетворювачів, з використанням термопар або датчиків температури 11. Дані температур всіх термоперетворювачів реєструються блоком автоматичної реєстрації температури (БАРТ) 12 (рис 3).

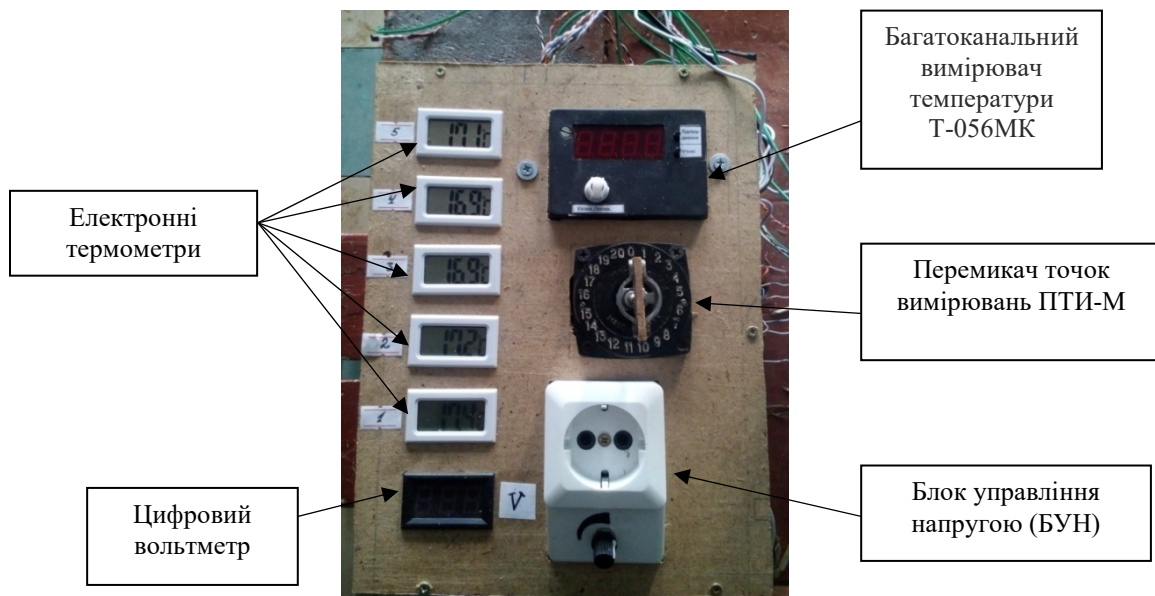


Рисунок 3 – Блок автоматичної реєстрації температури (БАРТ)

Блок автоматичної реєстрації температури (БАРТ) містить корпус, розмірами 300 мм × 259 мм × 80 мм, в який влаштовано монтажну шину з хромель-копелевими термопарами, багатоканальний вимірювач температури Т-056МК, цифровий вольтметр, електронні термометри, перемикач точок вимірювання та диммер для ТЕНа. Багатоканальний вимірювач температури Т-056МК, призначений для дистанційного вимірювання температури в різних технологічних процесах.

Вимірювач здатний відобразити температуру від одного до десяти датчиків температури DS18B20 на відстані до 100 метрів.

Технічні характеристики: діапазон вимірюваної температури: від -55,0 до 125 °С; похибка вимірювання температури: 0,5 °С (при додатковому коригуванні 0,1 °С); кількість каналів вимірювання від 1 до 10; напруга живлення: DC 12 Вольт (допустимо від 7,5 до 20 Вольт); струм: 30 мА; захист від перевищення живлення: є; довжина проводів, з'єднуючих прилад з датчиком в базовому варіанті: 1,4 м; габаритні розміри приладу (Д × Ш × В): 78 мм × 21 мм × 13 мм; висота цифр індикатора приладу: 14 мм. Вольтметр V27D 2,5-30 В може використовуватися для контролю напруги в різних пристроях і приладах. Допускається живлення пристрою від вимірюваної напруги. Діапазон вимірюваної напруги від 2,5 В до 30 В.

