

УДК 614.842

DOI: 10.15587/1729-4061.2019.166375

Розроблення вогнестійких тепло- та звукоізоляційних плит з деревної шерсті

Ю. В. Цапко, Д. Л. Зав'ялов, О. П. Бондаренко, О. О. Пінчевська,
Н. В. Марченко, С. Г. Гузій

Проведеними дослідженнями встановлено можливості виготовлення тепло- та звукоізоляційних матеріалів для облаштування приміщень. Сировиною для їхнього виробництва є деревні волокна, які виготовляють у виді плоских плит. Встановлено механізми процесу тепло- та звукоізоляції при передаванні енергії через матеріал, що дає можливість впливати на цей процес. Доведено, що вони полягають у зниженні пористості матеріалу. Так, зі зменшенням об'ємної маси матеріалу, теплопровідність і передача звуку зменшується, і навпаки. Крім того, тепло- та звукоізоляційні будівельні матеріали з деревини повинні задовольняти наступним вимогам: мати стабільні теплоізоляційні і акустичні показники протягом усього періоду експлуатації та бути вогнестійкими і не виділяти в навколишнє середовище шкідливих речовин. Експериментальними дослідженнями підтверджено, що матеріал на основі деревної шерсті і неорганічного в'язучого при співвідношенні 1:1 відноситься до горючих матеріалів, оскільки, під час температурного впливу було зафіксовано його тління. Так, під термічною дією протягом 90 с матеріал зайнявся і полум'я поширилося по першим трьом зонам протягом 41 с. Натомість, підвищення кількості в'язучого на неорганічній основі та застосування органо-мінерального в'язучого, не призводить до загорання матеріалу. При цьому максимальна температура димових газів становила близько 120 °С, а індекс горючості складав 0 за рахунок розкладання антипіренів під дією температури з виділенням негорючих газів, які гальмують процеси окиснення матеріалу та суттєво підвищують утворення на поверхні матеріалу теплозахисного шару коксу. Це приводить до гальмування теплопередачі високотемпературного полум'я до матеріалу. Завдяки цьому стало можливим визначення умов вогнестійкості матеріалу шляхом утворення бар'єру для теплопровідності. Це дозволяє стверджувати про відповідність виявленого механізму формування властивостей матеріалу на основі деревної шерсті і неорганічного та органо-мінерального в'язучого та практичну привабливість запропонованих технологічних рішень. Останні, зокрема, стосуються визначення кількості складової в'язучого, оскільки при малих кількостях проходить процес горіння. Таким чином, є підстави стверджувати про можливість спрямованого регулювання процесів формування деревинних тепло- та звукоізоляційних матеріалів шляхом використання деревної шерсті і неорганічного та органо-мінерального в'язучого, які здатні утворювати на поверхні матеріалу вогнезахисну плівку.

Ключові слова: тепло- та звукоізоляційні матеріали, деревна шерсть, теплопровідність, звукоізоляція, неорганічне і органо-мінеральне в'язуче.

1. Вступ

На сьогоднішній день все більшої популярності набирає екологічно безпечні матеріали з деревини, які за групою горючості відносять до легкозаймистих матеріалів. Сировиною для їх виготовлення є відходи деревообробної промисловості, деревна тріска, шерсть та інше, однак ці матеріали мають одну спільну ваду – горючість.

Деревина є одним з ефективних звукопоглинальних матеріалів, оскільки, звук поглинається не тільки з-за тертя в порах деревини, але і завдяки внутрішньому тертю при деформаціях гнучкого скелета. Пористі акустичні матеріали, до яких відноситься деревина, повинні задовольняти загальним вимогам: коефіцієнт звукопоглинання на низьких частотах (125 Гц) повинен становити не менш 0,20 і на середніх (500-2000 Гц) – не менш 0,40. Окрім того повинні бути негорючими або важкогорючими, а також довговічними; мати невелику об'ємну вагу (не більше 300–400 кг/м³); бути біостійкими; не повинні виділяти хімічно шкідливих речовин.

Основні вимоги до вогнестійкості природних горючих матеріалів полягають в здатності протистояти дії вогню та не поширювати полум'я поверхнею. Зміна розкладу такого матеріалу при вогнезахисному обробленні, направлена в сторону утворення негорючих газів і важкогорючого коксового залишку, а також гальмування окиснення в газовій і конденсованій фазі.

Сучасні методи вогнезахисту будівельних конструкцій базуються на використанні покриттів, що спучуються, які являють собою складні системи органічних і неорганічних компонентів, здатних утворювати захисний шар коксу [1, 2]. Використання композицій з полімерних речовин та антипіренів переводить органічний матеріал до важкозаймистих та дозволяє перенести процес займання у більші часові терміни [3, 4].

Найпростіші вогнезахисті засоби на основі неорганічних в'язучих матеріалів містять у своєму складі зв'язану воду, яка під час нагрівання випаровується і блокує перенос тепла до поверхні, що захищається. У якості зв'язки використовують здебільшого натрієве рідинне скло, портландцемент, глиноземистий цемент, фосфатні і алюмосилікатні в'язучі. Такі матеріали характеризуються незначною еластичністю, при дії температурного фактору в навколишнє середовище виділяють тільки водяні пари [3].

Формування тепло- та звукоізоляційної плити з деревини із застосуванням негорючих в'язучих може підвищити вогнезахист матеріалу за рахунок утворення захисного шару коксу. Це дозволить розробити новий тип вогнезахисних покрівельних засобів для будівельних конструкцій.

Оброблення поверхні тепло- та звукоізоляційної плити вогнезахисними покриттями не завжди доцільно, оскільки після тривалої термічної дії стадія горіння може переноситись у середину матеріалу шляхом тління.

