

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

ЛОМАГА ВАСИЛЬ ВАСИЛЬОВИЧ

УДК 674.040.3

ДИСЕРТАЦІЯ

ВОГНЕЗАХИСНЕ ПРОСОЧЕННЯ ДЕРЕВИНИ
ОРГАНО-НЕОРГАНІЧНИМИ КОМПОЗИЦІЯМИ

187 «Деревообробні та меблеві технології»
18 «Виробництво та технології»

Подається на здобуття ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання
на відповідне джерело В. В. Ломага

Науковий керівник
Цапко Юрій Володимирович,
доктор технічних наук, професор

Київ – 2023

АНОТАЦІЯ

Ломага В. В. Вогнезахисне просочення деревини органо-неорганічними композиціями. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 187 «Деревообробні та меблеві технології» (18 «Виробництво та технології»). Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ, 2023.

Дисертацію присвячено вирішенню актуальної науково-технічної задачі, що полягає у запобіганні термодеструкції деревини за рахунок створення на поверхні деревини спученого шару піно коксу, що уповільнює процес горіння, та підвищує експлуатаційні показники за рахунок оброблення деревини органо-неорганічними композиціями.

Наведено аналіз структури та властивостей деревини, що дозволив визначити основні переваги та недоліки виробів з деревини. Визначено, що найбільш небезпечною властивістю деревини є її здатність займатися, у тому числі від малокалорійних джерел займання, а саме здатність утворювати пожежне навантаження у будівлях і спорудах та вимагає проведення заходів щодо вогнезахисного оброблення.

Оглянуто основні способи і засоби для вогнезахисту деревини та встановлено їх основні недоліки та переваги. Встановлено, що найбільш ефективними засобами вогнезахисту деревини є органо-неорганічні антипірени на фосфорно-амонійній основі, визначені їх переваги, а саме: низька димоутворювальна здатність та токсичність продуктів горіння а також супротив розповсюдженню полум'я поверхнею. Але вони мають ряд недоліків, зокрема вірогідність до осипання та втрати адгезійних властивостей до деревини і потребують їх вдосконалення.

Виявлено механізм роботи покриттів, здатних утворювати теплоізолюючий шар на поверхні дерев'яних виробів, і встановлено роль речовин, що входять до складу покриттів на процес спучення. Визначено доцільність застосування в спучуючих покриттях каталізаторів на основі кислот,

в якості газотворювачів – карбамід та в'язучих компонентів на основі природних органічних речовин, які здатні при високотемпературній дії утворювати теплоізолюючий шар з піно коксу.

Встановлено вплив природних в'язучих вуглеводнів в складі вогнезахисного покриття, які здатні до утворення на поверхні деревини захисної плівки, яка при високотемпературній дії утворює на поверхні захисний піно коксовий шар.

Проведено моделювання процесу займання зразка деревини та встановлено параметри часу запалювання, що дає можливість впливати на цей процес. Доведено, що займання деревини полягає у створенні на поверхні деревини шару, який нагрівається до критичної температури, коли починається інтенсивний розклад матеріалу з виділенням необхідної кількості горючих газів та їх займання. Визначено характеристики параметрів займання та пригнічення горіння, що дозволяють одержувати зміну динаміки горіння при розкладі вогнезахисного покриття. Розраховано час займання деревини при дії теплового потоку в 20 кВт/м^2 , що становить близько 233 с, натомість, для деревини захищеної від вогню за рахунок утворення теплоізолюючого шару піно коксу час займання зміщується у великі часові терміни. Завдяки цьому стає можливим визначення впливу вогнезахисту та властивостей захисних композицій на процес гальмування швидкості термічного розкладу деревини.

Проведено моделювання процесу передавання тепла деревиною при її захисті покриттям, визначено коефіцієнт теплопровідності та отримано залежності, що дозволяють одержувати зміну динаміки теплопередачі при спучуванні покриття. За отриманими залежностями розраховано коефіцієнт теплопровідності деревини, за рахунок утворення теплоізолювального шару піно коксу, який становить $0,36 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. Встановлено особливості гальмування процесу передавання тепла до матеріалу, що оброблений органо-неорганічним покриттям, який полягає в утворенні на поверхні деревини теплозахисного шару коксу. Так, на поверхні зразка була створена температура, що значно перевищила температуру займання деревини, а на не обігрівній поверхні не перевищила температуру займання ($180 \text{ }^\circ\text{C}$).

Розроблено математичну модель вимивання антипіренів з застосуванням полімерної оболонки з органічного матеріалу в якості покриття, що дозволяє оцінити ефективність полімерної оболонки за кількістю вимитого антипірену. За теоретичними залежностями розраховано динаміку виходу антипіренів з шару покриття, що не перевищує 1,0 %, та, відповідно, забезпечує вогнезахист деревини. Таким чином, є підстави стверджувати про можливість спрямованого регулювання процесів вогнезахисту деревини шляхом застосування полімерних покриттів, здатних утворювати на поверхні вогнезахищеного матеріалу захисний шар, який гальмує швидкість вимивання антипіренів.

За розрахунковою схемою досліджено динаміку виходу водорозчинних антипіренів з шару антипірену при застосуванні поліуретанової оболонки. Визначено вплив оболонки на стійкість до дії води та отримано критеріальні співвідношення, що дозволяють розраховувати зміну антипіренів на поверхні деревини, тобто значення концентрації вимитих антипіренів при впливі води в часі, що характеризується критерієм F_0 . При цьому, обґрунтовано критерій Nu , який характеризує масоперенос за рахунок віддачі концентрації до міжфазної поверхні, тобто оболонки, що утримує антипірен. Розраховано динаміку виходу антипіренів з вогнезахищеного шару покриття, що не перевищує 3,0 % та підтверджується експериментально і, відповідно, забезпечує вогнезахист деревини.

Виявлено механізм вогнезахисту деревини при застосуванні органо-неорганічної композиції, який полягає в утворенні на поверхні деревини спученого шару піно коксу. При цьому, збільшується залишок деревини при термогравітичному аналізі майже в 3 рази, знижується кількість горючих газів в летких залишках термодеструкції, а енергія активації розкладу деревини збільшується в понад 2 рази. Наявність вогнезахисного органо-неорганічного покриття на деревині змінює процес термодеструкції, зменшує кількість горючих газів, які флегматизуються великою кількістю азоту та діоксиду вуглецю, що відповідно підтверджується результатами визначення індексу горючості.

Встановлено відповідність вогнезахисних властивостей деревини обробленої органо-неорганічною композицією, проведено експериментальні дослідження, які характеризуються втратою маси до 2,5 %, температурою димових газів менше 180 °С, а також знижує теплоту згорання матеріалу в 1,5 раза та змінює групу горючості деревини (переводить її до групи важкогорючих матеріалів).

Експериментально встановлено, що швидкість вигорання зразків деревини, оброблених просочувальними засобами та покриттями порівняно з необробленими зменшується в 7,1 раза та характеризується розкладом антипіренів під дією температури з поглинанням тепла та виділенням негорючих газів, гальмування окислення в газовій і конденсованій фазі, при цьому композиція спучується, що сприяє утворенню теплоізолювального шару коксу, який і запобігає вигоранню деревини та проходженню високої температури до матеріалу.

В результаті практичних та теоретичних досліджень отримано новий тип покриттів на основі органо-неорганічних речовин, який здатний утворювати на поверхні деревини спучений теплоізолювальний шар піно коксу та запобігати проникненню високої температури.

Розроблено багатофакторний метод оцінювання експлуатаційних показників, зокрема, вимивання, гігроскопічність, корозійна дія на метали, та вогнестійких властивостей за показниками горючості, поширення полум'я та димоутворювальної здатності. Результати визначення властивостей деревини захищеної від вогню показали, що оброблені матеріали з деревини при застосуванні гідрофобізатора відносяться до атмосферостійких та важко горючих. На основі випробувань на модельних зразках деревини захищеної від вогню показали, що покриття при дії високої температури утворює спучений шар піно коксу, сприяє теплоізолювальній поверхні деревини, та запобігає проходженню високої температури до матеріалу і вигоранню деревини. При цьому знижується димоутворюваність і горіння матеріалу. Загалом ефективність вогнезахисту деревини, отримана при багатофакторному визначенні пожежонебезпечних властивостей, показала, що вироби належать

до важкогорючих матеріалів, які повільно поширюють полум'я та з низькою димоутворювальною здатністю.

Підтверджено правомірність спільного застосування гідрофобізаторів з вогнезахисним покриттям деревини на конкретних моделях впливу зміни вологості і температури. Проведені дослідження з визначення ступеня гідрофобізації деревини, корозійної дії захисних засобів на метали та тривалості вогнезахисту деревини шляхом їх витримування при перемінних значеннях температури та вологості показали, що застосування гідрофобізатора суттєво захищає деревину від дії вологи та масопереносу антипіренів, а саме, проникаючи в пори деревини, гідрофобізують капіляри та мікротріщини поверхні, утворюючи захисну полімерну плівку, що підвищує експлуатаційні показники.

Досліджена ефективність вогнезахисту дерев'яної тари для зберігання вибухонебезпечних виробів та встановлено, що необроблений зразок здатний до займання та поширення полум'я поверхнею, що призводить до спрацювання піропатронів та руйнування конструкції, натомість, модельний зразок дерев'яної конструкції оброблений вогнезахисним покриттям після вигорання пального не горів, при цьому зафіксовано спучення захисного покриття на окремих ділянках під час дії полум'я, зокрема у нижній частині.