Значення вимірюваної напруги повинно бути 2,5 – 30 В постійного струму. Живлення вольтметра здійснюється від джерела вимірюваної напруги. Після підключення вольтметра до

джерела напруги включиться LED дисплей і буде показувати поточне значення напруги з точністю до десятої частини вольт, в режимі реального часу.

Електронний термометр ТРМ-10 призначений для вимірювання температури.

Діапазон вимірювання температури:  $-50 \dots 100$  °С. Довжина виносного датчика температури - 1 метр. Живлення термометра здійснюється за допомогою двох батарей типу LR44. Цифровий термометр має чутливий датчик, похибка якого  $+, - 1$  °С.

Перемикач точок вимірювання ПТІ-М, призначений для почергового підключення до вимірювального приладу первинних вимірювальних перетворювачів - термоелектричних термометрів або термометрів опору. Підключення потрібного перетворювача проводиться поворотом рукоятки перемикача в необхідне положення, позначене цифрами на кришці.

До перемикача можна підключити до 20 термоелектричних термометрів, або термоперетворювачів опору. Перемикач комутує електричні ланцюги постійного струму напруги 24 В при силі струму в кожному ланцюзі до 0,1 А і активному навантаженні.

Димер призначений для регулювання потужності активного і індуктивного навантаження ТЕНу.

Між нижньою площиною нижньої металевої пластини 6 та корпусом 1 установки для визначення теплопровідності теплоізолювальних матеріалів міститься повітряний прошарок 13 для мінімізації тепловтрат зі сторони нагрівного елемента.

Вимірювання температури виконувалося за допомогою хромель-копелевих (ХК) термопар типу L з дротами діаметром 0,25 мм, які мали індивідуальне градуювання.

Оскільки діапазон вимірювання температури знаходиться в межах  $0-110$ °С, термопари градуювалися за методом реперних точок з екстраполяцією. Причому за реперні точки приймалися потрібна точка води і температура насичення води, з врахуванням барометричного тиску. Барометричний тиск вимірювали барометром БАММ-1. Глибина занурення термопар 200 мм.

Холодний спай термостатувався при температурі  $0$  °С. Для контролю температури при градуюванні застосовували платинородій-платинову термопару ТПП типу S другого розряду. В якості вимірювального приладу використано комбінований цифровий прилад ЩЗ00 на межі вимірювання 10 мВ, з вхідним опором  $R > 10$  МОм. Головна ідея, що була реалізована в блоці автоматичної реєстрації напруги (БАРТ) полягала в наступному: отримати дані температурного перепаду при визначенні теплопровідності матеріалу незалежно, трьома різними приладами: (електронними термометрами ТРМ-10, датчиками температури багатоканального вимірювача температури Т-056МК та хромель-копелевими термопарами) для об'єктивної оцінки різниці температур в характерних місцях досліджуваного зразка рослинного матеріалу (рис. 4).



Рисунок 4 – Готовий солом'яний блок, щільністю  $160$  кг/м<sup>3</sup>

Установка працює наступним чином. В пустотілій камері корпусу 1 розміщують досліджуваний зразок теплоізоляційного матеріалу 3, влаштовуючи при цьому в його характерних перерізах термоперетворювачі 11 та з'єднуючи їх з БАРТ 12. Через БУН 9 підводять електричний струм до трубчатого електронагрівника 8. Тепловий потік від трубчатого електронагрівника 8 передається кварцовому піску 10, верхній 5 та нижній 6 металевій пластині нагрівного елемента, які акумулюють теплову енергію. Акумульований тепловий потік гомогенно через верхню металеву пластину 5 нагрівного елемента надходить до теплої сторони досліджуваного зразка теплоізоляційного матеріалу 3. Термоперетворювачі 11, що розміщені в характерних перерізах досліджуваного зразка теплоізоляційного матеріалу 3, передають значення характеристик

теплового потоку в БАРТ 12. За допомогою БУН 9 ТЕН-а 8 варіюють величинами теплового потоку, що надходить від теплої до холодної сторони досліджуваного зразка теплоізоляційного матеріалу 3. Визначення коефіцієнту теплопровідності виконують при досягненні сталого перепаду температур в характерних перерізах досліджуваного теплоізоляційного матеріалу 3.

