

ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИЙ ПЛИТНИЙ ДЕРЕВНО-ПОЛІМЕРНИЙ МАТЕРІАЛ

HEAT-INSULATING BOARD WOOD POLYMER MATERIAL

¹Цапко Ю.В., д.т.н., проф., ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0625-0783>,
²Бондаренко О.П., к.т.н., доцент, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8164-6473>,
¹Касянчук І.О., <https://orcid.org/0009-0004-3741-2903>,
^{2, 3}Цапко О.Ю., ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2298-068x>,
¹Горбачова О.Ю., к.т.н., ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7533-5628>,
¹Мазурчук С.М., к.т.н., ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6008-9591>,
²Жеребчук Д.С., студент, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7174-132X> (¹Національний університет біоресурсів і природокористування України, ²Київський національний університет будівництва і архітектури, ³Український державний науково-дослідний інститут "Ресурс")

¹Tsapko Yu.V., Doctor of Technical Sciences, professor, ²Bondarenko O.P., Ph.D., associate professor, ¹Kasyanchuk I.O., ^{2,3}Tsapko O.Yu., PhD, ¹Horbachova O.Yu., Ph.D., ¹Mazurchuk S.M., Ph.D., ²Zherebchuk D.S., student, (National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine, ²Kyiv National University of Construction and Architecture, ³Ukrainian State Research Institute "Resurs")

В роботі було досліджено теплоізоляційні властивості виробу з тирси деревини, полімеризованої сумішами поліефірних та епоксидних смол. Доведено, що основним регулятором процесу є густина і пористість матеріалу, підвищення вологості й промокання знижують теплоізолювальні показники. За теплофізичними залежностями розраховано теплоізоляційні властивості матеріалів та встановлено, що температуропровідність виробу з тирси склала не більше $0,21 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, а теплопровідність зразка не перевищила $0,00285 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, що відносить їх до теплоізоляційних матеріалів. Особливості визначення змочування водою показали, що для теплоізоляційного виробу з тирси, полімеризованого поліефірною смолою, вода створює тупий кут, а для теплоізоляційному виробу з тирси, полімеризованого епоксидною смолою, вода створює прямий кут, краплі при змочуванні, що показує їх стійкість до водопоглинання.

In the work, the heat-insulating properties of a product made of wood sawdust polymerized with mixtures of polyester and epoxy resins were investigated. It has been proven that the main regulator of the process is the

density and porosity of the material, increasing humidity and wetting reduce heat-insulating indicators. Based on thermophysical dependences, the thermal insulation properties of sawdust materials were calculated and it was established that the thermal conductivity of the sawdust thermal insulation product was no more than $0.21 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, the thermal conductivity of the sample did not exceed $0.00285 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$. In addition, the heat capacity of the product corresponds to a value within the range of $70 \dots 90 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, and the heat capacity value for the reed product was $32 \dots 33.5 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, respectively, which refers them to heat-insulating materials. The peculiarities of determining the process of wetting with water showed that for a heat-insulating product made of sawdust polymerized with polyester resin, water creates an obtuse, and ethylene glycol a sharp corner of the drop when wetting, on the other hand, for a heat-insulating product made of sawdust polymerized with epoxy resin, water creates a straight, and ethylene glycol a sharp corner of the drop when wetted, which shows their resistance to water absorption.

Ключові слова: природні будівельні матеріали, деревина, деревно-полімерний матеріал, теплоізоляційні вироби, теплопровідність, теплофізичні властивості.

Natural building materials, wood, wood polymer products, thermal insulation products, thermal conductivity, thermophysical properties.

Вступ. Вироби з деревини знаходять широке застосування у будівництві оскільки мають унікальні властивості: мала середня густина, низька теплопровідність, досить висока атмосферостійкість, крім того, вони мають високу міцність та пружність [1]. Однак, при виготовленні будівельних виробів обов'язково присутні побічні продукти (відходи лісопиляння), що потребують утилізації, а саме тирса. Необхідно зазначити, що використання у виробництві тирси та виготовлення продукції з неї дає можливість додаткового заробітку.

Основне використання тирси у будівництві – це виготовлення плитних матеріалів та теплоізоляційних виробів, оскільки даний вид сировини є екологічним і зниження цього показника залежить від в'язучого. Застосування поліефірних або епоксидних сухих сумішей при формуванні теплоізоляційних виробів з тирси деревини не знижує екологічні показники, а й підвищує атмосферостійкість виробів, оскільки наведені смоли характеризуються стійкістю до води та перепаду температур.

