

ЯКІСТЬ І БЕЗПЕКА ПРОМИСЛОВИХ ТОВАРІВ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ, МЕТРОЛОГІЯ, СЕРТИФІКАЦІЯ ТА УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ

УДК 699.86:676.034

DOI <https://doi.org/10.37734/2518-7171-2021-1-9>

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

Г. І. ГОЛОДЮК, кандидат технічних наук, доцент
(Луцький національний технічний університет);

Н. М. ГУРГУЛА, старший лаборант
(Луцький національний технічний університет)

Анотація. Пошук і створення ефективних теплоізоляційних матеріалів на основі дешевої сировини продовжує залишатися викликом. Велике значення має критерій економії паливно-енергетичних ресурсів у виробництві теплоізоляційних матеріалів. Залежно від складу речовин, із яких виготовлені теплоізоляційні матеріали, вони за певних умов можуть впливати на утеплені поверхні, навколишнє середовище й організм людини чи тварини.

Для отримання теплоізоляційних матеріалів на основі рослинної сировини були проведені комплексні дослідження з відбору композицій, включаючи приготування заповнювача певної фракції, та вивчені основні фізико-механічні характеристики зразків.

В основних експериментальних дослідженнях був використаний композитний заповнювач, котрий є сумішшю моху сфагнуму з очеретяною або житньою соломою. Рідке скло використовували як сполучну речовину. Використання моху як заповнювача зумовлено антисептичними властивостями та досвідом використання у цілях теплоізоляції. Рідке натрієве скло забезпечує теплоізоляційність матеріалу, негорючість, зв'язує заповнювач, є антисептиком і запобігає утворенню грибків. Більший об'єм соломи відносно очерету, збереження геометрії подрібнених стебел у вигляді порожнистих трубчастих циліндрів дозволили створити у структурі моху рівномірно розподілений когерентний каркас соломи, який сприймає сили стиснення під навантаженням і запобігає появі усадкових деформацій. Ці фактори призвели до відсутності деформацій усадки теплоізоляційних плит під час сушіння.

Таким чином, внаслідок проведених досліджень отриманий пластинчастий теплоізоляційний матеріал із високими фізико-механічними властивостями, що володіє біоцидними властивостями, на основі природного рослинного матеріалу та відходів рослинництва.

Ключові слова: теплоізоляційний матеріал, ізоляція, мох, сфагнум, сировина, сільськогосподарські відходи, теплопровідність.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Для опису поточної ситуації у світовій галузі теплоізоляції було проведено огляд літератури щодо наявних екологічно чистих ізоляційних матеріалів на основі природної сировини з різними виготовленими формами та властивостями. Дедалі більше поширюються сучасні екологічно чисті утеплювачі з рослинної сировини. Найчастіше ці матеріали виготовляються з волокон льону, конопель або дерева, скріплених безпечними в'язучими компонентами. Натуральні утеплювачі виготовляються у вигляді матів, плит і рулонів, що робить матеріал універсальним із погляду варіантів нанесення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За останні роки вченими Л. Дядюша, Ю. Бобровим, В. Граневим, В. Курдюмовою, Н. Гончаровим,

А. Люсевим велика увага приділялася широкому використанню відходів промисловості та сільського господарства у виробництві теплоізоляційних матеріалів. О.М. Лівінський, О.М. Пшінько, М.В. Савицький, Ю.Л. Бобров, Е.Г. Овчаренко, Б.М. Шойхет, Е.Ю. Петухова досліджували стан виробництва, класифікацію, будову, властивості основних теплоізоляційних матеріалів і конструкцій, а також сфери їх раціонального застосування.

Формування цілей статті. Пошук і створення ефективних теплоізоляційних матеріалів на основі рослинної сировини. Проведення комплексних досліджень із відбору композицій, включаючи приготування заповнювача певної фракції, та вивчення основних фізико-механічних характеристик отриманих зразків.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Для отримання теплоізоляційних матеріалів на основі рослинної сировини були проведені комплексні дослідження з відбору композицій, включаючи приготування заповнювача певної фракції, та вивчені основні фізико-механічні характеристики зразків.

В основних експериментальних дослідженнях був використаний композитний заповнювач, який є сумішшю моху сфагнуму з очеретяною або житньою соломною. Рідке скло використовували як сполучну речовину. Використання моху як заповнювача зумовлено антисептичними властивостями та досвідом використання у цілях теплоізоляції. Рідке натрієве скло забезпечує теплоізоляційність матеріалу, негорючість, зв'язує заповнювач, є антисептиком і запобігає утворенню грибків.