Отримана лабораторна установка дозволила провести дослідження коефіцієнту теплопровідності рослинних матеріалів, зокрема тюків з пшеничної соломи, як функцію від впливу різних факторів, зокрема щільності блоку  $\rho$  та його вологості  $\omega$ . Постановка експерименту та його результати потребують уточнення, та не є метою даної статті, оскільки при визначенні теплопровідності даним способом при стаціонарному режимі важко визначити дійсний вплив вологості блоку, яка мігрує протягом часу проведення досліду.

### Висновки

Існуючі методи та обладнання для визначення енергоефективності теплоізоляційних матеріалів рослинного походження не завжди дозволяють встановити їх теплофізичні властивості та потребують значних затрат коштів. Для визначення теплопровідності теплоізоляційних матеріалів рослинного походження, яка є одним з критеріїв їх енергоефективності, запропоновано бюджетну конструкцію установки, що дозволяє створювати гомогенний тепловий потік, направлений на досліджуваний зразок. Достовірність визначення коефіцієнта теплопровідності теплоізоляційного матеріалу, як основного показника його енергоефективності від впливу вологості блоку потребує подальших досліджень.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1]. Asdrubali F., D'Alessandro F., Schiavoni S. A review of unconventional sustainable building insulation materials. *Sustainable Materials and Technologies*. 2015. Vol. 4. P. 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2015.05.002>.
- [2]. Volf M., Diviš J., Havlík F. Thermal, moisture and biological behaviour of natural insulating materials. *Energy Procedia*. 2015. Vol. 78. P. 1599–1604. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.219>.
- [3]. Савицький Н. В. и др. Исследование теплофизических свойств вторичных продуктов сельскохозяйственного производства органического происхождения. *Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: Создание высокотехнологических экокомплексов в Украине на основе концепции сбалансированного (устойчивого) развития*. 2015. №. 81. С. 217–223.
- [4]. Pruteanu M. Investigations regarding the thermal conductivity of straw. *Buletinul Institutului Politehnic din Iasi. Sectia Constructii, Arhitectura*. 2010. Vol. 56. №. 3. P. 9.
- [5]. Широков Е.И. Дерево, тростник, солома: Строительные материалы для устойчивого развития. *Архитектура и строительство России*. 2007. №2. С. 2–10.
- [6]. Сычев С. А. Экотехнологии строительства с учетом критериев энергоэффективных зданий. *SCIENCETIME*. 2014. №10. С.343–349.
- [7]. Наназашвили И. Х. Строительные материалы из древесно-цементной композиции. – Л: Стройиздат, 1990. 415 с.
- [8]. Лобанова А. В., Казимагомедов И.Э. Стеновые изделия из арболита на основе костры льна. *Коммунальное хозяйство міст*. 2015, Випуск 124. С. 18–20.
- [9]. Building with Hemp and Lime. URL: [https://www.researchgate.net/publication/265450145\\_Building\\_with\\_Hemp\\_and\\_Lime](https://www.researchgate.net/publication/265450145_Building_with_Hemp_and_Lime) (Last accessed:17.12.2018).
- [10]. Pacheco-Torgal F., Jalali S. Earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction. *Construction and Building Materials*. 2012. Vol. 29. P. 512–519. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.10.054>.
- [11]. Rajesh Kumar Jain. A study on ecofriendly cost effective earth bag house construction. *Kathmandu University Journal of Science, Engineering and Technology*. 2013. Vol. 9, No. 1, P. 200–211.
- [12]. 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.
- [13]. Бікс Ю. С. Перспективи використання виробів з соломи у малоповерховому будівництві. *Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві*. 2017. Том 22, №1. С. 75–83.
- [14]. Medgyasszay P. Comparative analysis of an existing public building made from natural building materials and reference buildings designed from common building materials. URL: [https://www.researchgate.net/publication/35663459\\_Comparative\\_analysis\\_of\\_an\\_existing\\_public\\_building\\_made\\_from\\_natural\\_building\\_materials\\_and\\_reference\\_buildings\\_designed\\_from\\_common\\_building\\_materials](https://www.researchgate.net/publication/35663459_Comparative_analysis_of_an_existing_public_building_made_from_natural_building_materials_and_reference_buildings_designed_from_common_building_materials) (Last accessed 03.11.2019). doi:10.1088/1755-1315/323/1/012140.
- [15]. СНиП II-3-79\*. СНиП II-3-79\*\*. Изменение (Упразднено согласно приказа Минбуда Украины N 301 от 09.09.06)[https://dnaop.com/html/45037/doc-СНиП\\_II-3-79\\_](https://dnaop.com/html/45037/doc-СНиП_II-3-79_) (Дата звернення 12.08.2020).