Тому виготовлення вогнестійких тепло- та звукоізоляційних деревинних матеріалів, дослідження вогнезахисту і впливу компонентів, які входять до їхнього складу, на цей процес є невирішеною складовою вогнестійкості будівельних конструкцій. І, відповідно, визначають необхідність проведення таких досліджень.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

За останні роки у напрямку застосування деревини відомі роботи, які направлені на розроблення вогнезахищених панельних плит для тепло- та звукоізоляції. Вони базуються на пресуванні суміші рослинних волокон з мінеральними домішками, в якості яких використовують азбест, слюду, базальт, змішаний з гідрофобними компонентами [5, 6]. В роботі [5] вивчено вплив кількості рослинного волокна (льоноволокна – бавовняного волокна) на щільність і гнучкість матеріалу, одержуваного шляхом аераційного осадження. Також розглянуто вплив зв'язуючого на основі рослинної сировини на властивості гнучких теплоізоляційних матеріалів, однак залишається невирішеним питання, яке пов'язано з горючістю, що знижує якість отриманих результатів. В роботі [6] реалізація способу отримання деревно-мінерального композиційного матеріалу заснована на армуванні деревини нанодисперсними частинками базальту при набуханні у водному середовищі з урахуванням поверхневих властивостей деревини і базальту. Після відділення твердої фази від реакційної суспензії та додавання в'язуючого на основі суміші дрібнодисперсних базальтових і полісилікатних систем розглядається формуванням напівфабрикату і його сушіння. Однак, вироби відносяться до матеріалів, що характеризується низькою адгезією.

В роботі [7] наведені дані з технології виробництва, теплофізичні властивості матеріалу, виготовленого з конопель і гіпсового в'язуючого, та показано можливість його використання в якості тепло- та звукоізоляційного матеріалу. Але залишаються невирішеними питання щодо прояву спільної дії компонентів при ізолюванні тепла. Матеріали, які наведено у роботі [8], характеризуються високою тепло- та звукоізоляційною здатністю, але не показано технологію їх виготовлення та міцнісні характеристики.

Доцільність використання доломітової глини підтверджується зміною структури пінококсу та суттєвим зниженням теплових характеристик, що обумовлено утворенням проміжних з'єднань, які створюють значну кількість наноструктур [9]. Однак для підтвердження цього процесу не наведені відповідні фізико-хімічні розрахунки. Так це, насамперед, обумовлено широким діапазоном температур при розкладі органо-неорганічного гібридного матеріалу з піком при 353 °С, що набагато вище температури займання матеріалу [10]. У напрямку даних досліджень [11] запропонована математична модель, що описує динаміку поширення і утримання тепла на волокнистому ізоляційному покритті з урахуванням «внутрішніх» особливостей теплоізолятора (зернистості і пористості волокнистої ізоляції). Однак, дана модель не враховує саме як зміна форми пор впливає на теплопередачу до самої конструкції.

Крім того, багато тепло- та звукоізоляційних матеріалів мають цілу низку недоліків, таких як внесення окремих компонентів, втрати функціональних властивостей при збільшенні температури [12]. Це означає, що не визначено, як саме протікає процес за умов температур у діапазоні розкладу матеріалу. З практичної точки зору це може викликати труднощі, що пов'язані з визначенням оптимальної кількості інертних добавок.

Проведені також дослідження ізоляційних матеріалів, виготовлених зі змішаних килимових відходів з розчином з колеманітової руди, одним з міне-

ралів бору і розчином з додаванням колеманітних відходів [13]. Показано, що завдяки встановленим оптимальним співвідношенням стає можливим корегування вмісту компонентів для забезпечення процесу теплозвукоізоляції.

Тому розроблення тепло- та звукоізоляційних плит дослідження впливу компонентів, які входять до їх складу, і їх роль у забезпеченні вогнестійкості, обумовлюють проведення досліджень у цьому напрямі, а саме створення вогнестійких тепло- та звукоізоляційних плит.

3. Мета і задачі дослідження

Метою роботи є виявлення тепло- та звукоізоляційних параметрів плит з деревної шерсті та встановлення їх вогнестійких властивостей.

Для досягнення мети необхідно було вирішити наступні задачі:

– дослідити теплопровідність та звукоізоляційні властивості матеріалів на основі деревної шерсті і алюмосилікатних та органо-мінеральних в'язучих речовин;

– визначити особливості прогорання тепло- та звукоізоляційних деревинних матеріалів при температурній дії та впливі вогнезахисту на пригнічення горіння.

4. Матеріали та методи дослідження при розробці тепло- та звукоізоляційних матеріалів

4.1. Досліджувані матеріали, які використовувались в експерименті

Зразки тепло- та звукоізоляційного матеріалу на основі деревинної шерсті і в'язучого готувались методом пресування в металевих прес-формах розміром 350×300×30 мм. Для наповнювача плит слугувала деревинна шерсть попередньо виготовлена з низькоякісної деревини сосни висушена до вологості 10 %. Розміри волокон (шерстин) складали: довжина – 50–400 мм, товщина – 0,5 мм та ширина – 5 мм відповідно. Підготовка в'язучого полягала у доведенні його в'язкості до 10 с та 17 с (при збільшенні у двічі) по віскозиметру ВЗ-4 водою. У якості в'язучого використовували вогнезахисне покриття на неорганічній основі (патент України на корисну модель № 95440 «Вогнезахисне покриття для деревини») та покриття на органо-мінеральній основі («Skela-w»).