Таким чином, виготовлення теплоізоляційних виробів з тирси деревини та сухих сумішей з поліефірних та епоксидних смол потребує встановлення теплофізичних характеристик, необхідних для проектування та виготовлення виробів. Що і обумовило необхідність проведення досліджень у даному напрямку.

Огляд останніх досліджень та публікацій. В роботі [2] показано розробку інноваційного сипучого теплоізоляційного матеріалу зі стружки вільхи сірої (*Alnus incana* L. Moench) та луски берези (*Betula pendula*, *Betula verrucosa*) як залишків виробництва фанери. Дослідження є актуальним для компаній-виробників фанери та виробників, які переробляють тріску сірої вільхи для отримання інноваційної продукції з високою доданою вартістю. Стружка та пластівці екологічно ефективно перетворюються на волокнисту масу за технологією парового вибуху (SE) при температурах (Т) від 200 до 235°C і часовому інтервалі від 0 до 5 хв. Застосування технології SE для отримання волокнистого теплоізоляційного матеріалу є новим на світовому рівні й раніше не досліджувалося. Насипну густину сировини та SE матеріалів визначають за допомогою стандартизованого методу, зазначеного в LVS EN 15103: 2010. Насипну густину SE матеріалів досліджують залежно від фракції сировини та вологості, а також залежно від умов SE. Найнижчу насипну густину (53 кг/м³) мав матеріал SE із стружки сірої вільхи з 12% вологи, обробленої при T = 235 °C протягом 1 хв. Це оптимальний результат, який розкриває промислову конкурентоспроможність сипучих теплоізоляційних матеріалів і вказує на обґрунтованість подальшої експертизи.

В роботі [3] показано панелі та ДСП, які виготовлялися з очеретяних матів і сумішей очеретяної тріски, для використання всередині будівель для звуко- та теплоізоляції. Видно, що зовнішні шари очеретяного корпусу (шип) були майже водостійкими та надзвичайно стійкими до проникнення звичайних клеїв. Тому панелі із зшитої очеретяної циновки показали дуже низьку механічну міцність. Проте передача звуку таких панелей (1...3 км/с), виготовлених із різними комбінаціями, виявилася чудовою, порівняно з пропусканням деревно-стружкових плит (17 км/с). Проте суміші очеретяної стружки (2 см) і деревної стружки дозволили отримати ДСП із кращими механічними властивостями (5...17 МПа), ніж панелі, виготовлені з очеретяних матів (2 МПа). Зафіксовано, що збільшення кількості очеретяної стружки в випробуваних ДСП покращує як звуко-, так і теплоізоляцію з 17 до 6 км/с та з 0,34 до 0,27 Вт/(м·К) відповідно. Проте міцність на вигин зразків була знижена з 26 до 5 МПа. Відзначено збільшення товщини з 18% до 85% через додавання очеретяної стружки. На основі отриманих результатів зроблено висновок, що зовнішні шари водяного очерету слід модифікувати за допомогою хімічних та/або ферментативних методів для збільшення міжфазних зв'язків між адгезивами.

В роботі [4] визначали вплив завантаження наповнювача та вмісту зв'язуючого агента на густину і механічні властивості спінених біокомпозитів, отриманих під тиском. Біокомпозитні гранули були виготовлені з використанням борошна з пшеничної соломи, поліетилену з щепленим малеїновим ангідритом (MAPE), парафінового воску та поліетилену високої щільності (HDPE) за допомогою процесу екструзії.

Гранули та хімічний піноутворювач (азодикарбонамід) змішували сухим способом і спінювали в машині для лиття під тиском. Густина і механічні властивості зразків спінених біокомпозитів вимірювали та аналізували за допомогою центрального композитного дизайну (CCD). Результати показали, що вміст наповнювача, так і вміст зв'язуючого агента впливають на густину і механічні властивості спінених біокомпозитів. Досягнуто густину в діапазоні від 0,57 до 0,81 г/см³. Найкращі результати отримані при використанні менше 20% борошна з пшеничної соломи та 1% зв'язуючого агента. Модуль пружності при вигині та модуль пружності при розтягуванні спінених біокомпозитів покращувався зі збільшенням вмісту наповнювача. Проте значення міцності на вигин, міцності на розрив, подовження при розриві та ударна міцність були зменшені.

