

**СУЧАСНИЙ ПІДХІД ЩОДО ПРОФІЛАКТИКИ ГОРІННЯ ДЕРЕВИНИ ТА ВИРОБІВ З НЕЇ**

**MODERN APPROACH TO THE PREVENTION OF COMBUSTION OF WOOD AND IT PRODUCTS**

<sup>1</sup>Цапко Ю.В., д.т.н., проф., ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0625-0783>,  
<sup>1</sup>Бондаренко О.П., к.т.н., доцент, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8164-6473>,  
<sup>1,2</sup>Цапко О.Ю., к.т.н., доцент ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2298-068x>,  
<sup>2</sup>Протасов О.С., начальник відділу науково-технічних розробок та інновацій, ORCID: <http://orcid.org/0000-0006-6944-7582>,  
<sup>1</sup>Анопко Д.В., к.т.н., доцент ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2585-2512>,  
<sup>1</sup>Апанасенко В.Ю., старш. викладач, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7615-2711>,  
<sup>1</sup>Жеребчук Д.С., студент, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7174-132X> (<sup>1</sup>Київський національний університет будівництва і архітектури, <sup>2</sup>Український державний науково-дослідний інститут "Ресурс")

<sup>1</sup>Tsapko Yu.V., Doctor of Technical Sciences, professor, <sup>1</sup>Bondarenko O.P., Ph.D., associate professor, <sup>1,2</sup>Tsapko O.Yu., PhD, <sup>2</sup>Protasov O.S., head of the department of scientific and technical developments and innovations, <sup>1</sup>Anopko D.V., Ph.D., <sup>1</sup>Apanasenko V.Yu., senior teacher, <sup>1</sup>Zherebchuk D.S., student, (<sup>1</sup>Kyiv National University of Construction and Architecture, <sup>2</sup>Ukrainian State Research Institute "Resurs")

В роботі досліджено вогнезахист целюлозовмісних матеріалів (деревини, фанери, деревоволокнистих плит), які використовуються на різних об'єктах. Рішення ґрунтуються на розробленні наукових основ вогнебіозахисту цих матеріалів з використанням сольових антипіренів, катіоноактивного полімерного антисептика та поліамфолітних кремнійорганічних речовин, а саме використання вогнебіозахисної суміші "ДСА-1" при поверхневому просоченні деревини робить її вогнебіо захищеною. Застосування вогнебіо захисної суміші "ДСА-2" для оброблення деревини з використанням способу просочення гаряча-холодна ванна та фанери автоклавним способом дозволяє отримати вогнебіо захищені матеріали з показниками Г2, В1, РП-1, Д2, Т2, а також отримані зразки вогне захищених тепло- і звукоізоляційних деревоволокнистих плит, які відносяться до важкогорючих матеріалів. З точки зору пожежної безпеки це дозволяє використовувати їх у будівництві, на об'єктах з масовим перебуванням людей, на шляхах евакуації, для оздоблення стін, стель і заповнення в підвісних стелях коридорів, холів та фойє, на залізничному транспорті тощо. Додаткове

оброблення вогнебіо захищеної деревини та фанери сумішшю для гідрофобізації “Сілол” дозволяє збільшити термін експлуатації її більш ніж на 5 років та використовувати назвні об’єктів. Результати теплотехнічних випробувань вогнезахисних тепло- та звукоізоляційних деревоволокнистих плит показали, що вони за показником теплопровідності відповідають вимогам.