Деревну шерсть і в'язуче поміщали у ємність та перемішували. Перемішування відбувалося до повного змочування деревної шерсті, після чого приготувану сировинну суміш поміщали на сито на 60 с та заповнювали прес-форму. Наповнена прес-форма піддавалась гарячому пресуванню під тиском 0,02 МПа при температурі 100-110 °С і витримувалась протягом 30 с на кожен міліметр пресованого виробу. Після чого температура опускалась до 75 °С та витримувалась протягом 60 с на кожен міліметр товщини пресованого виробу. Після зняття навантаження зразки витримувались 1 добу при кімнатній температурі та відносної вологості повітря близькій 65 %.

Тепло- та звукоізоляційний матеріал готували при таких співвідношеннях масових частин наповнювача і в'язучого (рис. 1):

1) деревинна шерсть – в'язуче (на неорганічній основі) при співвідношенні 1:1;

2) деревинна шерсть – в'яжуче (на неорганічній основі) при співвідношенні 1:2;

3) деревинна шерсть – в'яжуче (на орґано-мінеральній основі) при співвідношенні 1:1.

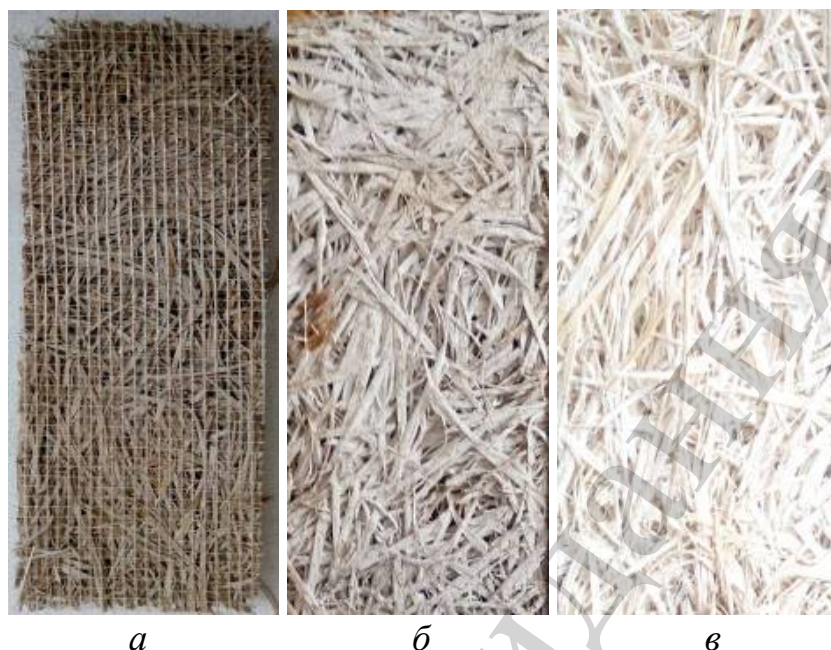


Рис. 1. Модельні зразки тепло- та звукоізоляційного матеріалу: *а* – на основі деревинна шерсть – неорґанічне в'яжуче при співвідношенні 1:1, *б* – на основі деревинна шерсть – неорґанічне в'яжуче при співвідношенні 1:2; *в* – на основі деревинна шерсть – орґано-мінеральне в'яжуче при співвідношенні 1:1

Після виготовлення плит, з них було вирізано зразки для проведення випробувань, кромки яких обпилювались по всьому периметру. Так, розміри та щільність зразків для різних варіантів в'яжучого склали:

1) деревинна шерсть – в'яжуче при співвідношенні 1:1:

– для неорґанічного (патент України на корисну модель № 95440 «Вогнезахисне покриття для деревини») – 300×300×28 мм, щільність 147 кг/м³;

– для орґано-мінерального («Skela-w») – 300×300×28 мм, щільність 143 кг/м³;

2) деревинна шерсть – в'яжуче (на неорґанічній основі) при співвідношенні 1:2 – 300×300×27 мм, щільність 274 кг/м³.

4. 2. Методика визначення показників властивостей зразків

Визначення нормального коефіцієнта звукопоглинання проводили на зразках стандартної плити ДСП та вогнестійкої тепло- та звукоізоляційної плити, виготовленої з деревинної шерсті. Звукопоглинальна здатність матеріалу характеризується середньоарифметичним ревербераційним коефіцієнтом звукопоглинання (α) в кожному із трьох діапазонів частот:

– у низькочастотному діапазоні (100–315 Гц);

– у середньочастотному діапазоні (400–1250 Гц);

– у високочастотному діапазоні (1600 – 8000 Гц).

При цьому, в залежності від величини середньоарифметичного ревербераційного коефіцієнта звукопоглинання (α) в кожному із вказаних діапазонів, звукопоглинальні матеріали відносяться до одного із трьох класів:

- до класу 1 – при $\alpha > 0,8$;
- до класу 2 – при $\alpha = 0,4 - 0,8$;
- до класу 3 – при $\alpha = 0,2 - 0,4$.

Необхідно відзначити, що величини ревербераційного коефіцієнту звукопоглинання того чи іншого матеріалу, як правило, дещо більші ніж величини нормального коефіцієнту звукопоглинання. Разом з тим, з метою орієнтовної оцінки звукопоглинальних властивостей випробуваних зразків визначимо приналежність даного матеріалу до того чи іншого класу за величинами середньоарифметичного нормального коефіцієнта звукопоглинання в діапазоні частот:

– величина середньоарифметичного нормального коефіцієнта звукопоглинання випробуваних зразків вогнезахисних тепло- та звукоізоляційних деревоволокнистих плит в низькочастотному діапазоні становить 0,21 і відноситься в даному частотному діапазоні до звукопоглинальних матеріалів класу 3;

– величина середньоарифметичного нормального коефіцієнта звукопоглинання випробуваних зразків вогнезахисних тепло- та звукоізоляційних деревоволокнистих плит в середньочастотному діапазоні становить 0,25 і відноситься в даному частотному діапазоні до звукопоглинальних матеріалів класу 3;

– величина середньоарифметичного нормального коефіцієнта звукопоглинання випробуваних зразків вогнезахисних тепло- та звукоізоляційних деревоволокнистих плит в високочастотному діапазоні становить 0,42 і відноситься в даному частотному діапазоні до звукопоглинальних матеріалів класу 2.