Ключові слова: органо-неорганічні суміші, термодеструкція, деревина, швидкість вигорання, горючі речовини, вогнестійкість, захист від вогню.

ANNOTATION

Lomaha V. V. Fire-resistant impregnation of wood with organic-inorganic compositions. Qualification scientific paper as a typescript.

Dissertation for obtaining the scientific degree of Doctor of Philosophy in specialty 187 "Woodworking and Furniture Technologies" (18 "Manufacturing and Technology"). National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Kyiv, 2023.

The dissertation is devoted to the solution of an actual scientific and technical problem, which consists in preventing the thermal destruction of wood in building

structures based on the creation of a swollen layer of coke foam on the surface of the wood, which slows down the combustion processes and increases the operational capacity when processing wood with organic-inorganic compositions.

An analysis of the structure and properties of wood is given, which made it possible to determine the main advantages and disadvantages of wood products. It was determined that the most dangerous property of wood is its ability to ignite, including from low-calorie sources of ignition, namely, the ability to create a fire load in buildings and structures and requires the implementation of fire-resistant treatment measures.

The main methods and means for fire protection of wood are reviewed and their main disadvantages and advantages are established. It has been established that the most effective means of fire protection for wood are organic-inorganic flame retardants based on phosphorus-ammonium, their advantages are defined, namely: low smoke-generating capacity and toxicity of combustion products, as well as resistance to the spread of flame on the surface. But they have a number of disadvantages, in particular, the likelihood of shedding and loss of adhesive properties to wood, and they need to be improved.

The mechanism of operation of coatings capable of forming a heat-insulating foam coke layer on the surface of a wooden structure was revealed, and the role of the substances contained in the coatings on the swelling process was established. The expediency of using acid-based catalysts in intumescent coatings, urea as gas generators, and binding components based on natural organic substances, which are capable of forming a heat-insulating layer of pinocoke under high-temperature action, has been determined.

The effect of natural binding hydrocarbons in the composition of the fire-resistant coating, which is capable of forming a protective film on the surface of wood, which, under high-temperature action, can form a protective foam coke layer on the surface, has been established.

The ignition process of a wood sample was simulated and the parameters of the ignition time were set, which makes it possible to influence this process. It has been proven that the ignition of wood consists in the creation of a layer on the surface of the

wood, which heats up to a critical temperature, when the intensive decomposition of the material begins with the release of the required amount of combustible gases and their ignition. The characteristics of the ignition parameters and suppression of combustion, which allow obtaining a change in the dynamics of combustion during the breakdown of the fire-resistant coating, have been determined. The ignition time of wood under the action of a heat flow of 20 kW/m^2 was calculated, which is about 233 s, but for fire-resistant wood due to the formation of a heat-insulating layer of foam coke, the ignition time shifts to longer time periods. Thanks to this, it becomes possible to determine the effect of fire protection and the properties of protective compositions on the process of inhibiting the rate of thermal decomposition of wood.

Modeling of the process of heat transfer by wood during its protection by a coating was carried out, the coefficient of thermal conductivity was determined and the obtained dependences were obtained, which allow obtaining a change in the dynamics of heat transfer when the coating swells. According to the obtained dependencies, the coefficient of thermal conductivity of wood was calculated, due to the formation of a heat-insulating layer of pinocoke, and it is $0.36 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, respectively. Features of inhibition of the process of heat transfer to the material treated with an organic-inorganic coating, which consists in the formation of a thermally protective layer of coke on the surface of the wood, have been established. Thus, a temperature was created on the surface of the sample that significantly exceeded the ignition temperature of wood, and on an unheated surface it did not exceed the ignition temperature ($180 \text{ }^\circ\text{C}$).

A mathematical model of the leaching of flame retardants, when using a polymer shell made of organic material as a coating, was developed, which makes it possible to estimate the effectiveness of the polymer shell based on the amount of flame retardant washed out. According to theoretical dependences, the dynamics of release of flame retardants from the fire-resistant layer of the coating, which does not exceed 1.0 %, is calculated, and accordingly provides fire protection for wood. Thus, there are reasons to assert the possibility of targeted regulation of wood fire protection processes through the use of polymer coatings capable of forming a protective layer on the surface of the fire retardant material, which inhibits the rate of flame retardant leaching.

According to the calculation scheme, the dynamics of release of water-soluble flame retardants from the fire-resistant layer of wood when using a polyurethane shell was studied. The effect of the coating on the resistance to water was determined and criterion ratios were obtained that allow obtaining the change of flame retardants on the wood surface, i. e. the value of the concentration of washed flame retardants when exposed to water over time, characterized by the Fo criterion. At the same time, the Nu criterion is substantiated, which characterizes mass transfer due to concentration transfer to the interphase surface, i.e., the shell that holds the flame retardant. The dynamics of the release of flame retardants from the fire-resistant layer of the coating, which does not exceed 3.0 %, was calculated and confirmed experimentally and, accordingly, provides fire protection for wood.

The mechanism of fire protection of wood when using an organic-inorganic composition was revealed, which consists in the formation of a swollen layer of coke foam on the surface of the wood. At the same time, the wood residue during thermogravimetric analysis increases by almost 3 times, the amount of combustible gases in the volatile residues of thermal destruction decreases, and the activation energy of wood decomposition increases by more than 2.3 times. The presence of a fire-resistant organic-inorganic coating on wood changes the process of thermal destruction, reduces the amount of combustible gases that are phlegmatized by a large amount of nitrogen and carbon dioxide, which is accordingly confirmed by the results of determining the flammability index

The compatibility of fire-resistant properties of wood treated with an organic-inorganic composition was established, experimental studies were carried out, which is characterized by a mass loss of up to 2.5 %, the temperature of flue gases is less than 180 °C, and also reduces the heat of combustion of the material by 1.5 times and transfers the wood to the group of non-flammable materials.

It was experimentally established that the rate of burning of wood samples treated with impregnating agents and coatings compared to untreated ones decreases by 7.1 times and is characterized by the decomposition of flame retardants under the influence of temperature with heat absorption and release of non-combustible gases, inhibition of oxidation in the gas and condensed phase, while the composition swells,

which contributes to the formation of a heat-insulating layer of coke, which prevents the burning of wood and the passage of high temperature to the material.

As a result of practical and theoretical research, a new type of coating based on organic-inorganic substances was obtained, which is able to form a swollen heat-insulating layer of pinokok on the surface of wood and prevent the penetration of high temperatures.

A multifactorial method of evaluating operational, in particular, leaching, hygroscopicity, corrosive action on metals, and fire-resistant properties based on indicators of flammability, flame spread, and smoke-generating ability has been developed. The results of determining the properties of fire-resistant wood showed that treated wood materials with the use of hydrophobizer are weather-resistant and fire-resistant. Based on tests on model samples of fire-resistant wood, it was shown that the coating forms a swollen layer of pinocoke under the influence of high temperature, contributes to the heat-insulating surface of the wood, and prevents the passage of high temperature to the material and burning of the wood. At the same time, the smoke generation and burning of the material is reduced. In general, the effectiveness of fire protection of wood, obtained in the multifactorial determination of fire-hazardous properties, showed that the products belong to non-flammable materials that spread flames slowly and have low smoke-generating capacity.

The legality of the joint use of hydrophobizers with a fire-resistant coating of wood on specific models of the effect of changes in humidity and temperature has been confirmed. Conducted research on the determination of the degree of hydrophobization of wood, the corrosion effect of protective agents on metals and the duration of fire protection of wood by keeping them at variable values of temperature and humidity showed that the use of a hydrophobizer significantly protects wood from the action of moisture and mass transfer flame retardants, namely, penetrating into the pores of wood, hydrophobizes capillaries and microcracks of the surface, forming a protective polymer film that increases performance.

The effectiveness of fire protection of a wooden container for storing explosive products was investigated and it was established that the untreated sample is capable of ignition and flame spread through the surface, which leads to the firing of pyro

cartridges and the destruction of the structure. Instead, the model sample of the wooden structure is treated with a fire-resistant coating after burning out the fuel. was burning, while the swelling of the protective coating was recorded in some areas during the action of the flame, in particular in the lower part.

Key words: organic-inorganic, thermal destruction, wood, burning rate, fire resistance, fire protection.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України

1. Цапко Ю. В., **Ломага В. В.**, Бондаренко О. П., Цапко О. Ю. Дослідження окремих аспектів вогнезахисту деревини спучуючим лаком. Науковий вісник будівництва. 2019. Вип. 4. С. 240–245. *(Здобувачем поставлено задачу та проведено дослідження).*

2. **Ломага В. В.**, Цапко О. Ю., Цапко Ю. В., Бондаренко О. П. Визначення часу запалювання рослинної сировини при дії високої температури радіаційної панелі. Ukrainian Journal of Forest and Wood Science. 2020. Т. 11. № 3. С. 77–84. *(Здобувачем опрацьовано аналітичні дані).*

3. Цапко Ю. В., Цапко О. Ю., Бондаренко О. П., **Ломага В. В.** Оптимізація неорганічних складових вогнезахисного лаку для деревини. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. 2021. Вип. 82. С. 123–132. *(Здобувачем виконано експериментальні дослідження).*

4. Цапко Ю. В., **Ломага В. В.**, Цапко О. Ю. Багатофакторний метод оцінювання ефективності вогнезахисту деревини. Ukrainian Journal of Forest and Wood Science. 2022. Т. 13. № 1. С. 72–80. *(Здобувачем проведено теоретичні, експериментальні дослідження та оброблено результати).*

Статті у періодичному науковому виданні,

проіндексованому у базах даних

Web of Science Core Collection та/або Scopus

5. Tsapko Yu., **Lomaha V.**, Tsapko O., Mazurchuk S., Horbachova O., Zavalov D. Determination of regularities of heat resistance under flame action on wood wall with fire-retardant varnish. East European Journal Enterprise Technologies.