The paper investigates the fire protection of cellulose-containing materials (wood, plywood, fiberboard) used at various facilities. The solutions are based on the development of the scientific basis for the fire and biological protection of these materials using salt flame retardants, a cationic polymer antiseptic, and polyampholytic silicone substances, namely the use of the fire and biological protection compound "DSA-1" in the surface impregnation of wood makes it fire and biological resistant. The use of the fire retardant mixture "DSA-2" for wood processing using the hot-cold bath impregnation method and plywood by autoclave method allows to obtain fire retardant materials with G2, B1, RP-1, D2, T2 indicators, as well as samples of fire retardant heat and sound insulation wood fiber boards, which are classified as refractory materials. From the fire safety point of view, this allows them to be used in construction, at facilities with a large number of people, on evacuation routes, for wall and ceiling decoration and for filling in suspended ceilings in corridors, halls and foyers, on railways, etc. Additional treatment of fire-retardant wood and plywood with Silol hydrophobization compound can extend its service life by more than 5 years and allow it to be used outside facilities. The results of thermal engineering tests of fireproof heat and sound insulation wood fiber boards showed that they meet the requirements in terms of thermal conductivity.

**Ключові слова:** вогнезахисна деревини, ефективність вогнебіо захисту деревини, вогнезахисна суміш, горючі, важкогорючі матеріали  
fire retardant wood, effectiveness of fire bioprotection of wood, fire retardant mixture, combustible, non-flammable materials.

**Вступ.** Деревина та вироби з неї (фанера, деревостружкові та деревоволокнисті плити) знаходять широке застосування у будівництві та побуті і складають високий відсоток пожежного навантаження об’єктів. Оскільки кожен з них є горючим матеріалом, то вони представляють значну пожежну небезпеку об’єктів. За пожежними і будівельними нормами і правилами [1, 2] ці матеріали класифікуються як матеріали підвищеної горючості (Г4), легкозаймисті (В3), значно поширюють полум’я (РП4), з високою димоутворювальною здатністю (Д3), за токсичністю відноситься до високонебезпечних (Т3).

Статистика пожеж, коли пожежним навантаженням об’єкту є деревина та вироби з неї, засвідчує їх щорічне зростання, що вказує на наявність проблеми

з пожежної безпеки використання таких матеріалів. За будівельними нормами і правилами в залежності від функціонального призначення приміщень допускається застосування матеріалів з такими показниками, як Г1 або Г2, В1 або В2, РП1 або РП2, Д2 та Т2. А це вказує на те, що вироби з деревини необхідно довести до необхідного стану пожежної небезпеки. Цю проблему можна вирішити через розв'язання ряду наукових та практичних задач, що пов'язані з вогнезахистом деревини та виробів з неї. Ці матеріали об'єднує те, що вони в більшій своїй масі складаються з целюлози, мають схожу пористу структуру, та й певні відмінності [3-6].

Щодо вогнезахисту деревини, то до недавнього часу було відомо два шляхи. Перший з них – це просочення виробів з деревини водними та неводними розчинами антипіренів. Після видалення розчинників з поверхні, на глибині 2...5 мм в структурі деревини залишались антипірени. Антипіренами, в основному, служили амонійні солі фосфорної, сірчаної кислот, бура, борна кислота тощо.

Другий шлях вогнезахисту деревини полягає в тому, що на поверхню деревини наносять вогнезахисне покриття, яке на певний час перешкоджає доступу теплоти до деревини. В залежності від ефективності покриття та його товщини, вогнезахиснена деревина може класифікуватись як важкозаймиста (Г3) або важкогорюча (Г2). Більш ефективними вогнезахисними покриттями є такі, що спучуються, утворюючи бар'єр для теплопровідності. Знайшли застосування такі марки покриттів: “ВПМ-2”, “ВПМ-3”, “ВПД”, “Сіофарб”, “Ендотерм-ЖК” та ін.

Обидва шляхи мають як переваги, так і певні недоліки. Недоліком першого шляху є те, що сольові антипірени під дією атмосферної вологи та температури через визначений час висолюються, на поверхні деревини утворюється шар кристалічних солей, який під дією гравітаційних сил обсипається. Деревина втрачає вогнезахисні властивості, а тому потребує додаткову обробку. Окрім цього просочувальні засоби містили антисептичні речовини для біозахисту деревини. Частіше всього в якості антисептиків використовували високотоксичні речовини I та II класів небезпеки за [7], зокрема фторид та біфторид натрію, солі важких металів (міді, кобальту, хрому та інші). Вогнебіозахисне оброблення деревини проводилась на таких об'єктах, як житлові будинки, школи, дитячі садочки тощо. Шкідливі речовини висолувались разом з антипіренами і таким чином із року в рік забруднювали оточуюче середовище [8-10].