Згідно наведених вимог у загальному випадку до звукопоглинальних відносять матеріали, які мають коефіцієнт звукопоглинання $\alpha \geq 0,4$ при частоті 1000 Гц.

Результати досліджень звукопоглинальних властивостей деревостружкової плити (табл. 1) показали [14], що даний матеріал у низькочастотному та середньочастотному діапазоні відноситься до звукопоглинальних матеріалів класу 3, а у високочастотному до звукопоглинальних матеріалів класу 2.

Таблиця 1
Коефіцієнти звукопоглинання матеріалів і конструкцій

Матеріал	Середньоарифметичні частоти октавних смуг, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
ДСП, $\delta=20$ мм	0,29	0,29	0,27	0,33	0,32	0,39	0,46	0,46

Завдання теплоізоляції будівель – це понизити втрати тепла в холодний період року і забезпечити відносну постійність температури в приміщеннях протягом доби при коливаннях температури зовнішнього повітря. Тому для теплоізоляції застосовують ефективні матеріали, якими можна істотно зменшити товщину і понизити масу конструкцій.

За даними досліджень встановлено, що коефіцієнт теплопровідності ДСП плит товщиною 20 мм становить 0,12 Вт/(м·К) [15], для тепло- та звукоізоля-

ційних плит з деревної шерсті показників теплопровідності не виявлено. Тому визначення теплофізичних показників тепло- та звукоізоляційних плит з деревної шерсті (густина, теплопровідність у сухому стані) проведено у результаті експериментальних досліджень. Нормативні значення густини, теплопровідності в сухому стані, вологості матеріалу за умов А і Б, а також теплопровідності за цих умов наведено в табл. 3 [16]. Суть методу випробувань теплоізоляції полягає в тому, що матеріал, який випробовується, піддають тепловим впливам, що імітують умови експлуатації матеріалу в огорожувальних конструкціях, та визначають зміни теплофізичних характеристик матеріалу.

Як видно з табл. 2, вироби з деревостружкової плити відносяться до тепло- та ізолювальних матеріалів.

Дослідження з експериментального визначення параметрів займання тепло- та звукоізоляційних плит з деревної шерсті проводили за методикою, суть якої полягала у тому, що зразок поміщали у випробувальній камері та піддавали впливу радіаційної панелі.

Таблиця 2

Нормативні значення теплофізичних параметрів деревостружкових плит [16]

Характеристика в сухому стані		Розрахунковий вміст вологи в умовах експлуатації w , %		Розрахункові характеристики в умовах експлуатації	
				Теплопровідність λ , Вт/(м·К) не більше	
Густина ρ_0 , кг/м ³	Теплопровідність λ_0 , Вт/(м·К) не більше	А	Б	А	Б
200	0,06	10	12	0,07	0,08
400	0,08	10	12	0,11	0,13
600	0,11	10	12	0,13	0,16
800	0,13	10	12	0,19	0,23
1000	0,15	10	12	0,23	0,29

Після запалювання зразка проводили вимірювання часу займання, максимальної температури продуктів горіння і часу її досягнення, часу проходження фронтом полум'я ділянок поверхні, довжину згорілої частини зразка [2].

Визначення вищої теплоти $Q_{v,p}$ здійснювалось експериментально згідно ДСТУ Б EN ISO 1716:2011 [17] в калориметрі ІКС 6000 Isoperibol з ізотермічною оболонкою. Нижча теплота згорання визначалась розрахунком з вищої.

5. Результати досліджень тепло- та звукоізоляційних деревинних матеріалів та їх стійкості при температурному впливі

Визначення нормального коефіцієнт звукопоглинання проводили на зразках деревинної плити на основі деревної шерсті і органо-мінерального в'язучого щільністю 143 кг/м³ та неорганічного в'язучого щільністю 274 кг/м³. На рис. 2 наведено залежність нормального коефіцієнта звукопоглинання від

частоти коливань для зразків деревоволокнистих плит для різних діапазонів та приведені рівняння апроксимуючих кривих, які задовільно описують отриманий масив даних.

Дані оброблялися за допомогою Microsoft Excel функцією:

$$\alpha = a \cdot \omega^b, \quad (1)$$

де емпіричні константи a – коефіцієнт звукопоглинання, b – частота коливання Гц.