- [16]. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. Норми проектування, виготовлення і монтажу: [Чинний від 2017-01-01]. Вид. офіц. Київ: Мінегінбуд України, 2017. 33 с.
- [17]. Ратушняк Г. С., Ратушняк О. Г. *Управління проектами енергозбереження шляхом термореновації будівель: навч. посібник*. Вінниця: Універсум-Вінниця, 2006. 120 с.
- [18]. Фаренюк Г. П. *Основи забезпечення енергоефективності будинків та теплової надійності огорожувальних конструкцій: монографія*. Київ: Гамма-Принт, 2009. 137 с.
- [19]. Бікс Ю. С., Ратушняк Г. С. *Термічно неоднорідні енергоощадні огорожувальні конструкції малоповерхових будівель: монографія*. Вінниця: ВНТУ, 2019. 76 с.
- [20]. Семко О. В., Філоненко О. І., Панченко О. І., М'який Є. І. Спорудження малоповерхових житлових будинків із солом'яних блоків та визначення їх теплотехнічних характеристик. *Вісник Придніпр. держ. академії будівництва та архітектури*. 2013. №8. С. 47–52.
- [21]. Мазурак О. Т. и др. Екологічні технології використання соломи в Україні. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2013. Т. 23. №. 12.
- [22]. Савицький М. В. та ін. Екологічне та енергоефективне малоповерхове будівництво. *Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: Стародубовские чтения*. 2010. №. 55. С. 26–31.
- [23]. Доброноженко О. В. Перспективи возведення екодому в Україні як пріоритетне направление по енергосбережению. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Будівництво»*. 2012. Вип. 5 (16), С. 152–156.
- [24]. Чернишев Д. О. Науково-методологічний інструментарій організації будівництва на засадах біосферосумісності: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.08 / Придніпров. держ. акад. буд-ва та архітектури. Дніпро, 2019. 35 с.
- [25]. ДСТУ-Н. 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.
- [26]. Конопляник А. Ю. и др. Легкие теплоизоляционные бетоны на основе соломы злаковых культур. *Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: Создание высокотехнологических экокомплексов в Украине на основе концепции сбалансированного (устойчивого) развития*. 2014. №. 75. С. 102–105.
- [27]. Савицький Н. В. та ін. Органічні заповнювачі з місцевих матеріалів для легких бетонів в екологічному малоповерховому будівництві. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2013. №. 1-2. С. 69–71.
- [28]. Лобанова А. В. Підвищення фізико-механічних характеристик стінових бетонних блоків на основі органічних заповнювачів: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Харків. нац. ун-т буд-ва та архітектури. Харків. 2017. 171 с.
- [29]. McCabe, J. Thermal Resistivity of Straw Bales for Construction. Master's Thesis / University of Arizona, Tucson, AZ, 1993. 45 p.
- [30]. Ashour T. The use of renewable agricultural by-Products as building materials/ Ph. D thesis / Moshtohor Zagazig University, Toukh, Kaliobia, 2003. 348 p.
- [31]. Lu L. et al. The Prediction of Thermal Conductivity of Agricultural Residues from Straw for Biomass Energy. *Advanced Materials Research*. 2013. Vol. 779. P. 1419–1422. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.779-780.1419>.
- [32]. Costes J. P. et al. Thermal conductivity of straw bales: Full size measurements considering the direction of the heat flow. *Buildings*. 2017. Vol. 7. №. 1. P. 11. <https://doi.org/10.3390/buildings7010011>.
- [33]. Marques B. et al. Impact of density on thermal conductivity of an insulation layer composed of rice by-products. *International Congress on Engineering and Sustainability in the XXI Century*. Springer, Cham, 2017. P. 571–579.
- [34]. Behzad T., Sain M. Measurement and prediction of thermal conductivity for hemp fiber reinforced composites. *Polymer Engineering & Science*. 2007. Vol. 47. №. 7. P. 977–983. DOI 10.1002/pen.20632.
- [35]. Petkova-Slipets R., Zlateva P. Thermal insulating properties of straw-filled environmentally friendly building materials. *Civil and Environmental Engineering*. 2017. Vol. 13. №. 1. P. 52–57. DOI: 10.1515/cee-2017-0006.
- [36]. Determination of thermal conductivity URL: <https://www.slideshare.net/AnjaliSudhakar1/determination-of-thermal-conductivity> (дата звернення: 13.08.2020).
- [37]. Прилади для теплофізичних і теплових вимірювань. URL: <https://zapadpribor.com/ua/category/prylady-dlya-terpofizychnykh-i-teplovyykh-vumiryuvan/1000000/> (дата звернення: 13.08.2020).
- [38]. Шашков А. Г., Волохов Г. М. Методы определения теплопроводности и температуропроводности. Москва: Энергия, 1973. 336 с.
- [39]. Шикалов В.С. Технологічні вимірювання: навч. посібник. Київ: Кондор, 2006. 165 с.
- [40]. Бікс Ю. С., Чорний П. Г. Лабораторна установка для дослідження впливу щільності солом'яного блока на його теплотехнічні характеристики. *Інноваційні технології в будівництві: Зб. матеріалів міжнародної науково-технічної конференції* (м. Вінниця, 2018. с. 64–66).
- [41]. Установка для визначення теплопровідності будівельних матеріалів: пат. 141390 Україна: МПК G01N25/18 №u201908718; заявл. 19.07.2019; опубл. 10.04.2020, Бюл. №7, 4 с.