В роботі [5] досліджено вплив двох різних обробок силаном на підвищення сумісності між деревними волокнами фінікової пальми (DPWF) і полімолочною кислотою (PLA) для отримання зелених біорозкладних композитів. Виготовлені композитні матеріали для використання в будівництві в якості теплоізоляційних панелей з вмістом наповнювача від 0 до 40%. DPWF обробляли амінопропілтриетоксисиланом (APTES) з використанням двох різних розчинників: суміші розчинників ацетон – вода (SA) і суміші розчинників етанол – вода (SE). Композитні матеріали досліджували для оцінки впливу обробки на фізичні, термічні та механічні властивості. Крім того, композитна структура була проаналізована методами FTIR та SEM. Механічні властивості та водостійкість оброблених композитів показали значне покращення, порівняно з необробленими композитами (PLA-UTDPWF). Міцність на розрив композитів із вмістом волокон 20% збільшилася з 8,6 МПа для PLA-UTDPWF до 16,5 і 22,4 МПа для композитів PLA-SA і PLA-SE відповідно. Проте теплопровідність при обробці волокон дещо зросла, але залишилася в низькому діапазоні значень, прийнятних для теплоізоляції, коливаючись від 0,085 до 0,105 Вт/(м·К). Загалом, обробка SE досягла найкращих покращень за рахунок підвищення механічної міцності і мінімізації утримання води, зберігаючи при цьому низьку теплопровідність.

В роботі [6] розроблено легкий дерево-керамічний композит (WCC) без скла для будівельних робіт. WCC був виготовлений із частинок деревини китайської ялиці та порошку неорганічної глини, спеченого при 1100°C. Пори були створені всередині WCC. Теплопровідність вимірювали методом теплового потоку. Значення теплопровідності WCC становили від 0,10 до 0,25 Вт/(м·К). Зі збільшенням кількості частинок деревини в WCC її теплопровідність знижувалася. Теплопровідність панелі зі спеченої білої глини (0,29 Вт/(м·К)) була вищою, ніж у панелі з жовтої глини (0,26 Вт/(м·К)). Розмір частинок деревини не мав значного впливу на теплопровідність WCC. Коефіцієнт теплопровідності панелей із чистої спеченої жовтої глини та білої глини був вищим, ніж у твердої деревини китайської ялиці та WCC. Теплоізоляційні характеристики WCC

виправдовують його використання в якості стінових панелей або інших архітектурних конструкцій через його вищу пористість і нижчу теплопровідність.

Основною метою роботи [7] є вивчення теплоізоляційних можливостей шляхом включення деревної вати в піщаний розчин, щоб оцінити використання цього типу полегшених матеріалів як легкого теплоізоляційного бетону. Деревна вата була включена без будь-якої попередньої обробки в піщаний розчин. Підготовлено чотири розчини, що містили різні співвідношення. Показано, що введення деревної вати в розчин значно знижує його теплопровідність і дифузію. Таким чином, покращується теплоізоляційна здатність. Також досліджено вплив вмісту води на теплофізичні властивості досліджуваних зразків. Встановлено, що теплопровідність швидко зростає з вмістом води, а коефіцієнт теплопровідності представляє максимум, що відповідає значенню вмісту води W_m . Однак, матеріали, які використовуються для будівельних конструкцій, повинні мати достатню механічну міцність. Згідно з результатами експерименту, значення міцності на стиск сумісні з використанням цих матеріалів як легкого бетону. Дослідження водопоглинання зразків свідчить про високу гігроскопічність розробленого композиту.

Об'єктом дослідження роботи [8] є теплоізоляційний матеріал на цементній основі з відходами деревини. Мета дослідження – встановлення залежності фізико-технічних властивостей (коефіцієнта теплопровідності, міцності при стиску та щільності) цементного теплоізоляційного матеріалу від співвідношення компонентів суміші з тирсою. Дослідження проводили методом планування експерименту з урахуванням інтерполяційних можливостей моделей. За результатами експерименту побудовано математичні моделі та наведено графіки залежності коефіцієнта теплопровідності та міцності на стиск від співвідношень тирса/цемент і вода/цемент при постійних співвідношеннях пісок/цемент і вапно/цемент. Встановлено, що зі збільшенням вмісту тирси в суміші (співвідношення тирса/цемент знаходиться в межах від 0,25 до 0,75) міцність зразків суттєво знижується (до 64%), а коефіцієнт теплопровідності зменшується в середньому на 15%. Підібрано склади сумішей із заданими значеннями коефіцієнта теплопровідності, що мають показники міцності при стиску в діапазоні від 0,4 до 1,1 МПа, які дозволяють отримувати теплоізоляційні деревноцементні матеріали. Визначено можливі сфери застосування цих цементних теплоізоляційних матеріалів з використанням відходів деревини: утеплення підлоги першого поверху, стінових і перегородкових блоків.