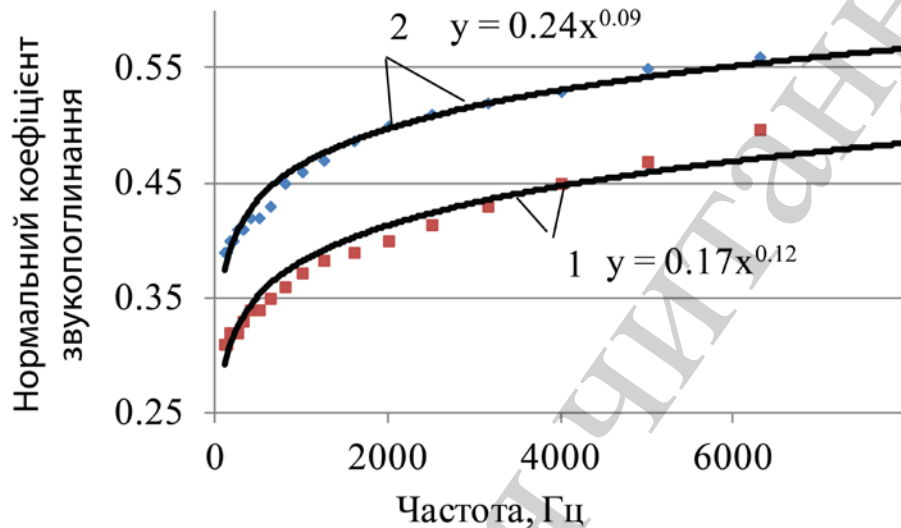


Рис. 2. Залежність нормального коефіцієнта звукопоглинання від частоти коливань для зразків деревинної плити, які описуються кривими апроксимації: 1 – на основі деревної шерсті і неорганічного в'язучого; 2 – на основі деревної шерсті і органо-мінерального в'язучого

Із рис. 2, при апроксимації кривої 2, маємо: $a=0,24$; $b=0,09$ Гц, тоді нормальний коефіцієнт звукопоглинання становитиме:

$$\alpha = 0,24 \cdot 1000^{0,09} = 0,44. \quad (2)$$

Натомість для плити, виготовленої з неорганічного в'язучого, нормальний коефіцієнт звукопоглинання складає 0,39.

Результати акустичних випробувань (рис. 2) показали, що для зразків деревинної плити на основі деревної шерсті і неорганічного в'язучого величина нормального коефіцієнта звукопоглинання дещо нижче у зв'язку з підвищенням щільності та наближує їх до звукоізоляційних матеріалів 3 класу. Для зразків деревинної плити на основі деревної шерсті і органо-мінерального в'язучого величина нормального коефіцієнта звукопоглинання вище та відносить їх до звукоізоляційних матеріалів (табл. 3).

Таблиця 3

Величина нормального коефіцієнта звукопоглинання для деревинної плити на основі деревної шерсті і в'язучого

Діапазон частоти октавних смуг, Гц	Величина нормального коефіцієнта звукопоглинання	
	деревинної плит на основі деревної шерсті і неорганічного в'язучого	деревинної плит на основі деревної шерсті і органо-мінерального в'язучого
Низькочастотний (100–315 Гц)	0,32	0,4
Середньо частотний (400–1250 Гц)	0,36	0,44
Високочастотний (1600–8000 Гц)	0,44	0,53

Теплоізолювальним випробуванням піддавались зразки деревинної плити на основі деревної шерсті і неорганічного в'язучого та органо-мінерального в'язучого. Результати визначення густини, вологості і теплопровідності наведено в табл. 3.

Отримані результати показників теплотехнічних властивостей плити на основі деревної шерсті і неорганічного та органо-мінерального в'язучого показали, що вони за показником теплопровідності відповідають вимогам табл. 2 [16].

Таблиця 4

Результати випробувань теплотехнічних властивостей деревинних плит

Показник	Значення показника для	
	плит з деревної шерсті і неорганічного в'язучого	плит з деревної шерсті і органо-мінерального в'язучого
Густина, кг/м ³	274	143
Початкова вологість, %	8,3	7,9
Теплопровідність у вологому стані, Вт/(м·°С)	0,0943	0,0648
Теплопровідність у сухому стані, Вт/(м·°С)	0,0821	0,0451

На рис. 3, 4 показано процес займання та поширення полум'я деревинним матеріалом.



Рис. 3. Результати випробувань процесу займання та поширення полум'я матеріалу: *а* – вплив полум'я на зразок, *б* – горіння матеріалу на основі деревної шерсті і неорганічного в'язучого при співвідношенні 1:1

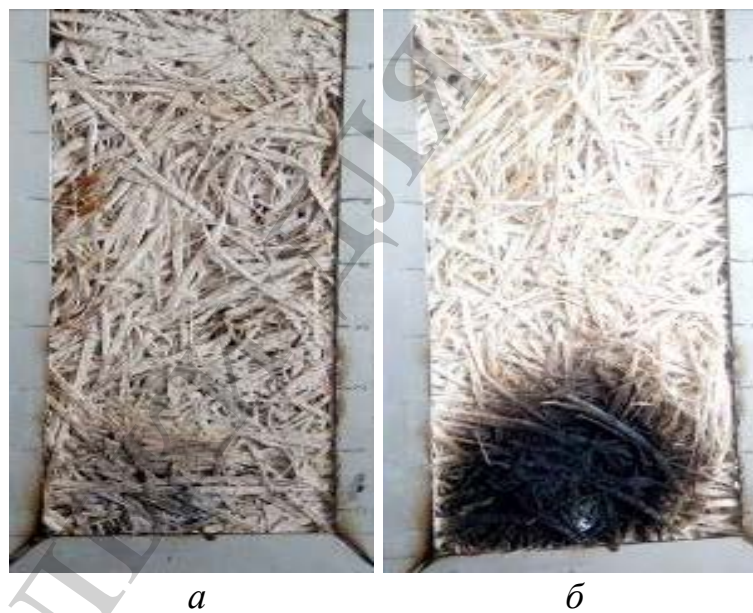


Рис. 4. Результати випробувань процесу займання та поширення полум'я матеріалом: *а* – на основі деревної шерсті і неорганічного в'язучого при співвідношенні 1:2; *б* – на основі деревної шерсті і органічно-мінерального в'язучого при співвідношенні 1:1

Результати досліджень з визначення приросту максимальної температури газоподібних продуктів горіння (Δt , °C) деревинного матеріалу, проведених у лабораторних умовах, наведено на рис. 5, табл. 5.