Термін експлуатації вогнезахисених виробів з деревини, що виготовлені за другим шляхом (за допомогою покриттів) є більшим за часом. Однак через певний термін часу покриття втрачає адгезійну здатність до деревини і починає обсипатися [11-13]. Ремонтна здатність покриттів дуже складна. Такі недоліки найбільш притаманні вогнезахисному покриттю “Сіофарб”, основним компонентом якого є силікат натрію (рідке скло). Помилка розробників цього покриття була в тому, що не були враховані фізико-хімічні

властивості силікату натрію, який під дією оксиду вуглецю, як ангідриду більш сильної вугільної кислоти, переходить в карбонат натрію з утворенням оксиду кремнію. Ось чому покриття “Сіюфарб” мав дуже обмежений термін експлуатації. Це покриття втратило своє значення, воно зараз не використовується.

**Огляд останніх досліджень та публікацій.** Існує проблема з пожежною безпекою щодо вогнезахисту виробів з деревини, вирішення якої дозволило б забезпечити протипожежний захист об’єктів і не стримувати використання екологічно чистих матеріалів у будівництві і побуті. Враховуючи недоліки попередників та виходячи з фізико-хімічних особливостей структурної побудови деревини та виробів з неї, необхідно було знайти нові наукові підходи до вирішення задач з вогнезахисту цих матеріалів, а саме було запропоновано новий науковий шлях до вирішення задачі, який дозволив об’єднати позитивні рішення вищерозглянутих шляхів та подолати їх негативні сторони. Найбільш значущою задачею вважали збільшення терміну збереження ефективності вогнезахисту матеріалу. Нами запропоновано третій шлях вирішення вогнезахисту деревини, який є комбінованим, що поєднує використання просочування деревини сольовими антипіренами та нанесення на просочену поверхню деревини полімерної плівки антисептика. Це дозволило кардинально змінити умови експлуатації вогнебіо захищеної деревини і таким чином сприяти підвищенню рівня пожежної профілактики об’єктів, на яких використовується такий матеріал [14-17].

По-перше, полімерна плівка антисептика (полігексаметилен-гуанідинфосфату) під технічною назвою “Гембар” створила бар’єр, який не дозволяє висолюватися антипірену, і таким чином збільшує термін експлуатації вогне захищеної деревини. Вогнезахисту ефективність просочувальних засобів “ДСА-1” та “ДСА-2” встановлено і вона відповідає І групі ефективності. Термічні випробування зразків такої вогне захищеної деревини після зберігання протягом 3 і більше років в природних умовах об’єктів засвідчили, що ефективність вогнезахисту деревини практично не змінилась. Експрес-лабораторні випробування довговічності вогнезахисту такої деревини дозволяють прогнозувати термін експлуатації більше п’яти років.

По-друге, полімерний антисептик “Гембар”, який відноситься до четвертого класу безпеки [7] дозволяє вирішити екологічну задачу вогнебіо захисту деревини, відмовитися від шкідливих речовин, які раніше застосовувались.

Наявність такої полімерної плівки на поверхні деревини, навіть декількох молекулярних шарів, змінює процес піролізу вогнебіо захищеної деревини [18]. Як засвідчують результати газової хроматографії продуктів піролізу вогнебіо захищеної деревини [19], вміст горючих газів значно зменшується, особливо вміст водню. Значно зменшується вміст горючої і токсичної речовини, а саме оксиду вуглецю. Це має відношення до такого важливого

експлуатаційного показника, як токсичність продуктів горіння. За цим показником, який визначено в Інституті медицини транспорту (м. Одеса), вогнебіозахищена деревина класифікується як матеріал з помірним значенням токсичності продуктів згорання (Т2).