На попередньому етапі досліджень зрізаний мох із часткою 1–2 см використовували як наповнювач для приготування теплоізоляційного матеріалу. Формування плит розміром $250 \times 250 \times 30$ мм проводили за тиску 0,02 МПа. Зразки витримували у формі протягом 5–6 годин, а потім їх виймали та сушили 6–7 годин у камері за температури 40–50°C. Теплопровідність і щільність визначали на отриманих зразках пластин.

Результати випробувань теплоізоляційного матеріалу на основі моху представлені на рис. 1.

Отримані залежності дозволяють встановити, що для фіксованої кількості в'язучого (наприклад, 300 г) збільшення сукупного використання на 120 г (композиції 9 і 12) призводить до збільшення щільності на 26% і зменшення теплопровідності на 31%, однак за подальшого збільшення сукупного використання із 220 до 300 г (композиції 9 і 7) коефіцієнт теплопровідності збільшується на 42% із 0,04 до 0,068 Вт / (м·°C). Збільшення маси

рідкого скла також призводить до збільшення показника теплопровідності. Таким чином, порівнюючи характеристики композицій 3 і 9, можна відзначити, що додавання 100 г сполучного матеріалу викликає збільшення теплопровідності на 15% і щільності на 19% за рівного використання наповнювача.

Збільшення споживання як моху, так і рідкого скла збільшує теплопровідність і щільність пластини. Отримані залежності пояснюються тим, що за збільшеного споживання рідкого скла шари сполучного матеріалу починають виконувати роль мостів холоду. На шари в'язучого, що покривають частинки заповнювача, тепло починає передаватися. За низької щільності ізоляції утворюється пухка структура заповнювача, що пропускає через себе теплі потоки повітря. За споживання моху 220 г можна досягти оптимальної ущільненої структури, яка блокує вільний рух повітряних потоків тепла через ізоляцію, що забезпечує збереження максимальної цілісності клітинної мікроструктури. Подальше збільшення щільності теплоізоляційного матеріалу призводить до подрібнення й ущільнення клітинної мікроструктури, а це спричиняє руйнування клітинних стінок. Як результат, незважаючи на відсутність наскрізного потоку повітря через конструкцію, відбувається втрата тепла на матеріалі заповнювача.

Найкращі результати щодо теплопровідності зафіксовані на композиціях 3, 9, 15 за різного споживання в'язучого, що зумовлено формуванням оптимальної структурної системи моху, яка блокує проходження наскрізних потоків повітря через ізоляцію. У цьому випадку після теплової обробки теплоізоляційних плит відзначається наявність значних усадкових деформацій по довжині та ширині на 7–8 мм, що становить

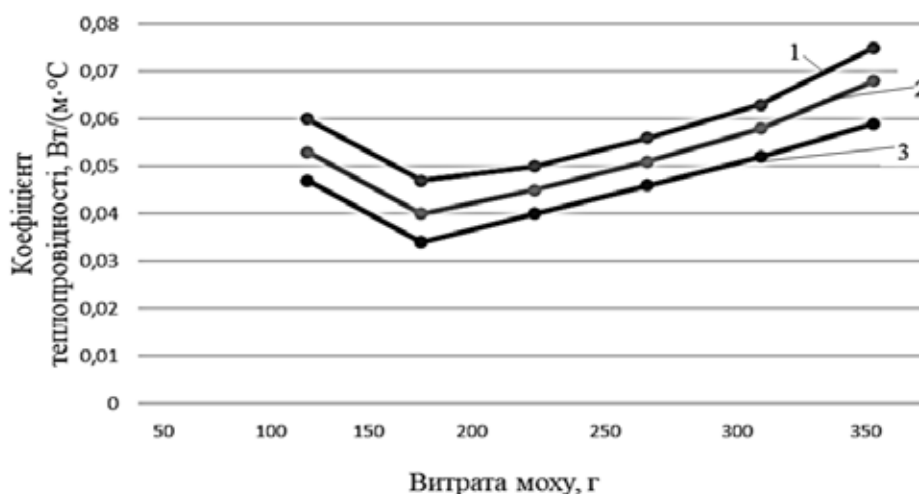


Рис. 1. Залежність коефіцієнта теплопровідності плит від витрати моху

1 – композиції (1–6 витрата рідкого скла 400 г); 2 – композиції (7–12 витрата рідкого скла 300 г); 3 – композиції (13–18 витрата рідкого скла 200 г).