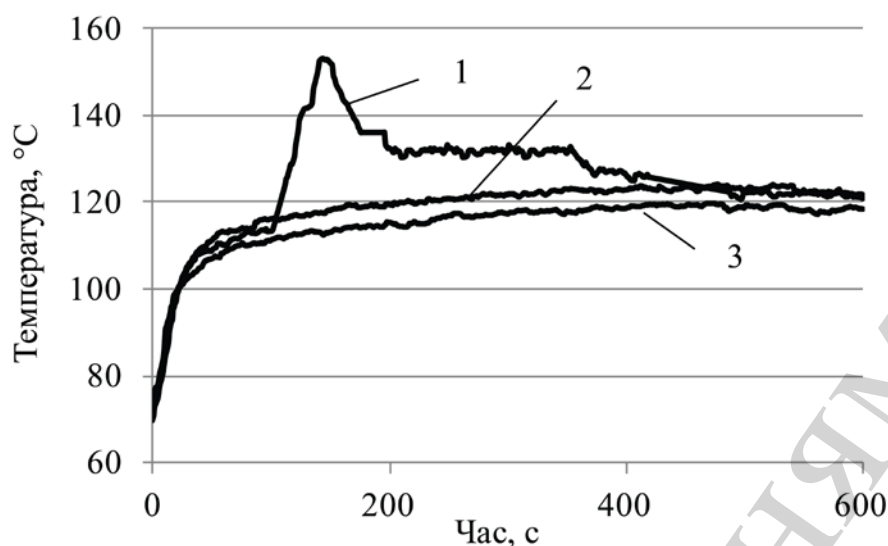


Рис. 5. Динаміка наростання температури димових газів при випробуваннях матеріалу: на основі деревної шерсті і неорганічного в'язучого при співвідношенні 1:1; 2 – на основі деревної шерсті і органо-мінерального в'язучого при співвідношенні 1:1; 3 – на основі деревної шерсті і неорганічного в'язучого при співвідношенні 1:2

Дослідження показали (рис. 5), що матеріал на основі деревної шерсті і неорганічного в'язучого при співвідношенні 1:1 відноситься до горючих матеріалів, оскільки, під час температурного впливу було зафіксовано тління.

Таблиця 5

Час проходження фронтом полум'я контрольних точок

Зразок матеріалу на основі деревної шерсті і	Температура димових газів, °C		Час займання, с	Час проходження фронтом полум'я ділянок зразка, с									Час досягнення максимальної температури димових газів, с	Довжина горіння зразка, мм	Індекс горючості
	T ₁	T _{max}		1	2	3	4	5	6	7	8	9			
неорганічного в'язучого при співвідношенні 1:1	71,3	151	6	1 2	1 7	1 6	–	–	–	–	–	–	141	96	35,7
органомінерального в'язучого при співвідношенні 1:1	69,6	121	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	600	0	0
неорганічного в'язучого при співвідношенні 1:2	72,4	119	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	600	0	0

При дії радіаційної панелі на зразки деревинного матеріалу (крива 1, рис. 5) температура газоподібних продуктів горіння підвищилась до 150 °С. Під час випробувань зразка матеріалу на основі деревної шерсті і неорганічного в'язучого при співвідношенні 1:1 було встановлено, що зразок зайнявся на 90 с, полум'я поширилося по першим трьом зонам протягом 41 с, а потім перейшло у фазу тління. Натомість, підвищення кількості в'язучого на неорганічній основі та застосування органо-мінерального в'язучого, не призводить до загорання матеріалу, максимальна температура димових газів становила близько 120 °С, а індекс горючості склав 0 (табл. 5).

Таким чином, встановлено, що зразок матеріалу на основі деревної шерсті і неорганічного в'язучого при співвідношенні 1:1 за високих температур здатний до займання та горіння, що є недостатнім для захисту і потребує підвищення кількості вогнезахисного засобу. Виготовлення матеріалу на основі деревної шерсті і неорганічного в'язучого при співвідношенні 1:2 і при застосуванні органо-мінерального в'язучого при співвідношенні 1:1 перешкоджає вигоранню та поширенню полум'я.

6. Оцінювання вогнестійкості тепло- та звукоізоляційних деревинних матеріалів

Для оцінювання стійкості до термічної дії тепло- та звукоізоляційних деревинних матеріалів розглянуто швидкість втрати маси при випробуваннях. У табл. 6 наведено час випробування, площа пошкодження зразка та швидкість втрати маси елемента конструкції після випробувань.

Таблиця 6

Швидкість вигорання необроблених та оброблених зразків тари

Зразок матеріалу на основі деревної шерсті і	Втрата маси Δm , кг	Час випробування τ , с	Площа пошкодження зразка S_0 , м ²	Швидкість вигорання зразка v , 10 ⁻³ кг/(м ² ·с)
Неорганічного в'язучого при співвідношенні 1:1	0,022	600	0,016	0,0023
Органо-мінерального в'язучого при співвідношенні 1:1	0,008	600	0,008	0,0015
Неорганічного в'язучого при співвідношенні 1:2	0,0012	600	0,005	0,0004

Швидкість втрати маси зразків розраховували за рівнянням [18], як відношення втрати маси до площі пошкодження зразка за період термічного впливу.

Для визначення характеристик тепловиділення матеріалів під час їхнього горіння використовується рівняння, що пов'язує швидкість тепловиділення під час горіння матеріалу з швидкістю вигорання і нижчою теплотою згорання [17]:

$$Q = \eta m Q_H S, \quad (3)$$

де η – коефіцієнт повноти згоряння летких продуктів розкладу речовини у полум'ї (приймається 0,85); m – масова швидкість вигорання матеріалу, кг/(м²·с); Q_n – нижча теплота згоряння матеріалу, кДж/кг; S – площа поверхні зразка, що перебуває під дією теплового впливу, м².