Чим більше антипірену введено в деревину і чим товстіше полімерна плівка антисептика, тим буде більша ефективність вогнезахисту. Для задоволення різних вимог за нормами пожежної безпеки і будівельними нормами [1, 2] можуть використовуватись різні способи оброблення, як поверхневе просочення антипіреном, так і спосіб з використанням гарячої і холодної ванн антипірену з наступним обробленням просушеної деревини полімерним антисептиком “Гембар”.

**Мета і задачі досліджень.** Метою роботи є встановлення сучасного підходу щодо профілактики горіння деревини та виробів з неї.

Для досягнення мети були поставлено таке завдання:

– вирішити наукову задачу пожежної безпеки вогнезахисту целюлозовмісних матеріалів (деревина, фанера, деревоволокнисті плити), які використовуються на різних об'єктах. Рішення ґрунтуються на розробленні наукових основ вогнебіозахисту цих матеріалів з використанням сольових антипіренів, катіоноактивного полімерного антисептика та поліамфолітних кремнійорганічних речовин.

**Матеріали і методи досліджень.** При проведенні досліджень були використані зразки деревини, на які було нанесено вогнебіозахисну суміш “ДСА-1” з використанням поверхневого просочення. Також було застосовано вогнебіозахисну суміш “ДСА-2” для оброблення деревини з використанням способу просочення гаряча-холодна ванна та фанери автоклавним способом.

Для гідрофобізації деревини було застосовано суміші “Сілол”, “Сілол-АР”, “Сілол-ЕКО” та ін. за ТУ У В.2.7-24.1-31911658.001. Характерною особливістю цих гідрофобізаторів є поліамфолітність макромолекул, що визначає міцну адгезію як до аніоноактивних, так і катіоноактивних поверхонь матеріалів.

**Результати досліджень.** Сертифікаційні випробування вогнебіозахисних сумішей для деревини “ДСА-2” засвідчили, що вогнебіозахищена деревина з вмістом антипірену 60 кг/м<sup>3</sup> та 400 г/м<sup>2</sup> антисептика класифікується як матеріал помірної горючості (Г2), важкозаймистий (В1), з помірно димоутворювальною здатністю (Д2), за токсичністю продуктів горіння – помірнонебезпечний (Т2) та матеріал, що не поширює полум'я по поверхні (РП1).

Одним з важливих питань профілактики горіння целюлозовмісних матеріалів є забезпечення відповідного терміну зберігання вогнезахисних властивостей оброблених матеріалів. Особливо воно є актуальним для використання вогнезахисних матеріалів зовні об'єктів, насамперед, зовнішніх елементів з деревини. Під дією атмосферних опадів вогнезахисні

речовини можуть поступово вимиватись з матеріалів і таким чином зменшувати термін використання цих матеріалів.

Для вирішення цієї задачі були проведені теоретичні та експериментальні дослідження пошуку гідрофобізуючих речовин, які б мали спорідненість до поверхні вогнебіозахищених целюлозовмісних матеріалів. Позитивні результати були досягнуті при застосуванні сумішей для гідрофобізації “Сілол”, “Сілол-АР”, “Сілол-ЕКО” та ін. за ТУ У В.2.7-24.1-31911658.001. Вогнезахищена деревина, яка отримана після оброблення сумішшю “ДСА-2” з витратою 47 кг/м<sup>3</sup> антипірену, 400 г/м<sup>2</sup> антисептика та сумішшю для гідрофобізації “Сілол-АР” з витратою 55 кг/м<sup>3</sup> за прогнозом результатів, що отримані за експрес-методикою, може зберігати свої вогнезахисні властивості більше п’яти років. Необхідно зазначити, що гідрофобізована деревина має ще кращі показники ефективності вогнезахисту, ніж негідрофобізована.