близько 6% від розмірів листа. При змішуванні з рідким склом внаслідок гігроскопічності моху вода потрапляє у мертві клітини, що призводить до їх набухання та збільшення об'єму. Таким чином, збільшується розмір порізаних фрагментів моху, який має значний коефіцієнт лінійного розширення у вологому стані. Під час сушіння вода випаровується з мертвих гіалінових клітин, і мох зменшується у розмірах, що призводить до появи усадочних деформацій.

На другому етапі досліджень, щоб зробити теплоізоляційний матеріал більш жорстким і зменшити усадку, в агрегат був введений додатковий компонент – очерет звичайний у вигляді обрізаних труб довжиною 1–2 см. Під час спроби подрібнити стебло очерету на частини довжиною менше 1 см матеріал втратив циліндричну форму і розвалився на сегменти. Використання очеретяних трубок довжиною більше 2 см не є доцільним із позиції формування необхідної жорсткої когерентної структурної системи. У складі складного заповнювача очеретяні трубки повинні створювати каркас із міцних і взаємопов'язаних подрібнених частинок циліндричної форми. Таким чином, отриманий каркас із очеретяних трубок в основній масі моху дозволить нам сприймати сили стиску і зменшити деформації усадки. Для загальної маси комплексного заповнювача прийнята маса моху в однокомпонентних композиціях 3, 9 і 15 (рис. 1) із найнижчими коефіцієнтами теплопровідності.

Результати випробувань мохово-очеретяного ізоляційного матеріалу представлені рис. 2.

Під час розгляду композицій із рівною кількістю в'язучої речовини встановлено, що збільшення витрати подрібненого очерету призводить до збільшення теплопровідності плит. Введення очерету в кількості 50% від загальної маси заповнювача (композиція 5) спричиняє збільшення коефіцієнта теплопровідності щодо індексу композиції 8 на 33% із 0,045 до 0,06 Вт / (м·°C). Також збільшення теплопровідності спостерігається зі збільшенням кількості в'язучого. Наприклад, для композицій 3 і 11 із рівним споживанням компонентів збільшення маси рідкого скла на 200 г (композиція 3) призвело до збільшення показника теплопровідності на 23%. Загалом слід зазначити, що теплопровідність матеріалів на двокомпонентній основі вища, ніж в однокомпонентних композиціях, за однакового споживання компонентів суміші. Композиція 12 із найбільшою кількістю моху в заповнювачі за щільності 166 кг/м³ має коефіцієнт теплопровідності 0,041 Вт/(м·°C), а це на 21% більше, ніж в однокомпонентного матеріалу.

Рідке скло має високу насипну щільність – 270 кг/м³. Як результат, кількість подрібненого очерету, яка вводиться у більшість композицій, не забезпечує утворення зв'язаного жорсткого каркасу, необхідного для усунення деформацій усадки плит. Крім того, частина подрібнених стебел очерету у вигляді трубок розбивається на сегменти під час формування матеріалу, що зменшує об'єм, зайнятий частинками у пластині, та призводить до розкладу структури моху. Відзначається також нерівномірний розподіл подрібненого очерету вздовж шару ізоляції. Як наслідок, повітряні теплові потоки у структурі матеріалу