Проведено визначення теплоти згоряння матеріалу на основі деревної шерсті і неорганічного та органо-мінерального в'язучого (табл. 7).

Таблиця 7

Вища та нижча теплота згоряння деревини

Зразок матеріалу на основі деревної шерсті і в'язучого	Теплота згоряння, кДж/кг		Площа поверхні зразка, що перебуває під дією теплового впливу, м ²	Тепловиділення, кДж/кг
	вища	нижча		
Неорганічного в'язучого при співвідношенні 1:1	18965	17257	0,036	1,219
Органо-мінерального в'язучого при співвідношенні 1:1	12846	11775	0,036	0,54
Неорганічного в'язучого при співвідношенні 1:2	11943	10957	0,036	0,144

Таким чином, зразок матеріалу на основі деревної шерсті і неорганічного в'язучого при співвідношенні 1:2 та органо-мінерального в'язучого при співвідношенні 1:1 знижує теплоту згоряння матеріалу та відповідно тепловиділення більш ніж в 2 рази, що підтверджується результатами досліджень рис. 5.

7. Обговорення результатів з визначення ефективності вогнестійкості тепло- та звукоізоляційних деревинних матеріалів

Для облаштування приміщень, де до зовнішнього вигляду звукопоглиначів пред'являються підвищені вимоги, застосовують оброблені волокнисті матеріали. Сировиною для їхнього виробництва є деревні волокна, які виготовляють у вигляді плоских плит (стельові або настінні панелі) або криволінійних і об'ємних елементів. У волокнистих поглиначах розсіювання енергії коливання повітря і перетворення її в тепло відбувається на декількох фізичних рівнях за рахунок тертя, яке виникає внаслідок коливання частинок повітря міжволоконного простору; тертя повітря об волокна, тертя волокон одне об одне, а також коливання самих волокон. Цим пояснюється і те, що найвищі значення коефіцієнта звукопоглинання волокнистих матеріалів характерні для середніх і високих частот (таблиця 1, 3, рис.2).

Що стосується теплопровідності, то це процес передачі енергії тепла від нагрітих частин приміщення до менш теплих, і обмін енергією буде відбуватися поки температура не урівноважиться. Коефіцієнти теплопровідності деяких будівельних матеріалів залежать від багатьох факторів: природи матеріалу, його

структури, ступеня пористості, характеру пор, вологості і середньої температури, при якій відбувається передача тепла. Матеріали з закритими порами менш теплопровідні, ніж матеріали з сполученими порами. Дрібнопористі матеріали мають меншу теплопровідність, ніж великопористі. Це пояснюється тим, що в великих і сполучених порах виникає рух повітря, що супроводжується перенесенням тепла. Теплопровідність однорідного матеріалу залежить від об'ємної маси (табл. 4). Так, зі зменшенням об'ємної маси матеріалу теплопровідність зменшується, і навпаки. Крім того, тепло- та звукоізоляційні будівельні матеріали і вироби з деревини повинні задовольняти наступним вимогам: мати стабільні теплоізоляційні і акустичні показники протягом усього періоду експлуатації та бути вогнестійкими і не виділяти в навколишнє середовище шкідливих речовин. Це погоджується з даними, наведеними у роботах [6, 7], автори яких теж пов'язують ефективність створення тепло-звукоізоляційних матеріалів з органічної сировини та їх термічний захист.

На відміну від результатів досліджень авторів робіт [9, 11], отримані дані щодо впливу структури на процес передавання тепла та звуку і зміни ізолювальних властивостей дозволяють стверджувати наступне:

- основним регулятором процесу є щільність і пористість матеріалу, оскільки висока щільність і низька пористість призводить до швидкого урівноваження температур і шуму, а при підвищеній вологості і промоканні стін будівлі показник проходження їх буде вище;

- суттєвий вплив на процес захисту горючого матеріалу при застосуванні деревинного матеріалу здійснюється у напрямку негорючих в'язучих речовин на поверхні природного горючого матеріалу.

Результати виявлення процесу займання та поширення полум'я матеріалом на основі деревної шерсті і неорганічного та органічного в'язучого та пов'язані з утворенням теплоізоляційного шару (рис. 4, 5) вказують на неоднозначний вплив вогнезахисту на зміну ефективності в'язучого. Така невизначеність не може бути вирішена в рамках приведеного дослідження, бо для цього потрібно було б провести додаткові експерименти з метою отримання більш достовірних даних. Зокрема, це передбачає наявність даних, достатніх для якісного проведення процесу пригнічення горіння та виявлення моменту часу, з якого починається падіння теплостійкості. Таке виявлення дозволить дослідити перетворення поверхні матеріалу на основі деревної шерсті і органічного в'язучого, що переміщується у сторону підвищеної температури з утворенням коксу, та визначити ті змінні, що суттєво впливають на початок перетворення цього процесу.

Дана робота є продовженням досліджень, наведених у [1–4], де в повній мірі приведено механізм вогнезахисту органічних природних матеріалів, переміщення та здійснення ізолювання високої температури.

8. Висновки

1. Встановлено механізми процесу тепло- та звукоізоляції при передаванні енергії через матеріал, що дає можливість впливати на цей процес. Доведено, що вони полягають у зниженні пористості матеріалу. Так, зі зменшенням об'ємної маси матеріалу, передача звуку зменшується, зокрема, величина нормаль-

ного коефіцієнта звукопоглинання для деревинної плит на основі деревної шерсті і неорганічного в'язучого щільністю 274 кг/м³ знаходиться у межах 0,32÷0,44, натомість для плит на основі деревної шерсті і органо-мінерального в'язучого щільністю 143 кг/м³ – на 1,25 разів вище. Теплопровідність, у свою чергу, при зниженні щільності знижується і для плит отриманих на основі неорганічного в'язучого становить 0,0943 Вт/(м·°C), а для плит на органічній основі – 0,0648 Вт/(м·°C) відповідно.