Спеціальними дослідженнями було встановлено, що способи просочення антипіренами, які використовуються для деревини, не можуть бути застосовані для фанери із-за значної відмінності структурної побудови матеріалів, і в першу чергу, від наявності клеєвих шарів в конструкції фанерних плит. До того ж існують і фанерні плити атмосферостійкі та водостійкі. Тільки поверхневе просочення, незалежно від ефективності вогнезахисного засобу, не дає необхідної якості вогнезахисту фанери. Хоча пористість берези та інших листових порід, з шпону яких виготовляють фанеру, майже в два рази більша від сосни [6] і вони здатні поглинути більше, ніж в два рази антипіренів, але захистити фанерну плиту в декілька шарів шпону не вдається, бо в порах цього ж шпону знаходиться повітря. Тому виникла необхідність залучити прискорюючі дифузійні процеси для заміни повітря на антипірени в порах фанери. Було створено технологічну лінію, на якій відпрацьовано спосіб одержання важкогорючої фанери із використанням вогнебіозахисної суміші “ДСА-2”. Для покращення експлуатаційних характеристик поверхню фанери оброблюють гідрофобізуювальною сумішшю “Сілол”. Встановлено, що фанера, яка оброблена “ДСА-2” з гідрофобізуювальним покриттям “Сілол” відноситься до важкогорючих матеріалів, які повільно поширюють полум’я поверхню, з помірно димоутворювальною здатністю, за токсичністю продуктів горіння - помірнонебезпечний. За цими показниками пожежної небезпеки, фанера, яка оброблена “ДСА-2” з гідрофобізуювальним покриттям “Сілол”, як матеріал, дозволяється до застосування в машинобудуванні, а саме виробництві вагонів залізничного транспорту та пасажирських вагонів міського транспорту.

Дерево-волокниста плита (ДВП) теж є матеріалом із целюлози, але її структура і фізико-хімічні властивості відрізняються від деревини, а тому застосувати вогнезахисні суміші, наприклад “ДСА-2”, для поверхневого просочення таких матеріалів не вдалось, так як поверхневе оброблення виробу антипіренами не просочує весь об’єм матеріалу, що в свою чергу призводить до зниження вогнезахисної ефективності деревоволокнистої плити.

Експериментальними дослідженнями встановлено, що просочування стандартної деревоволокнистої плити доцільно проводити комплексною сполукою полігексаметиленгуанідинфосфат карбаміду під вакуумом. При цьому вогнебіозахисне оброблення призводило до розбухання целюлозних волокон та утворення нових вогнезахищених целюлозовмісних матеріалів.

Для визначення вогнезахисних властивостей отриманих тепло- і звукоізоляційних плит проведено дослідження з визначення групи горючості зразків товщиною 10 та 20 мм згідно з [1], а також зразків стандартної деревоволокнистої плити товщиною 5 мм. Результати досліджень із визначення приросту максимальної температури газоподібних продуктів горіння стандартної деревоволокнистої плити та вогнезахищеної тепло- і звукоізоляційної деревоволокнистої плити наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Результати визначення приросту максимальної температури газоподібних продуктів горіння стандартної та вогнезахищеної тепло- і звукоізоляційної деревоволокнистої плити

№ зразка	Характеристика вогнезахищеного зразка фанери	Максимальна температура газоподібних продуктів горіння (t, °C)
1	Деревоволокниста плита, товщиною 5 мм	380,1
2	Вогнезахищена тепло- і звукоізоляційна деревоволокниста плита товщиною 10 мм	238,0
3	Вогнезахищена тепло- і звукоізоляційна деревоволокниста плита товщиною 20 мм	222,0

Відповідно, за приростом максимальної температури газоподібних продуктів горіння, зразки отриманої вогнезахищеної тепло- і звукоізоляційної деревоволокнистої плити згідно з [1] характеризують як важкогорючі матеріали, а стандартна деревоволокниста плита – горюча, середньої займистості.

Найвагомішими для експлуатації вогнезахищених тепло- і звукоізоляційних деревоволокнистих плит є такі фізико-технічні показники, як нормальний коефіцієнт звукопоглинання та теплопровідність, які визначали у відділі будівельної фізики та ресурсозбереження Державного науково-дослідного інституту будівельних конструкцій.