**Бікс Юрій Семенович** – к.т.н., доцент, Вінницький національний технічний університет, e-mail: biksyuriy@gmail.com.

*Ратушняк Георгій Сергійович* – к.т.н., професор, Вінницький національний технічний університет, ORCID: 0000-0001-9656-5150, e-mail: ratusnakg@gmail.com.

*Ратушняк Ольга Георгіївна* – к.т.н., доцент, Вінницький національний технічний університет.

*Лялюк Андрій Олександрович* – студент, Вінницький національний технічний університет.

**Y. Biks**  
**G. Ratushnyak**  
**O. Ratushnyak**  
**A. Lyalyuk**

## INSTALLATION FOR RESEARCH OF THERMAL CONDUCTIVITY OF ENERGY EFFICIENT HEAT INSULATION MATERIALS FROM VEGETABLE ORIGIN

Vinnitsia National Technical University

*One of the key point criteria of any thermal insulation material that determine its energy efficiency is thermal conductivity. Determination of thermal conductivity of materials of plant origin, as well as any other, can be reliably determined only experimentally. The proposed original design of an inexpensive installation for studying the thermal conductivity of heat-insulating materials of plant origin contains a heat-insulated empty body for placing the test sample and a heat source. The heat flow is created by a heating element, which consists of an upper and lower metal plate of a given thickness with a known coefficient of thermal conductivity. The volume created between the plates is filled with a layer of quartz sand to create additional homogeneous heat flow. This design of the heating element provides a homogeneous distribution of heat flux over the cross-sectional area of the test sample of the insulating material. To register the change in the magnitude of the heat flux, thermocouples are used, which are located on the inner surface of the upper plate of the heat source and on the cold side of the investigated sample of heat-insulating material. Data on temperature changes are registered by the automatic registration block.*