Розробка рослинних матеріалів [9] допоможе вирішити проблеми, пов'язані з використанням відходів сільського господарства, і водночас отримати недорогі та ефективні теплоізоляційні матеріали на основі екологічно чистої місцевої сировини. Перевагами таких матеріалів є

доступність, швидке відновлення, низька вартість, екологічність і низька теплопровідність. Для приготування зразків соломі льону змішували з піском. Потім цю суміш заливали цементним тістом і перемішували до отримання однорідної маси. Змінюючи витрату цементу від 150 до 250 кг на 1 м³ бетону при масовому співвідношенні цемент: солома льону 1:0,9 можна регулювати середню густину й міцність теплоізоляційного легкого бетону. Так, при витраті портландцементу 150 кг на 1 м³ бетону середня густина легкого бетону становить 350 кг/м³, міцність – 0,53 МПа, теплопровідність – 0,09 Вт/(м·К). В роботі наведено результати дослідження зміни температури на поверхні зовнішніх огорожувальних конструкцій з використанням розробленого теплоізоляційного бетону на основі соломи льону в поєднанні з поглиначем сонячної енергії. Встановлено, що така конструкція забезпечує теплову інерційність огороження протягом 7...7,5 годин.

В роботі [10] виготовлено біокомпозити полімолочної кислоти (PLA), армовані волокнами базальт/бук, за допомогою двошнекового екструдера з подальшим пресуванням. Коефіцієнт теплопровідності чистого PLA був становив 0,12 Вт/(м·К). Теплоізоляція композитів PLA, армованих деревним волокном, показала кращі характеристики, ніж чистий PLA. Між варіаціями композитів PW можна побачити, що композити PW3 і PW4 мають кращі теплоізоляційні властивості з теплопровідністю 0,08 Вт/(м·К). Коефіцієнт теплопровідності композиту PB4 був визначений на рівні 0,09 Вт/(м·К). Цей результат забезпечує найкращі теплоізоляційні властивості серед PB композитів. З іншого боку, PBW4 продемонстрував кращу продуктивність із теплопровідністю 0,08 Вт/(м·К) між варіаціями композиту PBW. Отже, було помічено, що 40% вмісту деревини та гібридного волокна забезпечує кращі теплоізоляційні властивості. Ці результати відповідають значенням вмісту пустот, що означає, чим більша кількість пустот, тим краща буде забезпечена теплоізоляція.

Таким чином застосування теплоізоляційного виробу з деревини та сухих сумішей з поліефірних та епоксидних смол насамперед у будівництві потребує встановлення теплофізичних властивостей, необхідних для проектування й виготовлення теплоізоляційних виробів, на що і направлена дана робота.

Мета і задачі досліджень. Метою роботи є встановлення теплофізичних характеристик теплоізоляційного виробу з тирси деревини та сухих сумішей з поліефірних і епоксидних смол для визначення умов теплоізолювання будівельної конструкції.

Для досягнення мети були поставлено таке завдання:

– встановити особливості зниження теплообмінного процесу для теплоізоляційного виробу з тирси деревини та сухих сумішей з поліефірних та епоксидних смол, як теплоізолятора.

Матеріали і методи досліджень. Для дослідження теплопровідності теплоізоляційного виробу з тирси деревини та сухих сумішей з поліефірних та

епоксидних смол були виготовлені зразки шляхом змішування тирси та сухих сумішей смол у пропорції 1:2, з яких формували килим розмірами близько 150x150x20 мм та проводили термічне спікання при температурі 200°C протягом 20 хв (рис. 1).

Для дослідження теплоізолювальних властивостей матеріалів було застосовано спеціальне обладнання [11].