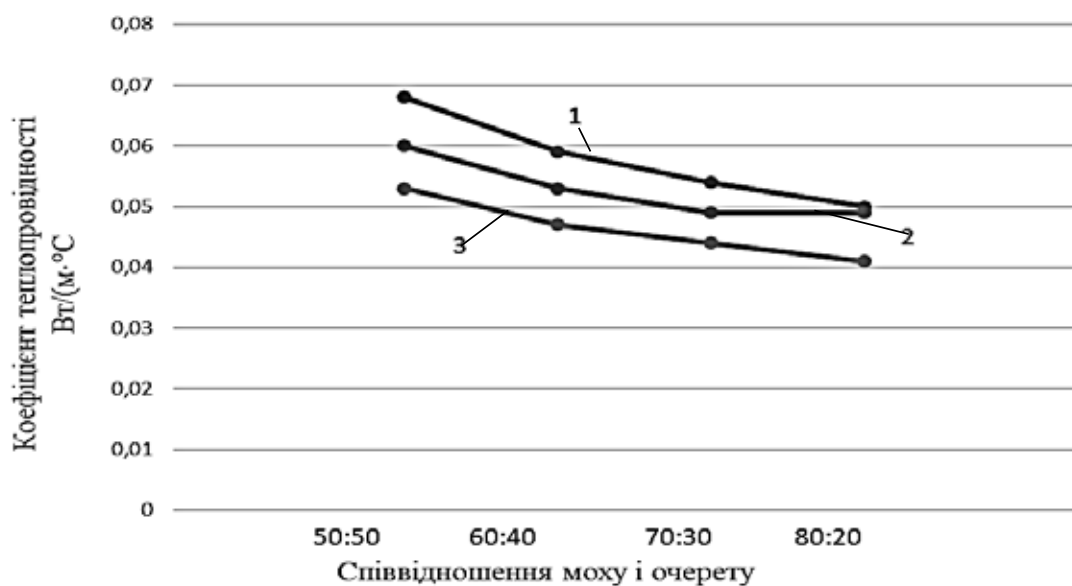


Рис. 2. Залежність зміни коефіцієнта теплопровідності від співвідношення моху й очерету в суміші заповнювачів

1 – композиції (1–6 витрата рідкого скла 400 г); 2 – композиції (7–12 витрата рідкого скла 300 г); 3 – композиції (13–18 витрата рідкого скла 200 г).

утворюються і вільно рухаються, а це призводить до збільшення коефіцієнту теплопровідності та зменшення теплового опору. Найменший коефіцієнт теплопровідності плит на двокомпонентній основі дорівнює $0,041 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$, встановлений у композиції 12 за щільності $166 \text{ кг}/\text{м}^3$ за співвідношення змішування 80:20.

Усунути усадку плит вдалося лише у композиції 1 із максимальною кількістю сполучного за співвідношення моху й очерету 50:50. В інших композиціях на основі суміші моху й очерету деформації усадки зменшилися на 3–5 мм порівняно з моховими плитами.

Також як другий компонент заповнювача житню солому використовували як фракцію 1–2 см. Результати випробувань теплоізоляційного матеріалу на основі суміші моху та соломи представлені на рис. 3.

Під час аналізу отриманих даних було встановлено, що зміни показника теплопровідності від співвідношення компонентів у суміші заповнювачів і кількості в'язучого (рис. 3) подібні до змін ізолятора на основі суміші моху й очерету (рис. 2). Таким чином, у композиціях 5 і 8 за однакової маси рідкого скла збільшення кількості соломи у композиції призводить до збільшення теплопровідності на 30% із $0,043 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ до $0,056 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$. Водночас додавання 200 г в'язучого з рівним співвідношенням компонентів у суміш заповнювачів у композиціях 2 і 10 збільшує щільність плит на 45% із $156 \text{ кг}/\text{м}^3$ до $226 \text{ кг}/\text{м}^3$, а коефіцієнт теплопровідності – до $0,058 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ на 32%. Крім того, також було встановлено незначне погіршення теплоізоляційних властивостей матеріалу щодо композицій із

однокомпонентним заповнювачем і покращення експлуатаційних характеристик порівняно із плитами на основі складу моху й очерету. Наприклад, за максимальної кількості моху та витрати сполучного 200 г (склад 12) коефіцієнт теплопровідності становить $0,037 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$, що на 9% перевищує значення складу 15 на основі моху та на 11% нижчого показника індексу композиції 12 із суміші моху й очерету. Порівнюючи солому з очерету та жита як компонентів у складному заповнювачі, слід зазначити, що об'ємна щільність соломи становить $125 \text{ кг}/\text{м}^3$, що у 2,16 рази менше за значення очерету, яке відповідає $270 \text{ кг}/\text{м}^3$. За рівних мас компонентів солома займає у 2 рази більше обсягу в суміші заповнювачів. При формуванні плит на основі суміші моху та соломи утворюється жорсткий зв'язаний каркас із подрібнених стебел соломи, заповнюючи порожній простір щільною структурою моху, що перешкоджає вільному руху повітряних потоків через структуру ізоляції. Отримана структурна система забезпечує низький коефіцієнт теплопровідності довговічність, високу міцність і відсутність усадочних деформацій під час сушіння. Крім того, солома має теплопровідність $0,05 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$, що на 23% менше, ніж в очерету $0,065 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$. Мікроструктура соломи й очерету схожа, але очерет має високу щільність завдяки наявності більш товстих перегородок через зменшення розмірів поперечного перерізу клітин. Руйнування порожнистих циліндричних частинок очерету на сегменти під час формування плит запобігає утворенню внутрішніх пустот повітря у частинках, що також знижує теплопровідність. Подрібнені стебла соломи на всіх технологічних стадіях