2020. Vol. 4. № 10 (106). P. 55–60. *(Здобувачем виконано теоретичні дослідження та опрацьовано отримані дані).*

6. Tsapko Yu., Vasylyshyn R., Melnyk O., **Lomaha V.**, Tsapko A., Bondarenko O. Regularities in the washing out of water-soluble phosphorus-ammonium salts from the fire-protective coatings of timber through a polyurethane shell. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. Vol. 2. № 10 (110). P. 51–58. *(Здобувачем обраховано результати досліджень та виконано їхній аналіз).*

7. Tsapko Yu., **Lomaha V.**, Vasylyshyn R., Melnyk O., Balanyuk V., Tsapko A., Bondarenko O., Karpuk A. Establishing regularities in the reduction of flammable properties of wood protected with two-component intumescent varnish. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2022. Vol. 3. № 10 (117). P. 63–71. *(Здобувачем виконано теоретичні дослідження та опрацьовано отримані дані).*

Статті у наукових виданнях інших держав

8. Tsapko Yu., **Lomaha V.**, Bondarenko O., Sukhanevych M. Research of Mechanism of Fire Protection with Wood Lacquer. Materials Science Forum. 2020. Vol. 1006. P. 32–40. *(Здобувачем проведено експериментальні дослідження).*

9. Tsapko Yu., **Lomaha V.**, Tsapko A., Bondarenko O. Research of mechanism of fire protection with wood lacquer. Materials Science Forum. 2021. Vol. 1038. P. 531–538. *(Здобувачем проведено теоретичні дослідження та опрацьовано отримані результати).*

Патенти України на корисні моделі

10. Цапко Ю. В., Бондаренко О. П., Цапко О. Ю., **Ломага В. В.** Спосіб визначення ефективності гідрофобізації вогнезахищених целюлозовмісних матеріалів: патент на корисну модель № 148756 Україна, МПК G01N 15/02 (2006.01); заявлено 23.03.2021; опубліковано 15.09.2021. Бюл. № 37. 4 с. *(Здобувачем запропоновано ідею та обґрунтовано спосіб).*

11. Цапко Ю. В., Бондаренко О. П., Цапко О. Ю., **Ломага В. В.** Пристрій для визначення гідрофобності вогнезахищених целюлозовмісних матеріалів: патент на корисну модель № 148757 Україна, МПК G01N 15/08 (2006.01);

заявлено 23.03.2021; опубліковано 15.09.2021. Бюл. № 37. 3 с. *(Здобувачем проведено визначення істотних ознак винаходів, обґрунтовано способи).*

Тези наукових доповідей

12. Цапко Ю. В., Зав'ялов Д. Л., Бондаренко О. П., **Ломага В. В.** Дослідження вогнестійких властивостей теплоізоляційних плит з деревної шерсті. Розвиток цивільного захисту в сучасних безпекових умовах: 21 Всеукраїнська науково-практична конференція (за міжнародною участю), м. Київ, 08 жовтня 2019 року: тези доповіді. К., 2019. С. 289–292. *(Здобувачем опрацьовано та проаналізовано методи визначення властивостей деревини обробленої вогнезахисним засобом).*

13. **Ломага В. В.**, Цапко Ю. В. Запалювання рослинної сировини при дії високої температури радіаційної панелі. Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2020): X Міжнародна науково-практична конференція, м. Чернігів, 29–30 квітня 2020 року: тези доповіді. Чернігів, 2020. Т. 1. С. 272. *(Здобувачем досліджено застосування деревинних матеріалів).*

14. Цапко Ю. В., **Ломага В. В.**, Цапко О. Ю., Бондаренко О. П. Деякі аспекти вогнезахисту деревини просочувальними композиціями на основі неорганічних та органічних речовин. Проблеми надзвичайних ситуацій: Міжнародна науково-практична конференція, м. Харків, 20 травня 2020 року: тези доповіді. Харків, 2020. С. 315–317. *(Здобувачем поставлено задачу, проведено дослідження).*

15. Цапко Ю. В., Цапко О. Ю., Бондаренко О. П., **Ломага В. В.** Оптимізація складу вогнезахисного лаку для деревини. Моделювання та оптимізація будівельних композитів: Міжнародний семінар, м. Одеса, 19–20 листопада 2020 року: тези доповіді. Одеса, 2020. С. 151–154. *(Здобувачем зібрано дані та проведено аналіз компонентів).*

16. Цапко Ю. В., **Ломага В. В.**, Цапко О. Ю., Бондаренко О. П. Деякі аспекти вогнезахисту деревини просочувальними композиціями на основі неорганічних та органічних речовин. Проблеми надзвичайних ситуацій: Міжнародна науково-практична конференція, м. Харків, 20 травня 2021 року:

тези доповіді. Харків, 2021. С. 224–225. *(Здобувачем запропоновано комплекс складів органічних речовин).*

17. **Ломага В. В.**, Цапко Ю. В., Цапко О. Ю. Стійкість на вимивання з деревини водорозчинних фосфоро-амонійних солей вогнезахисного покриття з поліуритановою оболонкою. Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2021): XI Міжнародна науково-практична конференція, м. Чернігів, 26–27 травня 2021 року: тези доповіді. Чернігів, 2021. Т. 1. С. 240. *(Здобувачем проаналізовано методи визначення основних властивостей вогнезахисної деревини).*

18. **Ломага В. В.**, Цапко Ю. В. Окремі аспекти вимивання водорозчинних антипіренів з деревини через поліуретанову оболонку. Теперішнє та майбутнє лісів екотону середніх широт: Міжнародна науково-практична конференція, присвячена 180-річчю навчально-наукового інституту лісового і садово-паркового господарства та 95-річчю ВП НУБіП України «Боярська лісова дослідна станція», м. Київ, 11 червня 2021 року: тези доповіді. Київ, 2021. С. 80. *(Здобувачем зібрано та проаналізовано дані, проведено аналіз впливу вологи).*

19. **Ломага В. В.**, Цапко Ю. В. Умови застосування вогнезахисної деревини на об'єктах різного призначення. Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2022): XII Міжнародна науково-практична конференція, м. Чернігів, 26–27 травня 2022 року: тези доповіді. Чернігів, 2022. Т. 1. С. 256. *(Здобувачем проаналізовано проблему, проведено дослідження матеріалів на основі деревини).*

Навчальний посібник

20. Цапко Ю. В., Цапко О. Ю., **Ломага В. В.** Модифікація деревини та деревинних матеріалів: навчальний посібник. Київ, 2019. 199 с. *(Здобувачем запропоновано методи вогнезахисного оброблення деревини та порядок утримання захисного оброблення дерев'яних конструкцій).*

ЗМІСТ

ВСТУП	18
РОЗДІЛ 1	24
ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ЩОДО ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕРЕВИНИ ТА АНАЛІЗ СТАНУ РОЗРОБЛЕННЯ ВОГНЕЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ	24
1.1. Фізико-хімічні властивості деревини	24
1.2. Горіння деревини	27
1.3. Особливості вогнезахисту деревини органо-неорганічними антипіренами.	32
1.3.1. Основні вимоги до розроблення вогнезахисних композицій	32
1.3.2. Основні властивості спучуючих вогнезахисних композицій	39
1.4. Огляд досліджень механізму вогнезахисної дії спучуючих покриттів.	44
1.4.1. Дослідження процесу спучування вогнезахисного покриття	50
1.4.2. Гальмування процесу виходу антипіренів з деревини при дії атмосферних коливань.	51
1.5. Висновки до розділу 1	55
РОЗДІЛ 2	57
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕРМІЧНОГО РУЙНУВАННЯ ТА ТЕПЛОМАСОПЕРЕНЕСЕННЯ ВОГНЕЗАХИЩЕНОЇ ДЕРЕВИНИ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ	57
2.1. Моделювання процесу запалювання деревини при дії високотемпературного потоку.	57
2.2. Моделювання процесу теплопровідності стінки деревини при спучуванні вогнезахисного покриття	61
2.3. Моделювання процесу вимивання органо-неорганічних речовин вогнезахисного покриття деревини через поліуретанову оболонку.	68
2.4. Висновки до розділу 2	74
РОЗДІЛ 3	76
МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ І ХАРАКТЕРИСТИКА СИРОВИННИХ МАТЕРІАЛІВ	76
3.1. Вихідні сировинні матеріали	76
3.2. Методи дослідження сировинних матеріалів вогнезахисної деревини	80