Рис. 1. Зразки виробів для досліджень

Суть досліджень з визначення теплопровідності полягає в тому, що в зразок матеріалу поміщали нагрівач з термопарою, а на оберненій стінці зразка контрольну термопару.

Кінець термопари фіксували так, щоб зразок притискувався до неї. Включали напругу на нагрівач та вимірювали температуру на поверхні зразка.

При досяганні температури 70°C нагрівач виключали, продовжуючи вимірювати температуру до значення $0,5T_{max}$ на оберненій поверхні зразка. По вимірних величинах визначали теплоізолювальні властивості зразка.

Критерієм визначення теплопровідності матеріалу при термічній дії є час досягнення значення $0,5T_{max}$ на оберненій поверхні зразка.

Для встановлення змочування теплоізоляційного виробу проводили дослідження з визначення кута змочування (рис. 2).

Проведення випробування виконували наступним чином: на зразок за допомогою піпетки наносилася крапля тестової рідини. Після досягнення краплею рівноважного стану були визначені її висота й діаметр за допомогою мікроскопа, що має певну ступінь збільшення.

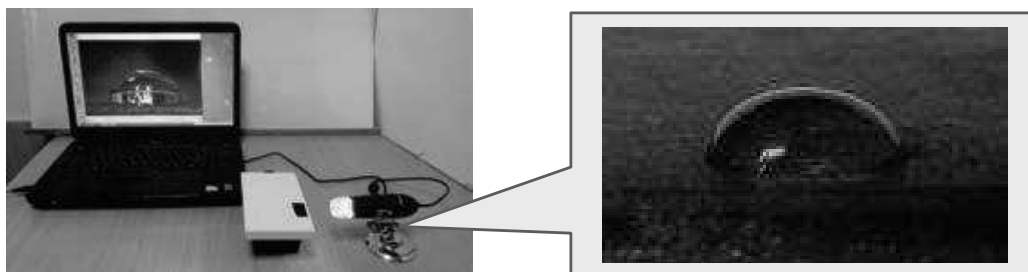


Рис. 2. Визначення крайового кута змочування покриття

Крайовий кут змочування θ визначався через тангенс кута θ , який розраховували за формулою:

$$\operatorname{tg} \theta = 4d \cdot h / (d^2 - 4h^2), \quad (1)$$

де d, h – діаметр і висота краплі, мм.

Моделювання параметрів теплообмінного процесу для будівельних виробів з тирси. Дослідження з моделювання процесу теплопровідності виробу при термічній дії проводили з застосуванням основних положень математичної фізики [12].

З метою встановлення теплофізичних характеристик виробу запропоновано метод вирішення задачі теплопровідності для пластини [11]. Одна із поверхонь зразка нагрівається тепловим потоком і зміна температури відбувається в одному напрямку. Для встановлення теплоізолювальних властивостей необхідно знайти розподіл температури в даному напрямку в будь-який момент часу.

Диференціальне рівняння, що описує процес передачі тепла, має вигляд:

$$\frac{\partial^2 T(x, \tau)}{\partial x^2} - \frac{1}{a} \frac{\partial T(x, \tau)}{\partial \tau} = 0, \quad (\tau > 0; 0 < x < \infty), \quad (2)$$

з початковими та граничними умовами:

$$T(x, 0) = T_0, \quad (3)$$

$$\lambda \frac{\partial T(x, \tau)}{\partial x} = q = \text{const}, \quad (4)$$

$$T(\infty, \tau) = 0, \quad (5)$$

$$\frac{\partial T(\infty, \tau)}{\partial x} = 0, \quad (6)$$

де T_0 – початкова температура очерету, °С;

$T(x, \tau)$ – температурне поле стінки в точках з координатами x в момент часу τ , °С;

a – коефіцієнт температуропровідності стінки, м²/с;

τ – час перебування зразка в високотемпературному середовищі, с;

q – температурний потік, Вт/м²;

λ – коефіцієнт теплопровідності стінки, Вт/(м·°С).