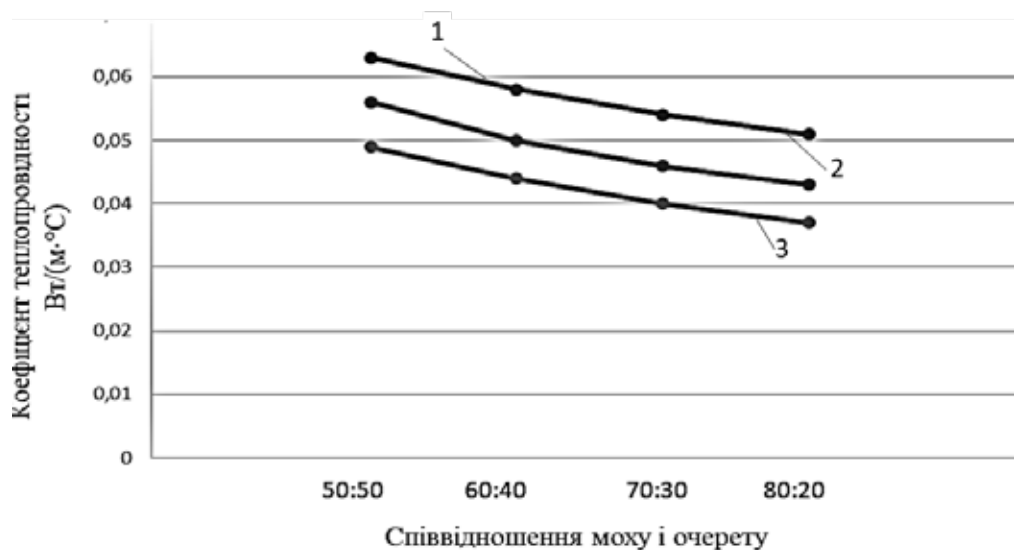


Рис. 3. Залежність зміни коефіцієнта теплопровідності від співвідношення моху та соломи в суміші заповнювачів

1 – композиції (1–6 витрата рідкого скла 400 г); 2 – композиції (7–12 витрата рідкого скла 300 г); 3 – композиції (13–18 витрата рідкого скла 200 г).

виробництва теплоізоляційної плити зберігають циліндричну форму та властивості. Після формування повітряні порожнини у трубах по кінцях закриваються ущільненим мохом, і циркуляція повітря через порожнечі не відбувається. Крім того, не відбувається руйнування клітинної структури солом'яних капілярів, оскільки при формуванні ізоляції не відбувається деформацій трубок подрібнених стебел, що також сприяє збільшенню стійкості до тепловіддачі.

У разі використання суміші моху та соломи спостерігалися значні зміни у зменшенні деформацій усадки. Усадка плит під час сушіння у поздовжньому напрямку відзначалася у композиціях із найменшою кількістю соломи та сполучного у композиціях 8, 11 та 12 і становила 2–3 мм від розмірів під час формування. На плитах решти складів усадкові деформації не відбувається. Найнижчий коефіцієнт теплопровідності дорівнює 0,044 Вт/(м·°C) за відсутності усадки плити у композиції 10. Зниження щільності матеріалу також спостерігалось порівняно із плитами на основі суміші моху й очерету, що пояснюється збереженням вихідних розмірів плит із однаковою вагою компонентів після висихання. Таким чином, більший об'єм соломи відносно очерету простору, збереження геометрії подрібнених стебел у вигляді порожнистих трубчастих циліндрів дозволило створити у структурі моху рівномірно розподілений когерентний каркас соломи, який сприймає сили стиснення під навантаження і запобігає появі усадкових деформацій. Також через більший об'єм соломи, заповненої композитним заповнювачем, мох ущільнюється до структури, подібної до структури 3, 4, 9, 10,

15, 16. Фактори призвели до відсутності деформацій усадки теплоізоляційних плит під час сушіння.

Висновки із зазначених проблем і перспективи подальших досліджень у поданому напрямі. Для отримання теплоізоляційних матеріалів на основі рослинної сировини були проведені комплексні дослідження з відбору композицій, включаючи приготування заповнювача певної фракції, та вивчені основні фізико-механічні характеристики зразків.