3.2.1. Методика оцінки індексу горючості деревини обробленої покриттям на основі суміші органічних та неорганічних речовин	81
3.2.2. Методи оцінки стійкості до термічної деструкції вогнезахисної деревини	84
3.2.3. Пожежно-технічні методи оцінки пожежної небезпеки вогнезахисної деревини	87
3.2.4. Методи оцінки експлуатаційної стійкості вогнезахисної деревини покриттям на основі суміші органічних та неорганічних речовин	90
3.3. Оптимізація компонентів вогнезахисного покриття під час оброблення деревини	94
3.4. Висновки до розділу 3	103
РОЗДІЛ 4	105
БАГАТОФАКТОРНИЙ МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ВОГНЕЗАХИСТУ ДЕРЕВИНИ ПОКРИТТЯМ НА ОСНОВІ ОРГАНІЧНИХ ТА НЕОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН	105
4.1. Дослідження механізму вогнезахисту деревини покриттям на основі органічних та неорганічних речовин	105
4.2. Експериментальні дослідження ефективності вогнезахисту деревини покриттям та їх результати	117
4.3. Оптимізація неорганічних складових вогнезахисного покриття для деревини	125
4.4. Визначення експлуатаційних властивостей вогнезахисної деревини покриттям	132
4.4.1. Визначення атмосферостійкості вогнезахисної деревини	136
4.4.2. Корозійна дія захисної покриттям деревини на кольорові метали	140
4.5. Оцінювання ефективності захисту деревини органо-неорганічною композицією при її застосуванні в якості тари для зберігання вибухонебезпечних речовин.	141
4.6. Висновки до розділу 4	144
РОЗДІЛ 5	147

ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ЗАСТОСУВАННЯ ПОКРИТТЯ НА ОСНОВІ СУМІШІ ОРГАНІЧНИХ ТА НЕОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН ДЛЯ ВОГНЕЗАХИСТУ ДЕРЕВИНИ	147
5.1. Проект регламенту робіт з вогнезахисту дерев'яних конструкцій і елементів інтер'єрного спорядження будівель і споруд	147
5.1.1. Характеристики засобу.	148
5.1.2. Контроль якості робіт з вогнезахисту.	156
5.1.3. Порядок утримання вогнезахисного покриття.	157
5.1.4. Заміна вогнезахисного покриття.	158
5.1.5. Умови зберігання та транспортування.	159
5.1.6. Охорона праці та техніка безпеки.	160
5.2. Дослідження придатності вогнезахищеної деревини для використання її на об'єктах будівництва	161
5.3. Техніко-економічне обґрунтування вогнезахисного поверхневого оброблення деревини	163
ВИСНОВКИ	166
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	169
ДОДАТКИ	184

ВСТУП

Актуальність теми. Будівництво та реконструкція існуючих об'єктів цивільного, промислового і спеціального призначення тісно пов'язане з використанням деревини, яка чутлива до впливу високої температури та здатністю зберігати функціональні властивості під впливом факторів руйнування в умовах експлуатації. З урахуванням цих проблем прийняті нормативи, які зазначають необхідність при проектуванні конструкції з деревини враховувати їх стійкість до вогню, а також проводити захист деревини спеціальними засобами. У зв'язку з цим прийнято ряд нормативних документів, зокрема ДБН В.1.1-7, що регламентує проведення робіт по захисту деревини від вогню.

Так у більшості випадків зниження горючості деревини вирішується завдяки використанню спеціальних покриттів, що наносяться на поверхні конструкцій та матеріалів з деревини, а також просоченням її антипіренами (неорганічні солі). Однак вогнезахист деревини поверхневим просоченням, не забезпечує високу ефективність захисту і не може створити умови для досягнення необхідної якості покриття та тривалості безпечної експлуатації об'єктів, оскільки антипірени проникають на незначну глибину та вимиваються під впливом вологи. Тому виникає необхідність вдосконалення існуючих вогнезахисних засобів за рахунок їх модифікування органічними речовинами, здатних утворити на поверхні деревини стійку плівку, яка під впливом вогню утворює спучений шар пінококсу, та відповідно забезпечує необхідну атмосферу стійкість покриття.

У зв'язку з цим, актуальним постають досліджень які направлені на розробку вогнезахисного покриття на основі органо-неорганічних речовин, що надасть можливість забезпечити відповідні як вогнестійкі так і експлуатаційні властивості. Що в свою чергу забезпечить довговічність вогнезахисного покриття та екологічні норми будівельних конструкцій з деревини.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дослідження проводилися відповідно до Концепції Загальнодержавної цільової економічної програми розвитку промисловості на період до 2020 року, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 17 липня 2013 р. № 603-р. Окремі результати досліджень було визначено під час проведення науково-

дослідної роботи “Розробити технічні вимоги до вогнезахисних покриттів дерев’яної тари зберігання озброєння і боєприпасів” (державний реєстраційний № 0117U003528).

Мета роботи і задачі досліджень. *Метою роботи* є теоретичне обґрунтування та експериментальне підтвердження умов захисту деревини від термічного розкладу із застосуванням суміші органо-неорганічних речовин та розроблення технологічних методів і рекомендацій з підвищення стійкості деревини.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні задачі:

- провести аналіз властивостей деревини, виявити показники термодеструкції та шляхи підвищення її стійкості в умовах експлуатації;
- обґрунтувати просочувальні покриття на основі органо-неорганічних речовин та дослідити закономірності збереження зовнішнього вигляду поверхні деревини при обробленні;
- провести дослідження ефективності вогнезахисту деревини органо-неорганічним покриттям за умов спучування компонентів під дією температури полум’я;
- провести комплекс експериментальних досліджень механізму захисту деревини при термічній дії та експлуатаційних властивостей деревини захищеної від вогню;
- розробити документацію на експлуатацію органо-неорганічного покриття та провести дослідження щодо їх впровадження у виробництво.

Предмет дослідження – вогнестійкі властивості деревини захищеної покриттям на основі композицій органо-неорганічних речовин.

Об’єкт дослідження – процеси, що протікають в органо-неорганічному покритті при термічній дії в перемінних умовах експлуатації, властивості деревини захищеної від вогню та технологічні заходи.

Методи дослідження. У роботі використано комплексний метод дослідження, що передбачав: теоретичні, які базуються на аналізі властивостей та узагальненні досягнень у вогнезахисті деревини, теорії тепломасоперенесення,

числових методах математичного аналізу при моделюванні і вивчені теплопереносу та тепловиділення, динаміки процесу втрати маси зразків під дією теплового потоку; газова хроматографія, термогравіметричний аналіз; методи спеціальних випробувань (оцінювання реагування матеріалів на дію теплового випромінювання, їх займистість та димоутворення), які регламентуються діючими стандартами; експериментальні методи дослідження: гальмування водопоглинення та тривалості захисту деревини при експлуатації.

Наукова новизна одержаних результатів. У роботі доведено науково-технічні основи гальмування термічної деструкції деревини, які базуються на створенні поверхневого теплозахисного коксового шару:

- розвинуто теорії термодеструкції деревини, на основі закономірностей уповільнення процесу термічного розкладу і масо переносу при обробленні деревини органо-неорганічним покриттям;

- виявлено закономірності зміни параметрів контактної зони деревини і захисного засобу а саме водопоглинення та стійкості до виходу антипіренів залежно від здатності гідрофобізатора та встановлено їх взаємозв'язок з можливістю протидіяти термодеструкції;

- розкрито умови утворення спіненого шару коксу під впливом високої температури на вогнезахисне покриття, що переміщується в напрямі зростання температури;

- запропоновано та обґрунтовано багатofакторний метод визначення вогнезахисних властивостей деревини обробленої органо-неорганічним покриттям при зміні атмосферних та термічних навантажень.

Практичне значення одержаних результатів:

- розроблено оптимальні склади та умови виготовлення органо-неорганічних покриттів з врахуванням збереження зовнішнього вигляду поверхні деревини, які обумовлюють зменшення поглинання води, вимивання антипіренів та термодеструкції;

- запропоновано технологічні рішення щодо використання у складі органо-неорганічних, що містять фосфорні кислоти, карбамід, діціандіамід в'язучого на

основі гідролізованого крохмалю, що забезпечують необхідні екологічні показники;

- отримані фізичні моделі та їх математична інтерпретація, що дозволяють визначати тепло-фізичні характеристики спученого шару піно коксу, а також розробити методи визначення теплоізолювальних властивостей;

- розроблено спосіб визначення ефективності гідрофобізації захищених від вогню целюлозовмісних матеріалів на стійкість органічного гідрофобізатора при коливаннях вологості та температури;

- за натурними випробуваннями встановлено, що час спрацювання піропатронів, що імітують елементи озброєння, визначається стійкістю деревини вогневому впливу та встановлено, що за наявності вогнезахисного покриття час спрацювання піропатронів збільшується понад тричі.

Отримані результати досліджень знайшли відображення:

- при розроблені технічних умов, технологічних регламентів на виготовлення та нанесення покриття, рекомендацій з утримання покриття під час експлуатації;

- під час проведення натурних досліджень дерев'яних конструкцій.

Результати розроблення науково-технічних основ з виготовлення деревини захищеної від вогню впроваджено під час проведення сертифікаційних випробувань.

Особистий внесок здобувача полягає в аналізі літературних джерел та обґрунтуванні властивостей деревини необхідних для вогнезахисту; виконанню теоретичних досліджень щодо визначення теплофізичних характеристик спученого шару коксу та швидкості вимивання антипіренів при наявності захисної оболонки, розрахунку та аналізі отриманих результатів; проведенню лабораторних досліджень з визначення оптимального співвідношення компонентів органо-неорганічного покриття та ефективності вогнезахисту; досліджено умови вогнезахисту виробів з деревини шляхом проведення експериментальних випробувань. Розроблено і впроваджено в виробництво технічні рішення на виготовлення покриттів та способів оброблення деревини та деревинних матеріалів.