Рішення рівняння (2) з початковими та граничними умовами (3) – (6) наведено в роботі [11], визначені теплофізичні характеристики для плоского зразка наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Розрахункові залежності для визначення теплофізичних властивостей

Коефіцієнт теплової активності	$b = \frac{2q \cdot \sqrt{\tau}}{\sqrt{\pi} \cdot \Delta T_u}$
Коефіцієнт температуропровідності	$a = \frac{1}{4 \cdot \tau_2} \left(\frac{x}{B} \right)^2$
Коефіцієнт теплопровідності	$\lambda = b \cdot \sqrt{a}$
Питома теплоємність	$c = \frac{\lambda}{a \cdot \rho}$

де ΔT_n – перепад температури між нагрівачем та оберненою стороною зразка, °С;

B – аргумент функції інтеграла помилок;

ρ – густина виробу з тирси деревини, кг/м³.

Результати досліджень. Для встановлення теплофізичних характеристик матеріалів, а саме теплоізоляційного виробу з тирси деревини, були проведені дослідження щодо їх теплопровідності при дії нагрівального пристрою (рис. 3).



Рис. 3. Процес визначення теплопровідності теплоізоляційного виробу з тирси деревини під дією нагрівача

Нагрівач мав наступні характеристики: на електроізоляційну пластину розміром 100×100 мм товщиною 1 мм був намотаний дріт з ніхром, який мав опір 84 Ом, на який подавалась напруга в 11,2 Вт. Нагрівач поміщався у теплоізолювальну пластину для зниження тепловитрат по периметру.

Результати досліджень з визначення температури та тривалості індукційного часу передавання тепла через зразок, виготовленого з тирси деревини та сухих сумішей з поліефірних та епоксидних смол, виконували за методикою, яка наведена вище, а отримані результати показано на рис. 4.

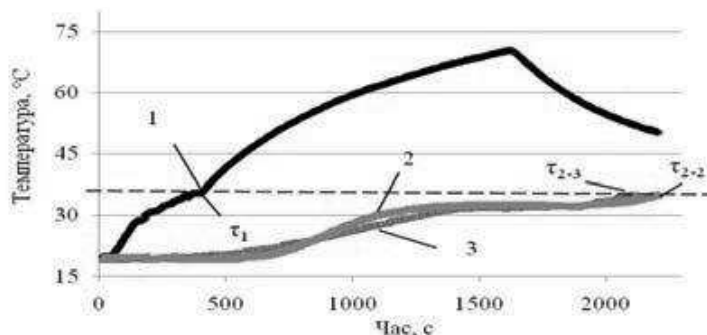


Рис. 4. Результати випробувань теплопровідності теплоізоляційного виробу з тирси деревини та сухих сумішей з поліефірних та епоксидних смол:

1 – нагрівальна крива; 2 – значення температури на оберненій поверхні для виробу на основі тирси й епоксидної смоли; 3 – значення температури на оберненій поверхні для виробу на основі тирси й поліефірної смоли. Точки τ_1 – відповідають середньому значенню температури нагрівальної кривої, τ_2 – відповідають середньому значенню температури на оберненій поверхні

Як видно з рис. 4, при дії нагрівача на зразок деревини почалося нагрівання та передавання тепла, але зафіксовано незначне підвищення

температури на оберненій поверхні протягом понад 2200 с. Тобто при застосуванні виробу з тирси в якості теплоізоляції було встановлено, що теплопровідність даного зразка характеризується дуже довгим часом передавання тепла, а саме процес теплопередачі гальмується утвореними повітряними бар'єрами в матеріалі, що дає можливість впливати на процес теплоізолювання.

Виходячи з результатів вимірної температури за методикою, яку наведено вище, розраховані теплофізичні характеристики матеріалів з деревини та смоли (табл. 2).

Таблиця 2

Теплофізичні характеристики теплоізоляційного виробу

Назва матеріалу	Товщина, мм	Маса, г	Розрахункові характеристики виробів з очерету				
			Густина ρ , кг/м ³	Теплова активність, Вт·с ^{1/2} /(м ² ·К)	Температуропровідність, м ² /с	Теплопровідність, λ , Вт/(м·К)	Теплоємність, кДж/(кг·К)
Виріб з тирси, полімеризований поліефірною смолою, 150×150 мм	19,2	177	415	6,22	0,20·10 ⁻⁶	0,00280	33,22
Виріб з тирси, полімеризований епоксидною смолою, 150×150 мм	19,0	175	384	6,22	0,21·10 ⁻⁶	0,00285	32,15

Під час визначення теплоізоляційних властивостей матеріалів було встановлено, що температуропровідність теплоізоляційного виробу з тирси склала не більше 0,21·10⁻⁶ м²/с, теплопровідність зразка не перевищила 0,00285 Вт/(м·К). Окрім того, теплоємність виробу відповідає значенню в межах 70...90 кДж/(кг·К), а значення теплоємності для виробу з тирси деревини склало 32...33,5 кДж/(кг·К) відповідно. Таким чином, дані матеріали відповідають значенням теплоізоляційного матеріалу [13].