*A tubular electric heater of appropriate configuration is symmetrically attached to the lower plate along the cross-sectional area. The tubular electric heater is connected to the voltage control unit. Between the lower plane of the lower plate and the housing of the installation there is an air layer to minimize heat loss from the heating element. The coefficient of thermal conductivity, which characterizes the efficiency of the insulating material, is calculated by the known Fourier formula for the steady-state temperature regime from the input information about the temperature difference in the characteristic cross sections of the sample.*

**Keywords:** energy efficiency, thermal conductivity, heat-insulating material, homogeneous heat flow, heating element, thermocouples.

*Yuriy Biks* – Ph.D., Associate Professor, Vinnitsia National Technical University, e-mail: biksyuriy@gmail.com.

*Georhiy Ratushnyak* – Ph.D., Professor, Vinnitsia National Technical University, ORCID: 0000-0001-9656-5150, e-mail: ratusnakg@gmail.com.

*Olga Ratushnyak* – Ph.D., Associate Professor, Vinnitsia National Technical University.

*Andrii Lyalyuk* – student, Vinnitsia National Technical University.

**Ю. С. Бикс**  
**Г. С. Ратушняк**  
**О. Г. Ратушняк**  
**А. А. Лялюк**

## УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Винницкий национальный технический университет

*Одним из характерных критериев любого теплоизоляционного материала, определяющие его энергоэффективность является теплопроводность. Определение теплопроводности материалов растительного происхождения, как и любых других, достоверно можно определить только экспериментальным путем. Предложена оригинальная конструкция недорогой в исполнении установки для исследования теплопроводности теплоизоляционных материалов растительного происхождения, которая содержит теплоизолированный пустотелый корпус для размещения исследуемого образца и источник тепла. Тепловой поток создается нагревательным элементом, который состоит из верхней и нижней металлической пластины заданной толщины с известным коэффициентом теплопроводности. Созданный*

между пластинами объем заполнен слоем кварцевого песка для создания дополнительного гомогенного теплового потока. Такое исполнение нагревательного элемента обеспечивает гомогенное распределение теплового потока по площади поперечного сечения исследуемого образца теплоизоляционного материала. Для регистрации изменения величины теплового потока используются термопары, расположенные на внутренней поверхности верхней пластины источника тепла и на холодной стороне исследуемого образца теплоизоляционного материала. Данные об изменении температур регистрируются автоматическим блоком регистрации.

К нижней пластине симметрично по площади сечения прикреплен трубчатый электронагреватель соответствующей конфигурации. Трубчатый электронагреватель соединен с блоком управления напряжением. Между нижней плоскостью нижней пластины и корпусом установки содержится воздушная прослойка для минимизации теплотерь со стороны нагревательного элемента. Коэффициент теплопроводности, который характеризует эффективность теплоизоляционного материала, вычисляется по известной формуле Фурье для стационарного температурного режима по входной информации о перепаде температур в характерных сечениях исследуемого образца.

**Ключевые слова:** энергоэффективность, теплопроводность, теплоизоляционный материал, гомогенный тепловой поток, нагревательный элемент, термопары.

**Бикс Юрий Семенович** – к.т.н., доцент, Винницкий национальный технический университет, e-mail: biksuriy@gmail.com.

**Ратушняк Георгий Сергеевич** – к.т.н., профессор, Винницкий национальный технический университет.

**Ратушняк Ольга Георгиевна** – к.т.н., доцент, Винницкий национальный технический университет.

**Лялюк Андрей Александрович** – студент, Винницкий национальный технический университет.