Авторові належать результати експериментальних досліджень опублікованих праць, отриманих патентів, а також аналіз та узагальнення результатів роботи.

Апробація результатів роботи. Матеріали роботи доповідалися та обговорювалися на:

- Всеукраїнській науково-практичній конференції (за міжнародною участю) «Розвиток цивільного захисту в сучасних безпекових умовах». (м. Київ, 08 жовтня 2019 року).

- Міжнародній науково-практичній конференції «Теперішнє та майбутнє лісів екотону середніх широт» (Київ, 11 червня 2021 року).

- Міжнародному семінарі «Моделювання та оптимізація будівельних композитів». (Одеса, 19-20 листопада 2020 року).

- Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми надзвичайних ситуацій. (Харків, 20 травня.2020 року).

- X-й міжнародній науково-практичній конференції (Чернігів , 29–30 квітня 2020 року).

- Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми надзвичайних ситуацій. (Харків, 20 травня 2021 року).

- XI-й міжнародній науково-практичній конференції (Чернігів, 26–27 травня 2021 року).

- XII-й міжнародній науково-практичній конференції (Чернігів, 26–27 травня 2022 року)

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковано у 20 наукових працях, в тому числі: 4 статей у наукових фахових виданнях України, 2 у періодичних фахових виданнях іноземних держав, 3 у виданнях, які включено до міжнародних науко метричних баз (SCOPUS та інші), 2 патенти на корисну модель, 8 тез доповідей міжнародних та вітчизняних конференцій, 1 навчальний посібник.

Структура і склад роботи. Дисертаційна робота викладена на 141 сторінці друкованого тексту основної частини, яка складається зі вступу, п'яти розділів та висновків. Загальний обсяг дисертації становить 223 сторінки і включає 37

таблиць 45 рисунків, списку використаних джерел з 149 найменувань на 14 сторінках та 6 додатків на 35 сторінках.

Розділ 1

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ЩОДО ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕРЕВИНИ ТА АНАЛІЗ СТАНУ РОЗРОБЛЕННЯ ВОГНЕЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ

1.1. Фізико-хімічні властивості деревини

Деревина донині, залишається одним з найбільш широко застосовуваних матеріалів. Володіючи рядом цінних властивостей, таких як схильність до механічної обробки, відносно висока міцність, невелика щільність, мала теплопровідність, вона має великий недолік - деревина горить [1].

Найбільш важливе значення має підвищення біо та вогнестійкості деревини. Захист деревини від займання досягається просоченням її хімічними речовинами-антипіренами або нанесенням відповідних покриттів. Введені в деревину антипірени розкладаються з виділенням негорючих газів, що відтісняють повітря від її поверхні, або хімічно пов'язаної води, що знижує температуру деревини яка горить. Покриття при нагріванні плавиться і огортає поверхню деревини плівкою, що знижує доступ повітря. Таким чином, захисне оброблення деревини антисептиками та антипіренами, знижує витрати на ремонтні та відновлювальні роботи, втрати від пожеж, сприяє економії деревини та збереженню лісів.

Деревина складається переважно з органічних речовин, частка яких припадає щонайменше 99% від загальної маси. Елементний хімічний склад деревини всіх порід практично однаковий. Органічна частина абсолютно сухої деревини містить у середньому 49-50% вуглецю, 43-44% кисню, близько 6% водню та 0,1-0,3% азоту.

При спалюванні деревини залишається її неорганічна частина приблизно (0,1-1,0%). До складу золи входять кальцій, калій, натрій, магній, в менших кількостях фосфор, сірка та інші елементи. Вони утворюють мінеральні речовини, більша частина яких (75-90%) нерозчинна у воді. Серед розчинних речовин переважають солі лужних металів, карбонати калію та натрію, а з нерозчинних – солі кальцію. Целюлоза, лігнін та геміцелюлози основні складові

клітинних стінок деревини (рис. 1.1). Характер зв'язків між ними дуже різноманітний – від слабких міжмолекулярних до сильних – хімічних [2].

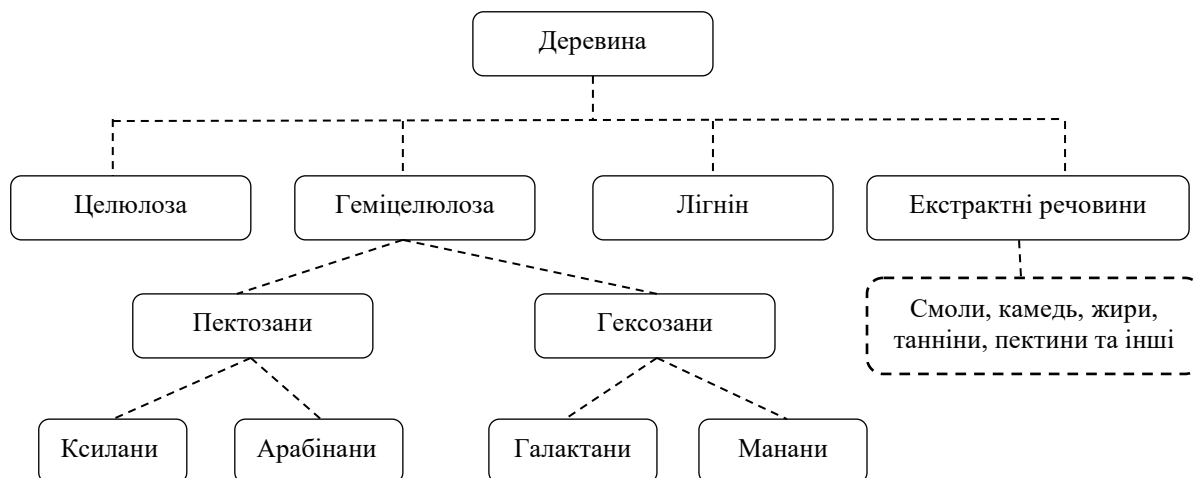


Рис. 1.1 Схема складу деревини

Целюлоза. Ця речовина є лінійним, стереорегулярним полімером - полісахаридом, який, як і крохмаль, має формулу $(C_6 H_{10} O_5)_n$, де n - ступінь полімеризації. Макромолекула целюлози має вигляд ланцюга, що складається з багатьох елементарних ланок - глюкозних залишків. Число цих ланок, що характеризується ступенем полімеризації, у природної деревної целюлози знаходиться в межах 5000-10000 ланок, а за деякими даними може досягати і більших значень. Кожна пара пов'язаних між собою глюкозних залишків утворює целлобіозу. Структурна формула целюлози зображена на рис. 1.2.

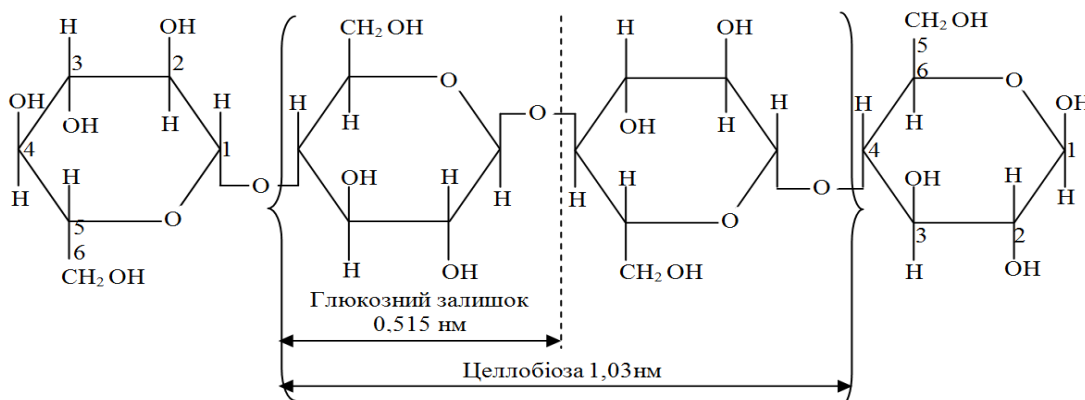


Рис. 1.2 Структурна формула целюлози

Геміцелюлози. Цим терміном об'єднується група полісахаридів [3], що містяться в клітинних стінках деревини, але відрізняються від целюлози, що гідролізується в кислотах і розчиняються в лугах. У зазначену групу входять пентозани та гексозани, які у свою чергу поділяються на окремі різновиди полісахаридів (маннани, ксилани, галактани та ін.). Пентозани ($C_5H_8O_4$)_n містять п'ять атомів вуглецю у складі елементарної ланки. Гексозани ($C_6H_{10}O_5$)_n, так само як і целюлоза, мають шість атомів вуглецю у ланці. Однак молекулярна маса всіх геміцелюлоз значно менша, ніж у целюлози. Зазвичай ступінь полімеризації становить 150-200, але можуть бути геміцелюлози з меншим ступенем полімеризації.