Таким чином, отримані дані щодо впливу матеріалів та структури виробу на процес передавання тепла і зміни ізолювальних властивостей дозволяють стверджувати наступне:

– основним регулятором процесу є густина й пористість матеріалу, оскільки не висока густина і низька пористість призводить до швидкого урівноваження температур, а при підвищеній вологості та промоканні показник проходження їх буде вище.

Проведення випробування на вологопоглинання виконувалось наступним чином: на зразок за допомогою піпетки наносилася крапля покриття (рис. 5,

б). Після досягнення краплею рівноважного стану були визначені її висота і діаметр за допомогою мікроскопа.

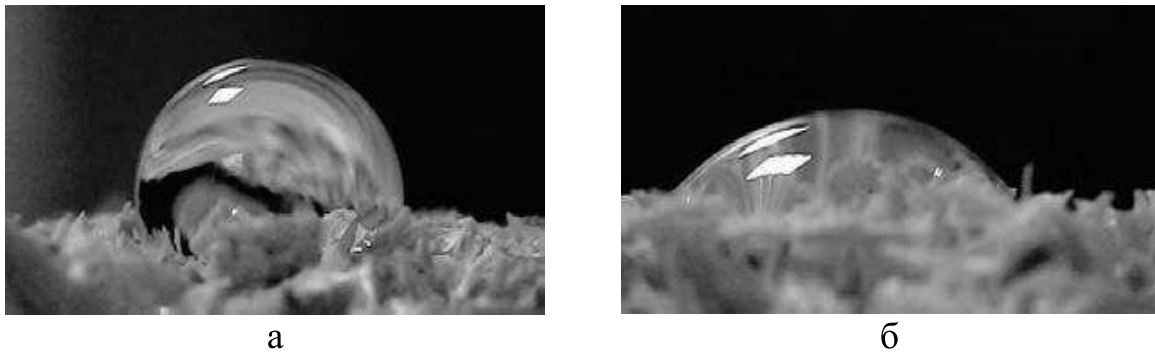


Рис. 5. Крапля рідини на теплоізоляційному виробі з тирси деревини, полімеризованої поліефірною смолою: а – вода; б – етиленгліколь

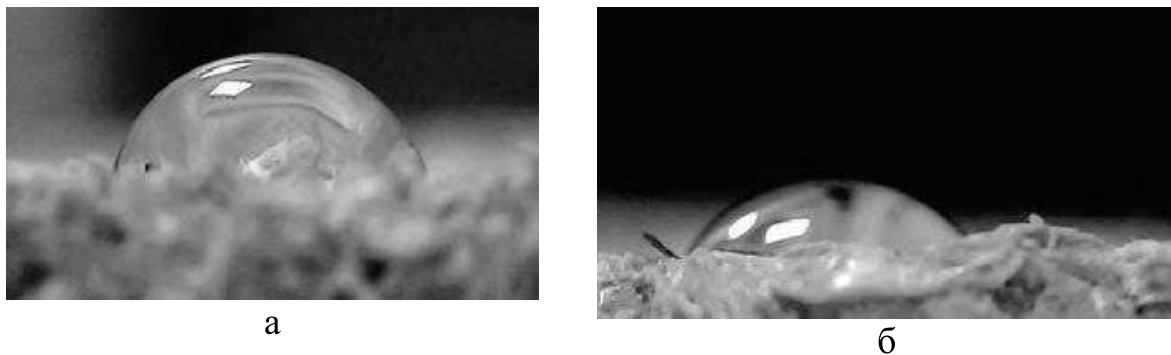


Рис. 6. Крапля рідини на теплоізоляційному виробі з тирси деревини, полімеризованої епоксидною смолою: а – вода; б – етиленгліколь

Як видно з рис. 6, вода створює тупий, а етиленгліколь гострий кут краплі при змочуванні.