Визначення нормального коефіцієнт звукопоглинання проводили згідно з [19] на зразках стандартної та вогнезахищеної тепло- і звукоізоляційної деревоволокнистої плити. Результати акустичних випробувань показали, що для звичайних деревоволокнистих плит величина нормального коефіцієнта звукопоглинання становить від 0,09 до 0,19, а для вогнезахищених тепло- і

звукоізоляційних деревоволокнистих плит величина нормального коефіцієнта звукопоглинання становить відповідно:

- у низькочастотному діапазоні (100...315 Гц) – 0,19...0,21;
- у середньочастотному діапазоні (400...1250 Гц) – 0,22...0,27;
- у високочастотному діапазоні (1600...8000 Гц) – 0,28...0,57.

Згідно з [8] звукопоглинальні властивості матеріалів характеризуються середньоарифметичним ревербераційним коефіцієнтом звукопоглинання ( $\alpha$ ) в кожному із трьох діапазонів частот.

Так, величина середньоарифметичного нормального коефіцієнта звукопоглинання випробуваних зразків вогнезахисних тепло- і звукоізоляційних деревоволокнистих плит в низькочастотному та середньочастотному діапазоні становить 0,20 та 0,25 і відноситься в даному частотному діапазоні до звукопоглинальних матеріалів класу 3, а високочастотному – становить 0,42 і за відноситься в даному частотному діапазоні до звукопоглинальних матеріалів класу 2 [20]. Зразки стандартних деревоволокнистих плит не відносяться до звукопоглинальних матеріалів за класифікацією [20].

Визначення теплофізичних показників вогнезахисних тепло- і звукоізоляційних деревоволокнистих плит (густина, теплопровідність у сухому стані) проводили з ДСТУ Б В.2.7-105 [21], нормативні значення яких наведено в табл. 2 (додаток Л, ДБН В.2.6-31:2006 [22]).

Результати визначення теплопровідності представлено в табл. 2.

Таблиця 2

Результати випробувань теплотехнічних показників вогнезахисних тепло- і звукоізоляційних деревоволокнистих плит

Показник	Значення показника для	
	стандартної деревоволокнистої плити	вогнезахисної деревоволокнистої плити
Густина, кг/м <sup>3</sup>	824	457
Початкова вологість, %	10,3	11,9
Теплопровідність у вологому стані, Вт/(м·К)	0,184	0,078
Теплопровідність у сухому стані, Вт/(м·К)	0,148	0,062

Результати теплотехнічних випробувань вогнезахисних тепло- та звукоізоляційних деревоволокнистих плит показали, що вони за показником теплопровідності відповідають вимогам [10], а стандартні – не відповідають.

**Висновки.** Таким чином, проведені дослідження засвідчують, що вирішена наукова задача пожежної безпеки, а саме вогнезахист целюлозовмісних матеріалів (деревина, фанера, деревоволокнисті плити), які використовуються



на різних об'єктах. Рішення ґрунтуються на розробленні наукових основ вогнебіозахисту цих матеріалів з використанням сольових антипиренів, катіоноактивного полімерного антисептика та поліамфолітних кремнійорганічних речовин, а саме використання вогнебіозахисної суміші “ДСА-1” при поверхневому просоченні деревини робить її вогнебіозахищеною. Цей засіб віднесено до І групи вогнезахисної ефективності, що дозволяє застосовувати його для обробки дерев'яних елементів дахів. Застосування вогнебіозахисної суміші “ДСА-2” для оброблення деревини з використанням способу просочення гаряча-холодна ванна та фанери автоклавним способом дозволяє отримати вогнебіозахищені матеріали з показниками Г2, В1, РП-1, Д2, Т2 за вимогами [1, 2], а також отримані зразки вогнезахищених тепло- і звукоізоляційних деревоволокнистих плит, які відносяться до важкогорючих матеріалів, дозволяє з точки зору пожежної безпеки використовувати їх у будівництві, на об'єктах з масовим перебуванням людей, на шляхах евакуації, для оздоблення стін, стель і заповнення в підвісних стелях коридорів, холів та фойє, на залізничному транспорті тощо. Додаткове оброблення вогнебіозахищеної деревини та фанери сумішшю для гідрофобізації “Сілол” дозволяє збільшити термін експлуатації її більш ніж на 5 років та використовувати назовні об'єктів.