Лігнін. Це високомолекулярне з'єднання ароматичної природи (поліфенол) є полімером нерегулярної будови. Будова лігніну, що знаходиться у складі клітинних стінок деревини та кори, досі остаточно не встановлено. Справа в тому, що у процесі виділення з деревини природний лігнін зазнає незворотних перетворень. Лігнін, виділений різними способами відрізняється по будові та властивостях. Про це можна судити хоча б за кольором виділеного лігніну, який може бути від світло-жовтого до темно-коричневого, тоді як природний лігнін, очевидно, відповідає кольору деревини. Щільність окремих видів виділеного лігніну коливається в межах 1,25-1,45 г/см³ [4]

Представлення про хімічний склад деревини дають деякі дані [5], наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Хімічний склад деревини деяких порід, %.

Складові	Сосна	Ялина	Ялиця	Кедр	Модрина	Осіка	Береза	Дуб
Целюлоза	40-49	42-51	41	39	34-36	42-52	35-45	37
Пентозани	5,9-11	5,1-11	5,2	7,7	5,2-8,8	17-24	20-25	19
Гексозани	22,8- 23	12- 12,5	11,3	16	19,2-22,6	2,6- 4,5	4,8- 5,0	2-3,7
Кислоти	2,6-4,0	2,1-4,1	3,8	4,0	2,9-3,9	3,9- 8,0	4,1- 5,8	4,7- 5,1
Лігнін	25-29	26-29	30	24	25-27	17-22	19-22	22
Зола	0,2-0,4	0,2-0,4	0,5	0,18	0,1-0,3	0,3- 0,4	0,2- 0,5	0,4

Деревина хвойних порід відрізняється від листяних більшим вмістом лігніну а особливо, гексозанів. У деревини листяних порід серед геміцелюлоз переважають пентозани. Тільки хвойні породи в складі екстрактивних речовин містять смоляні кислоти. В ранній зоні річного шару целюлози менше, чим в пізній. Целюлози, лігніну та екстрактивних речовини в заболоні хвойних порід менше, ніж в ядрі. У деяких листяних порід (ясень, дуб) целюлози в ядрі трохи більше, ніж в заболоні. В гілках деревини вміст целюлози на 3-10 % менше, ніж в стовбурі [6].

1.2. Горіння деревини

Деревина в умовах пожежі є найбільш поширеним горючим матеріалом. За структурою вона являє собою органічний матеріал з великою кількістю пор, які заповнені повітрям. Стінки пор складаються з целюлози та лігніну. Об'єм пустот в деревині перевищує об'єм твердої речовини, що можна побачити з даних наведених у таблиці 1.2 [7].

Таблиця 1.2

Об'єм твердої речовини та пустот деревини

Показники	Береза	Дуб	Ялина	Сосна
Маса 1 м ³ щільної деревини, кг/см ³	560	650	420	460
Об'єм твердої речовини, %	37,4	43,4	28,0	30,7
Об'єм пустот, %	62,6	56,6	72,0	69,3

Виникнення горіння рослинних матеріалів відбувається за такою схемою [33–35]. Зовнішнє джерело тепла нагріває матеріал до температури 30–60°C – починається помітне випаровування вологи, під час подальшого нагрівання до 100°C – відбувається сушіння матеріалу, що продовжується в інертному режимі до температури 250°C. Для деревини вологістю 8–9% температура займання сосни дорівнює 255°C, ялини – 214°C, дуба – 238°C [7]. За цих температур з деревини

виділяються горючі гази, які у разі наявності джерела запалювання здатні до займання і самостійного підтримування горіння тривалий час.

Рослинні матеріали відносяться до капілярно-пористих колоїдних тіл (стінки капілярів еластичні, гідрофільні і за умов поглинання вологи набухають). Максимальна гігроскопічна вологість знаходиться в межах 26–40% мас. і для деревини всіх порід відповідає приблизно 30% мас. вологості.

При подальшому нагріванні органічні речовини втрачають незв'язану воду та спостерігається більш інтенсивне виділення летких продуктів, а саме моно- та діоксиду вуглецю. Температури, за яких починається інтенсивна деструкція зразків, характеризуються виділенням летких продуктів, де переважаючою складовою є горючі гази – суміш вуглеводнів та водню. Після займання горючих газів, що виділяються, температура верхнього шару деревини підвищується за рахунок тепла, випромінюваного полум'ям, і досягає 290–300°C [7]. За цієї температури вихід газоподібних продуктів досягає 40%, а висота полум'я – найбільша.

Враховуючи вищенаведене, процес горіння деревини складається з двох фаз: полум'яного горіння та горіння вугілля, а також перехідна фаза, яка характеризується одночасним протіканням двох фаз. В умовах пожежі основну роль відіграє перша фаза, так як вона супроводжується виділенням великого об'єму нагрітих до високої температури продуктів згоряння та інтенсивним випромінюванням (полум'я), що сприяє швидкому розповсюдженню горіння та збільшенню площі пожежі. Тому під час гасіння пожеж у першу чергу намагаються ліквідувати осередки, де протікає фаза горіння [7].

Процеси горіння деревини, як однієї з найважливіших складових пожеж об'єктів, на початку ХХ ст. були покладені в основу на створення схеми розвитку пожежі. У 1916 році вперше була введена концепція вогнестійкості [8, 9], заснована на спостереженнях за температурою горіння деревини. На підставі даної концепції була побудована стандартна крива розвитку температури пожежі залежно від часу, що береться до уваги в нормативах та системі ISO. Відповідно до стандарту [10]. модельна пожежа в умовах спеціальних полігонних випробувань будується за математичною залежністю:

$$T - T_0 = 3451g(8t + 1), \quad (1.1)$$

де T – температура в зоні горіння за час t , °C;

T_0 – температура навколишнього середовища, °C;

t – час випробування, хв.

Під час горіння деревини температурний режим пожежі залежить від її кількості і досягає максимальних значень: 800–830°C на 20-й хвилині пожежі при питомому навантаженні 25 кг/м²; 830–850°C на 35-й хвилині пожежі при питомому навантаженні 50 кг/м²; 950–1000°C на 70-й хвилині пожежі при питомому навантаженні 100 кг/м² [7]. Ці температурно-тимчасові характеристики збігаються зі стандартним графіком розвитку пожежі. Залежно від температури при розкладанні деревини змінюються кількість і якість газових складових, що не конденсуються: за 200°C виділяється CO₂ (75%) і CO (25%) (на 100 кг деревини приблизно 0,4 м³ газів); за 300°C виділяється 5,6 м³ газів складу CO₂, CO і CH₄; за 400, 500, 600 і 700°C виділяються CO₂, CO, CH₄ і H₂ у кількостях 9,5, 12,8, 14,3 і 16 м³ відповідно [7]. У цій роботі експериментально зареєстрована температура горіння рослинних матеріалів 1070–1180°C, під час лісових пожеж близько 1000°C, теоретична ж температура горіння складає 1570–1605°C [11, 12].

Швидкість розповсюдження фронту тління однакова за всіма напрямками та залежить від породи деревини, насипної густини, вологості та розмірів часток. Із збільшенням розмірів часток швидкість розповсюдження фронту тління та температура в осередку знижуються. Збільшення насипної густини в 2 рази у порівнянні з первісною густиною припиняє процес тління.

В прилеглих до осередку зонах відмічаються аномальні теплофізичні властивості матеріалу, що утворився: зменшення ефективного коефіцієнту теплопровідності, збільшення ефективною теплоємності та вологості.

Знання особливостей термічного розкладу і горіння деревини та її модифікацій має основне значення для оцінювання її безпеки, а також для розроблення засобів та способів модифікування.

Як відзначалося вище, процес горіння целюлозовмісних матеріалів носить яскраво виражений гетерогенний характер, а розвинута поверхня горючого

матеріалу має важливе значення як фактор, що сприяє прискоренню цього процесу. Важка займистість колоди або бруса і горіння пояснюється тим, що вони мають малу поверхню, яка сприймає тепло від зовнішніх джерел нагрівання, і малу поверхню теплотворення в екзотермічній стадії горіння.

Варто підкреслити, що з погляду хімізму процесу, целюлозні матеріали самі по собі не здатні горіти; горять лише продукти їхнього розкладу, що утворюються в результаті нагрівання матеріалів [13]. Почавшись у визначеному місці під впливом теплового імпульсу, горіння продуктів розкладу продовжується, поки є достатній приплив повітря і теплота згоряння (виділення в достатній кількості) не розсіюється, а йде на нагрівання нових ділянок матеріалу до температури займистості.

Власне процес горіння целюлозовмісних матеріалів поділяється на дві стадії: згоряння газів, що утворюються при їх термічному розкладанні (фаза полум'яного горіння) і згоряння вугілля, яке утворилося (фаза тління). Таким чином, між палаючою поверхнею матеріалу та його прилеглими ділянками знаходиться шар, який має підготовчий процес, що супроводжується поглинанням тепла і перешкоджає швидкому поширенню високої температури.

Бавовняні волокна згоряють в однакових умовах випробувань швидше, ніж віскозні. Це пояснюється тим, що бавовна, яка втримується за умов відносної вологості повітря, виявляється значно сухішою віскозного шовку і містить приблизно в два рази менше води, ніж віскозне волокно [14]. Процес горіння паперу та картону характеризується значним тепловиділенням та підвищеною швидкістю реакцій за рахунок більш розвинутої площі поверхні.