В основних експериментальних дослідженнях був використаний композитний заповнювач, який є сумішшю моху сфагнуму з очеретяною або житньою соломою. Рідке скло використовували як сполучну речовину. Використання моху як заповнювача зумовлено антисептичними властивостями та досвідом використання у цілях теплоізоляції. Рідке натрієве скло забезпечує теплоізоляційність матеріалу, негорючість, зв'язує заповнювач, є антисептиком і запобігає утворенню грибків. Більший об'єм соломи відносно очерету, збереження геометрії подрібнених стебел у вигляді порожнистих трубчастих циліндрів дозволили створити у структурі моху рівномірно розподілений когерентний каркас соломи, який сприймає сили стиснення під навантаження і запобігає появі усадкових деформацій. Ці фактори призвели до відсутності деформацій усадки теплоізоляційних плит під час сушіння.

Таким чином, внаслідок проведених досліджень отримано пластинчастий теплоізоляційний матеріал із високими фізико-механічними властивостями на основі природного рослинного матеріалу та відходів рослинництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Будівельні матеріали та вироби / О.М. Лівінський та ін. Дніпропетровськ : Акцент ПП, 2014. 658 с.
2. ДСТУ Б В.2.7-38-95 (ГОСТ 17171-94). 01.09.1996. Матеріали і вироби теплоізоляційні. Методи випробувань. [Чинний від 1996-09-01]. Київ, 1996. 25 с. (Національні стандарти України).
3. Пушкарьова К.К. Сучасні українські будівельні матеріали, вироби та конструкції : Асоціація «ВСВБМВ», 2012. 664 с.
4. Якісна теплоізоляція. Принципи інтегрованого термічного захисту. *Passive House-IGUA Українська ініціативна група Пасивного Будинку* : веб-сайт. URL: <http://passivehouse-igua.com/passivehouse/passive-house-integrated-thermal-protection> (дата звернення: 08.12.2021).

REFERENCES

1. Livinskyi, O.M., Pshinko, O.M., Savytskyi, M.V., Kulichenko, I.I., Kurok, O.I., Dorofiev, V.S. et al. (2014). *Budivelni materialy ta vyroby* [Building materials and products]. Dnipropetrovsk : Aktsent PP. [in Ukrainian].
2. Materialy i vyroby teploizoliatsiini. Metody vyprobuvan [Heat-insulating materials and products. Test methods]. (1995). DSTU B V.2.7-38-95 (HOST 17171-94). from 9th September 1995. Kyiv: Natsionalni standarty Ukrainy [in Ukrainian].
3. Pushkarova K.K. (2012). *Suchasni ukrainski budivelni materialy, vyroby ta konstruktсии* [Modern Ukrainian building materials, products and structures]. Asotsiatsiia "VSVBMV". [in Ukrainian].
4. Iakisna teploizoliatsiia. Prynstypy intehrovanoho termichnoho zakhystu. [High-quality thermal insulation. Principles of integrated thermal protection.]. *Passive House-IGUA Ukrainka initsiatyvna hrupa Pasyvnoho Budynku* : veb-sait. URL: <http://passivehouse-igua.com/passivehouse/passive-house-integrated-thermal-protection/> [in Ukrainian].

G. Golodyuk, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor (Lutsk National Technical University);
N. Gurgula, Laboratory Assistant (Lutsk National Technical University). **Research of thermal insulation properties of materials based on vegetable raw materials.**

Abstract. Finding and creating effective thermal insulation materials based on cheap raw materials continues to be a challenge. At the same time the criterion of economy of fuel and energy resources at production of heat-insulating materials has great value. Depending on the composition of the substances from which thermal insulation materials are made, they can, under certain conditions, affect the insulated surfaces, the environment and the human or animal body.

To obtain thermal insulation materials based on vegetable raw materials, comprehensive studies on the selection of compositions, including the preparation of aggregate of a certain fraction, and studied the basic physical and mechanical characteristics of the samples.

In the main experimental studies, a composite aggregate was used, which is a mixture of sphagnum moss with reed or rye straw. Liquid glass was used as a binder. The use of moss as a filler is due to its antiseptic properties and experience in the use of thermal insulation. Liquid sodium glass provides thermal insulation, non-flammability, binds the filler, is an antiseptic and prevents the formation of fungi. The larger volume of straw relative to the reed, preserving the geometry of the crushed stems in the form of hollow tubular cylinders, allowed to create a uniformly distributed coherent frame of straw in the moss structure, which absorbs compressive forces under load and prevents shrinkage deformation. These factors led to the absence of shrinkage deformations of thermal insulation boards during drying.

Thus, as a result of the research, a plate heat-insulating material with high physical and mechanical properties was obtained, which has biocidal properties on the basis of natural plant material and crop waste.

Key words: heat-insulating material, insulation, moss, sphagnum, raw materials, agricultural waste, thermal conductivity.