1. DSTU 8829:2019 Pozhezhovybukhonebezpechnist rechovyn i materialiv. Nomenklatura pokaznykiv i metody ikhnogo vyznachenya. Klasyfikatsiya. – Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 2020.

2. DBN V.1.1-7-2002 Pozhezhna bezpeka ob'ektiv budivnytstva. – Kyiv: Derzhbud Ukrainy, 2003.

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. 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.

5. 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.

6. Mengeloglu 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.

7. DSTU-N B A.3.2-1:2007 Systema standartiv bezpeky pratsi. Nastanova shchodo vyznachennya nebezpechnykh i shkidlyvykh faktoriv ta zakhystu vid yikh plyvyu pry vyrobnytstvi budivel'nykh materialiv i vyrobiv ta yikh vykorystanni v protsesi zvedennya ta ekspluatatsiyi ob'ektiv budivnytstva. – Kyiv: Derzhbud Ukrainy, 2007.

8. 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.

9. 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.
10. 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.
11. Blomqvist P., Bergstrand A., Neumann N., Thureson P., Bengtsson S. Fire safety of textile membranes in temporary structures. *Fire and Materials / 14<sup>th</sup> International Conference and Exhibition, Proceedings*. – 2015. – pp. 554-567.
12. Zhou Q., Shao J., Zhou Q., Chen J., Zhou T. In situ polymerization of polyaniline on cotton fabrics with phytic acid as a novel efficient dopant for flame retardancy and conductivity switching / *New Journal of Chemistry*. – 2020. – Vol. 44(8). – pp. 3504-3513.
13. Tsapko Yu., Zavialov D., Bondarenko O., Marchenco N. Determination of thermal and physical characteristics of dead pine wood thermal insulation products / *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – Vol. 4. – 4/10 (100). – 2019. – pp. 37-43. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.175346>.
14. Hörold A., Schartel B., Trappe V., Korzen M., Bünker J. Fire stability of glass-fibre sandwich panels: The influence of core materials and flame retardant / *Composite Structures*. – 2017. – Vol. 160. – pp. 1310-1318.
15. Kozłowski R.M., Muzyczek M., Walentowska J. Flame Retardancy and Protection against Biodeterioration of Natural Fibers: State-of-Art and Future Prospects (Book Chapter). *Polymer Green Flame Retardants*. – 2014. – pp. 801-836.
16. Tian Zhou, Xu Liu, Yuan Li, Zhiqiang Sun. Dynamic measurement of the thermal conductivity of phase change materials in the liquid phase near the melting point / *International Journal of Heat and Mass Transfer*. – 2017. – Vol. 111. – pp. 631-641.
17. 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. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.237884.
18. DSTU 4155-2003 Textile materials. Method of flammability test. – Kyiv: Derzhbud Ukrainy, 2003.
19. DSTU B V.2.7-183:2009 Budivel'ni materialy. Materialy ta vyroby budivel'ni zvukopohlynal'ni i zvukoizolyatsiyi. Klasyfikatsiya y zahal'ni tekhnichni vymohy. Kyiv: Derzhbud Ukrainy, 2010.
20. DSTU B V.2.7-184:2009 Budivel'ni materialy. Materialy zvukopohlynal'ni i zvukoizolyatsiyi. Metody vyprobuvan'. – Kyiv: Derzhbud Ukrainy, 2010.
21. DSTU B V.2.7-105-2000 Materialy i vyroby budivel'ni. Metod vyznachennya teploprovodnosti i termichnogo oporu pry statsionarnomu teplovomu rezhymi. – Kyiv: Derzhbud Ukrainy, 2000.
22. DBN V.2.6-31:2006 Konstruktsiyi budynkiv i sporud. Teplova izolyatsiya budivel'. – Kyiv: Derzhbud Ukrainy, 2006.