Горючість твердих матеріалів Γ і, зокрема, целюлозних, можна характеризувати, як функцію кількості та інтенсивності тепла, що підводиться q_u та виділяється q_{mco} при відносній площі S , на яку це тепло діє, фізичних властивостей матеріалу Φ_1 і ряду інших факторів Φ_2 [15]:

$$\Gamma = f \left(\frac{q_{mco}}{q_u}, \frac{1}{S}, \Phi_1, \Phi_2 \right). \quad (1.2)$$

Дія на матеріал, який підпалюють, відкритим полум'ям джерела, або нагріванням за допомогою тепло випромінювача має на меті передачу відомої

кількості тепла Q_1 поверхні цього матеріалу. Кількість тепла залежить від фізичних властивостей матеріалу та умов, які сприяють його нагромадженню або розсіюванню. Це тепло підвищує температуру ділянки, що обігрівається, до того стану, коли починається активний процес розкладання матеріалу. Процес супроводжується виділенням тепла Q_2 і появою горючих газів, що загоряються. Збільшення кількості тепла Q_3 , що діє на поверхню, за рахунок згоряння газів активізує процес горіння.

Для наочності вищевикладене представляють у вигляді послідуєчих стадій (процесів):

- 1) джерело загоряння – Q_1 ;
- 2) целюлозний матеріал \rightarrow продукти розпаду + Q_2 ;
- 3) леткі продукти розпаду + $O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O + Q_3$;
- 4) тверді продукти розпаду + $O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O + Q_4$.

Так як визначити величину Q_1 важко, під час випробувань матеріалів на горючість, використовують всю величину теплового імпульсу джерела підпалювання q_u , яка є досить показовою в порівняльних умовах випробувань.

Об'єктивним показником для оцінки горючості матеріалів служить кількість тепла q_{meo} , що виділяється матеріалом за умов горіння, які наближаються до природних.

Величина q_{meo} завжди буде менше суми теплоти $Q_2 + Q_3 + Q_4$ внаслідок відомої неповноти згоряння продуктів розкладу. Ця обставина дозволяє виявити розходження матеріалів за їх горючістю.

Дослідження показали [16], що чим більше величина відношення $\frac{q_{meo}}{q_u}$, тим більш горючим є матеріал. В ідеальному випадку, коли все тепло, що виділяється джерелом підпалювання передавалося б цілком матеріалу, його самостійне горіння могло б спостерігатися лише при співвідношенні $\frac{q_{meo}}{q_u} \geq 1$.

У практичних умовах такий процес буде мати місце при менших значеннях, але тільки за необхідності застосування великих теплових імпульсів для компенсації тепловитрат. Для умов випробувань матеріалів на горючість, що

передбачено у спеціально розробленій С.І. Таубкіним, Н.С. Нікітіної та А.В. Суховим методиці, критична величина цього співвідношення на основі експериментальних даних дорівнює 0,5.

Розглядаючи механізм загоряння матеріалу слід відзначити, що підвищення температури поверхні, що обігривається, має значення для початку горіння лише до межі, за якою починається активне окисне розкладання. Час, необхідний для досягнення цієї температури, залежить очевидно, за інших рівних умов, від здатності матеріалу сприймати тепло. Величина сприйняття матеріалом тепла може бути охарактеризована, певною мірою, добутком 3-х показників його фізичних властивостей: теплопровідності, теплоємності й об'ємної маси (λ, c, ρ) [17].

1.3. Особливості вогнезахисту деревини антипіренами.

Головними цілями вогнезахисту матеріалів з деревини є:

- 1) забезпечення незаймистості їх від малокалорійних джерел енергії (полум'я сірника, запальнички, іскри від короткого замикання електропроводів то що);
- 2) зниження швидкості поширення вогню по поверхні дерев'яного виробу або конструкції;
- 3) забезпечення гальмування вогню по поверхні дерев'яних конструкцій на різних стадіях розвитку пожежі [18].

1.3.1. Основні вимоги до розроблення вогнезахисних композицій

В даний час при розробці вогнезахисних засобів найчастіше враховується тільки один показник пожежної небезпеки - горючість. Для вогнезахисту найчастіше використовують склад, компоненти якого комплексно перешкоджають горінню:

- в твердій фазі, змінюючи процес розкладання целюлозного матеріалу;
- в газовій фазі, перешкоджаючи окисленню продуктів розкладання.

Найбільш ефективними з точки зору забезпечення вогнезахисту в твердій фазі і при тлінні є фосфоровмісні з'єднання, здатні при нагріванні розкладатися з утворенням фосфорної кислоти. Наявність фосфорної кислоти змінює співвідношення CO/CO_2 в напрямку пригнічення прямого окислення вуглецю в CO_2 , знижуючи в значній мірі екзотермічний ефект процесу.

Неорганічні фосфати - з'єднання, що пригнічують процес тління целюлози. Фосфорна кислота починає зневоднюватися при $213\text{ }^\circ\text{C}$, перетворюючись в пірофосфатну кислоту $H_4P_2O_7$, яка при $800\text{ }^\circ\text{C}$ повільно переходить в метафосфору HP_2O_3 . Таким чином, зазначені з'єднання не випаровуються при температурі активного тління ($500\text{-}700\text{ }^\circ\text{C}$). Під впливом введеного в целюлозовмісні матеріали фосфору змінюється механізм їх терморозпаду. Перетворення целюлози в присутності фосфору характеризуються більш низькотемпературним початком деструкції, збільшенням виходів вугілля і води при меншому виділенні летких продуктів розпаду, в тому числі горючих (оксид вуглецю, левоглюкозан і ін.). Вогнезахисний ефект фосфорної кислоти по відношенню до целюлозного комплексу обумовлений в основному різкою зміною механізму термічних перетворень вуглеводної частини деревного комплексу. Вона каталізує реакцію дегідратації целюлози. В результаті цього знижується ефективна енергія активації процесу дегідратації, знижується температура її початку, збільшуються швидкість утворення і кількість виділяється води [19-22].

Велику роль у створенні ефективних методів модифікації целюлозовмісних матеріалів (ДВП) зіграли роботи А. А. Леоновича. Його заслуга полягає в тому, що він вперше висунув пропозиції про змінну кислотності середовища і температурному інтервалі активації захищених систем, на основі яких була передбачена заміна антипиренів комплексними вогнезахисними складами. Також в працях А. А. Леоновича вивчені склади на основі солей і кислот фосфору та азотовмісних сполук. Досліджено механізм дії цих складів, згідно з яким властивість вогнезахисту пов'язано зі збільшенням кількості теплоти, необхідної для глибокого розкладання матеріалу, і одночасним зменшенням кількості виділеної теплоти. В результаті цього їх

співвідношення стає недостатнім для самостійного горіння. Встановлено також, що при загорянні вогнезахисні склади взаємодіють з компонентами деревини: в залишку утримується 86-95% фосфору і 48-59% азоту від початкової кількості. У міру розкладання частка цих елементів зростає, в результаті чого збільшується ефективність вогнезахисної дії [23, 24].

У роботі Е. М. Покровської [25] розглядаються процеси м'якого фосфорування целюлози фосфорорганічними сполуками (температурний інтервал м'якого фосфорування становить 20-80 ° С), розроблений системний підхід до створення нових складів комплексної вогнезахисної дії. Встановлено, що ефіри, аміди кислот фосфору і олігофосфозани збільшують вихід коксу при терморозпаді. Розроблено вогнезахисні композиції типу АФК-4, ДМФ, ДЕФ, ТХЕФ. У газовій фазі найбільш ефективними є неорганічні і органічні азотовмісні сполуки,

При спільному використанні азот-фосфоровмісних з'єднань спостерігається синергічний ефект в досягненні цілей вогнезахисту, тобто дія подібних складів вище, ніж ефективність складів, в яких використовуються тільки фосфор або тільки азотовмісні сполуки. Синергізм системи азот-фосфор пояснюється утворенням в процесі термічного розкладання зв'язків Р-Н, що полегшують фосфорування і підсилюють дію антипіренів як каталізаторів дегідратації [23].

Детально дію азот і фосфоровмісних сполук, як окремо, так і спільно, на горючість целюлозних матеріалів розглядається в статті [26, 27].

Введенням амінів можна запобігти руйнуванню структури целюлози кислотними реагентами [28, 29].

Істотним недоліком складів, що містять азот і фосфор, є те, що вони сприяють вилугованню низькомолекулярної частини та висвітлення деревини, що перешкоджає використанню її в якості декоративного матеріалу [21]. Для усунення цього недоліку необхідно використовувати комплексні вогнезахисні склади, в якості яких в даний час великого поширення набули багатокомпонентні системи. Дані склади поряд з каталізатором дегідратації і карбонізації органічною складовою, наприклад, деревини (містять фосфорні з'єднання) і

газоутворюючі (азотовмісні сполуки) містять полімерну плівкоутворюючу основу [30, 31].

Перевагою подібних комплексних систем є їх здатність з відносно тонкого покриття під впливом високої температури, утворювати захисний спучений шар, що запобігає доступу вогню до поверхні, що захищена, і уповільнює її прогрів [32].

Ще півстоліття тому основним методом захисту целюлозовмісних матеріалів від вогню було її просочення водними розчинами неорганічних сполук [33], і вже тоді спостерігалась вища ефективність неорганічних азот-фосфоровмісних сполук, наприклад діамонійфосфат [34].

У 1948 р був запатентований спосіб вогнезахисту целюлозних тканин на основі композиції, що складається з ортофосфорної кислоти і карбаміду. Спосіб дозволяє за допомогою термічного впливу при температурі 175 °С провести реакцію етерифікації 10-15% груп ОН целюлози і отримати стійку до вимивання вогнезахисну композицію. В подальшому карбамід був замінений на ціанамід і диціандіамід [35].