2. Випробування на модельних зразках деревинної плити показали, що матеріал на основі деревинної шерсті і неорганічного в'язучого характеризується поглинанням тепла та гальмуванням окислення в газовій і конденсованій фазі та утворенням на поверхні деревини теплозахисного керамічного шару. Натомість покриття при дії високої температури утворює значний коефіцієнт спучення, сприяє утворенню теплоізолювального шару коксу, що запобігає вигоранню деревини і проходженню високої температури до матеріалу. При дії радіаційної панелі на зразки матеріалу на основі деревної шерсті і неорганічного в'язучого при співвідношенні 1:1, температура газоподібних продуктів горіння підвищилась до 150 °C, зразок зайнявся на 90 с, полум'я поширилося по першим трьом зонам і перейшло у фазу тління. Натомість, підвищення кількості в'язучого на неорганічній основі та застосування органо-мінерального в'язучого, не призвело до загорання матеріалу, максимальна температура димових газів становила близько 120 °C, а індекс горючості склав 0.

Література

1. Tsapko Y., Tsapko A. Establishment of the mechanism and fireproof efficiency of wood treated with an impregnating solution and coatings // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 3, Issue 10 (87). P. 50–55. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.102393>
2. Tsapko Y., Tsapko A. Modeling a thermal conductivity process under the action of flame on the wall of fireretardant reed // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 2, Issue 10 (92). P. 50–56. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.128316>
3. Evaluation of effectiveness of wood fire protection upon exposure to flame of magnesium / Tsapko Y., Guzii S., Remenets M., Kravchenko A., Tsapko O. // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Vol. 4, Issue 10 (82). P. 31–36. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.73543>
4. Increase of fire resistance of coating wood with adding mineral fillers / Tsapko Y., Kyrycyok V., Tsapko A., Bondarenko O., Guzii S. // *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 230. P. 02034. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823002034>
5. Heat and Sound Insulation Material Prepared Using Plant Raw Material / Babashov V. G., Beshpalov A. S., Istomin A. V., Varrik N. M. // *Refractories and Industrial Ceramics*. 2017. Vol. 58, Issue 2. P. 208–213. doi: <https://doi.org/10.1007/s11148-017-0082-3>
6. Danilov V., Ayzenshtadt A., Makhova T. Obtaining and characterization of wood-mineral Composites // *18th International Multidisciplinary Scientific Geo-*

Conference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM. 2018. Vol. 18. P. 347–354. doi: <https://doi.org/10.5593/sgem2018/6.1/s24.047>

7. Lightweight composite building materials with hemp (*Cannabis sativa* L.) additives / Brencis R., Pleiksnis S., Skujans J., Adamovics A., Gross U. // *Chemical Engineering Transactions*. 2017. Vol. 57. P. 1375–1380. doi: <http://doi.org/10.3303/CET1757230>

8. Properties and Applications of Basalt Fiber and Its Composites / Li Z., Ma J., Ma H., Xu X. // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2018. Vol. 186. P. 012052. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/186/2/012052>

9. Zaryoun M., Hosseini M. Lightweight fiber-reinforced clay as a sustainable material for disaster resilient architecture of future buildings // *Architectural Engineering and Design Management*. 2018. P. 1–15. doi: <https://doi.org/10.1080/17452007.2018.1540968>

10. Thermal analysis, microstructure and acoustic characteristics of some hybrid natural insulating materials / Alabdulkarem A., Ali M., Iannace G., Sadek S., Almuzaier R. // *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 187. P. 185–196. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.213>

11. Grickus A., Guseynov S. E. On one Mathematical Model for Dynamics of Propagation and Retention of Heat over New Fibre Insulation Coating // *Environment. Technology. Resources. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. 2015. Vol. 3, Issue 82. doi: <https://doi.org/10.17770/etr2015vol3.504>

12. Optimization for heat and sound insulation of honeycomb sandwich panel in thermal environments / Chen H., Yuan J., Zhong Q., Li K. // *Vibroengineering PROCEDIA*. 2017. Vol. 11. P. 161–166. doi: <https://doi.org/10.21595/vp.2017.18481>

13. Erdoğan Y. Production of an insulation material from carpet and boron wastes // *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*. 2016. Issue 152. P. 197–202. doi: <https://doi.org/10.19111/bmre.74700>

14. Промислова екологія: навч. пос. / Апостолюк С. О., Джигирей В. С., Соколовський І. А. та ін. 2-ге вид., виправл. і доповн. К.: Знання, 2012. 430 с.

15. Теплоизоляционные материалы и конструкции: учеб. / Бобров Ю. Л., Овчаренко Е. Г., Шойхет Б. М., Петухова Е. Ю. М.: ИНФРА-М, 2003. 268 с.

16. Конструкції будинків та споруд. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2006. зі Зміною № 1 від 1 липня 2013 року. К.: Мінбуд України, 2006. 70 с.

17. ДСТУ Б EN ISO 1716:2011. Випробування виробів щодо реакції на вогонь. Визначення вищої (нижчої) теплоти згоряння (EN ISO 1716:2010, IDT). К.: Мінрегіонбуд України, 2012. 37 с.

18. Цапко Ю. В. Влияние поверхностной обработки древесины на огнестойкость деревянных конструкций // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2013. Т. 5, № 5 (65). С. 11–14. URL: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/18104/15850>