Вищенаведені результати (рис. 5, 6) показують, що для теплоізоляційного виробу з тирси деревини, полімеризованого поліефірною смолою, вода створює тупий, а етиленгліколь гострий кут краплі при змочуванні, натомість, для теплоізоляційного виробу з тирси деревини, полімеризованої епоксидною смолою, вода створює прямий, а етиленгліколь гострий кут краплі при змочуванні, що показує низьку змочуванність водою.

Висновки. За теплофізичними залежностями розраховано теплоізоляційні властивості матеріалів з тирси деревини та встановлено, що температуропровідність теплоізоляційного виробу з тирси деревини склала не більше $0,21 \cdot 10^{-6}$ м²/с, теплопровідність зразка не перевищила 0,00285 Вт/(м·К). Окрім того, теплоємність виробу відповідає значенню в межах 70...90 кДж/(кг·К), а значення теплоємності для виробу з тирси деревини склало 32...33,5 кДж/(кг·К) відповідно, що відносить їх до теплоізоляційних матеріалів.

Особливості визначення процесу змочування водою показали, що для теплоізоляційного виробу з тирси деревини, полімеризованого поліефірною

смолою, вода створює тупий, а етиленгліколь гострий кут краплі при змочуванні, натомість, для теплоізоляційному виробу з тирси деревини, полімеризованої епоксидною смолою, вода створює прямий, а етиленгліколь гострий кут краплі при змочуванні, що показує їх стійкість до водопоглинання.

1. Tsapko Yu., Sirko Z., Vasylyshyn R., Melnyk O., Tsapko A., Bondarenko O. Establishing patterns of mass transfer under the action of water on the hydrophobic coating of the fire-retardant element of a tent / *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2021. – Vol. 4/10 (112). – pp. 45-51.

2. Andzs M., Tupciauskas R., Veveris A., Gravitis J. Impact of wood fraction, moisture and steam explosion on the development of an innovative insulation material / *Vide. Tehnologija. Resursi. Environment, Technology, Resources*. – 2015. – Vol. 1. – pp. 11-15.

3. Karademir A., Yetis F., Imamoglu S., Varlibas H. Utilization of water reed in production of various insulation panels / *Science and Engineering of Composite Materials*. – 2013. – Vol. 20, Issue 4. – pp. 371-377.

4. Mengelglu F., Karakuş K. Mechanical properties of injection-molded foamed wheat straw filled hdpe biocomposites: the effects of filler loading and coupling agent contents / *Foamed composites, BioResources*. – 2012. – 7 (3). – pp. 3293-3305.

5. Hyder Al A., Basim A.J., Iqbal Muhammad Z. Improvement of mechanical properties and water resistance of bio-based thermal insulation material via silane treatment / *Journal of Cleaner Production*. – 2022. – Vol. 34620, 131242.

6. Fann, Jann-Der; Chen, Ho-Chin; Hsu, Chun-Hsiung; Chen, Tsai-Yung. Thermal conductivity of wood-ceramic composites. *Taiwan Journal of Forest Science*. – 2008. – Vol. 23, Issue 2. – pp.125-131.

7. Driss T., Abdelmajid El B., Taib A., Hassan E. Effect of the incorporation of wood wool on thermo physical proprieties of sand mortars / *KSCE Journal of Civil Engineering*. – 2012. – Vol. 16, Issue 6. – pp. 1003-1010.

8. Kuznetsova N.V., Seleznev A.D. Component Compositions of Mixtures of Cement-Wood Heat-Insulating Material / *Lecture Notes in Civil Engineering*. – 2021. – Vol. 287. – pp. 105-113.

9. Novosad P., Pozniak O. Thermal insulation materials based on flax straw / *Theory and Building Practice*. – 2021. – Vol. 3, No 2. – pp. 46-51.

10. Aykanat O., Ermeydan A.M. Production of basalt/wood fiber reinforced polylactic acid hybrid biocomposites and investigation of performance features including insulation properties / *Polymer Composites*. – 2022. – pp. 1-12.

11. Tsapko Yu., Zavialov D., Bondarenko O., Marchenco N., Mazurchuk S., Horbachova O. Determination of thermal and physical characteristics of dead pine wood thermal insulation products / *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2019. – Vol. 4/10 (100). – pp. 37-43.

12. Samarsky A.A., Vabishchevich V.P. Computational heat transfer. – 2003. – 784 p.

13. Bobrov, Y.L., Ovcharenko E.G., Shoikhet B.M., Petukhova E.Y. Thermal insulation materials and structures. – 2003. – 268 p.