У нашій країні найбільшого поширення для глибокого просочення знайшли склади МС і ДСК-П для поверхневого просочення деревини [36, 37]. У суднобудуванні для захисту деревини від вогню застосовувався антипірен, що представляє суміш фосфатів і сульфатів амонію [38]. У статті [39] описувався склад, одержуваний розчиненням диціандіаміду і фосфорної кислоти в співвідношенні 1: 1 при температурі 50 °С.

У доповіді [40] проводиться порівняльна оцінка трьох азот-фосфоровмісних антипіренів для целюлозних матеріалів (ОСТМ-2000, Піроватекс, Т-2). За результатами експериментів найкращим чином проявив себе вогнезахисний склад ОСТМ-2000. Він має найкращі вогнезахисні властивості, при впливі джерела займання має найменшу площу обвуглення ділянки, не погіршує характеристики міцності показників матеріалу.

Подібні водні розчини і зараз широко використовуються при отриманні вогнезахисних засобів для деревини. Прикладом такого складу є Термінус-11. Вогнебіозахисний склад Термінус-11 являє собою водний розчин карбаміду,

азот-фосфоровмісних сполук органічної і неорганічної природи і біоцидних добавок [41].

У патенті [42] запропонований метод виготовлення вогнезахисних плитних матеріалів відливом килима. В якості антипірену пропонується водний розчин, що містить на 100 м.ч. води 42-48 м.ч. ортофосфорної кислоти і 21-24 м.ч. карбаміду.

У 1976 р був опублікований патент США [43], де в якості вогнезахисного засобу для целюлозних матеріалів, килимових покриттів і ін. Пропонувався склад, що включає амін, фосфорну кислоту, один або більше вогнезахисних агентів і поверхнево-активні речовини. В якості вогнезахисних агентів виступають діамонійфосфат, моноамонійфосфат, а також сульфати амонію. В якості аміну кращими називаються водорозчинні поліалканоламіни.

Перше комерційне застосування спучувальних азот-фосфоровмісних вогнезахисних систем можна віднести до 1938 року, коли з'явився патент США [44, 45], в якому описувалося покриття, що отримується конденсацією 27,5 % діамонійфосфату; 35,0 % діціандіаміду; 37,5 % формальдегіду. У патенті заявлялося, що при нагріванні покриття спучується і утворює обвуглений шар. Найбільш відомими і застосовуються в промислових масштабах вогнезахисними засобами для деревини та деревних композиційних матеріалів, здатними утворювати спучений шар, є поліамідофосфати, одержані конденсацією ортофосфорної кислоти і карбаміду [24, 46, 47].

Прикладом може служити склад КМ [48], що отримується шляхом конденсації ортофосфорної кислоти з карбамідом. Співвідношення ортофосфорної кислоти і карбаміду становить 1:1,5. Конденсацію проводять в розплаві карбаміду при температурі 135-140 °С. Спочатку вводять 55-70% карбаміду, після чого антипірен охолоджують і додають, залишки карбаміду. Для отримання робочого розчину склад розводять до концентрації 50-55%. Вогнезахисна дія складу КМ проявляється в твердій фазі, супроводжується зниженням виходу летючих продуктів і збільшенням виходу вугільного залишку за рахунок дегідратувальної дії фосфорної кислоти, що утворюється при розкладанні поліамідофосфатів під дією високих температур. При розкладанні

Технологія виробництва цих вогнезахисних засобів полягає в нейтралізації відходів виробництва НТФ (нітрілотриметіленфосфонової кислоти) основою - водним розчином аміаку до рН = 6-7.

1.3.2. Основні властивості спучуючих вогнезахисних композицій

У 2004 р був запатентований спосіб з вогнезахисту сухої деревини [53] даний спосіб отримання антипіренів, які можуть бути використані в деревообробній промисловості і будівництві при проведенні профілактичних заходів з вогнезахисту виробів із сухої деревини здійснюють шляхом змішання алюмохромфосфату, неогеної ПАР і поліаміну, попередньо нейтралізованого ортофосфорною кислотою до рН = 6-8. Технічний результат – отримання деревних матеріалів першої групи вогнезахисної ефективності при зниженій витраті антипірена (табл. 1.3).

Серед спучувальних систем досить ефективними і доступними виявилися склади на основі аміноформальдегідних олігомерів із застосуванням фосфатів і поліфосфатів [21].

Таблиця 1.3

Властивості пропонованих вогнезахисних складів

Показник	Значення показника
Наявність формальдегіду;	відсутній
Температура замерзання, ° С, не більше;	-20
Витрати для перерахунку деревини в I групу вогнезахисної ефективності, г / м ² ;	330-380
Тривалість висихання одного шару, рік ;;	3
Кількість шарів;	2
Втрата ваги при горінні,%:	1,6-2,0

Здатність сечовиноформальдегідної смоли на рівні з хорошою адгезією до деревини утворювати під дією високих температур вуглисті і пінні шари зумовила її використання в якості сполучного в вогнезахисних фарбах. Сама сечовиноформальдегідна смола забезпечує вогнезахист тільки при нанесенні її

на деревину досить товстим шаром, що позначається негативно на фізико-механічних властивостях плівки, а також є економічно не вигідним. Вогнезахисні властивості смоли підвищуються при введенні в процесі її виготовлення в якості каталізатора антипіренів, таких як діамонійфосфат, діаммонійсульфат і ін., які переважно містять фосфор [36, 54].

У карбамідно-формальдегідних смолах ортофосфорна кислота при термічних перетвореннях взаємодіє з амідними зв'язками [55], даючи продукти N-Фосфорування, які втрачаючи воду, азот і вуглекислий газ, утворюють пінокок. В'язкий розплав поліамідофосфатів сприяє формуванню спіненого карбонізованого шару і пригнічує термоокислення піно коксу, за рахунок чого посилюється ефект вогнезахисту.

Незручність застосування готової вогнезахисної сечовиноформальдегідної смоли, пов'язане зі схильністю її до затвердіння, сприяло розробці складів, що складаються з двох частин (роздільні склади) - порошкоподібні і рідкі, змішуються в певних співвідношеннях перед використанням. У ряді країн подібні вогнезахисні склади на основі карбамідоформальдегідних смол випускалися [21] в промисловому масштабі, наприклад: Польщі це склад марки DS-324, в Фінляндії - Вінстер, в Чехії - Піроморс і т.д.

Вогнезахисне покриття ВПД [56], що представляє собою суміш термостійких, газоутворюючих і волокнистих наповнювачів у водному розчині мелаїноформальдегідної смоли ММФ-50 і карбоксиметилцелюлози. На основі сечовиноформальдегідного олігомеру виготовляють вогнезахисну фарбу МФ-К, що складається з твердої і рідкої частин. Тверду суху частину фарби готують конденсацією, % мас.: моноамонійфосфат - 61,2; сечовини - 24,6; формаліну - 14,2. Рідка частина утворюється за рахунок конденсації, % мас.: сечовини - 12,1; діціандіамід - 12; формаліну - 75,8. Змішання сухої і рідкої частин фарби МФ-К виробляється перед її використанням. На 200 г. порошку береться 80 г. рідкої частини і 65-70 г. води. Рідку частину спочатку розбавляють водою, а потім вливають при перемішуванні в порошок, після чого фарба готова до нанесення [36]. При суміщенні сечовиноформальдегідного олігомеру і мономера ФА розроблена фарба ФАМ [57]. У мономер ФА вводиться сухий карбамідний

олігомер, а потім додають ацетоновий розчин бензолсульфоїкислоти. Сухий карбамідний олігомер отримують поліконденсацією сечовини (18,5%), формаліну (30%) і моноамонійфосфату (45,8%). Після перемішування компонентів фарби склад витримують 8-10 год. Великий інтерес представляють також модифікації олігомерів в процесі їх синтезу, даним напрямком створення вогнезахисних складів присвячена велика кількість патентів, опублікованих в США.

У 1948-1950 рр. в патентах США [41-43] пропонувалися спучуючі системи на основі сечовиноформальдегідного олігомеру. Ці склади включали параформ, моноаммоній або діамонійфосфат, сечовину, крохмаль або декстрин і альдегід. Після введення альдегіду склад повинен бути використаний протягом 1,5 год. Хоча ці покриття було важко використовувати і вони були практично неводостійкі, але були першими промисловими спучуючими покриттями. У 1954 р в США К. Крістіансоном був запатентований вогнезахисний склад на основі карбамідоформальдегідної смоли [19]. Ним описується склад із співвідношенням карбамід - формальдегід від 1:1 до 1:8, переважно ж від 1:1 до 1:3. Як речовини, які надають вогнезахисні властивості смолі, пропонується використовувати сполуки, що включають аміак або амонійні солі неорганічних кислот, здатних грати роль дегідратуючих агентів. Як катіонної частини мененієметіламіну, диметиламіну, етиламіну, етілендіаміну, сечовини, меламіну, морфоліну і інших подібних азотовмісних сполук. Як аніонної частини переважно використовували фосфати, також можливе застосування радикалів, що включають сульфати, борати.

І. Вільсон і Р. Маротта [51] запатентували водонерозчинний продукт, одержуваний реакцією між аміаком і P_4O_{10} з подібною рецептурою. Вони вперше запропонували використовувати волокнисті матеріали типу бавовни, азбесту або жмутів вовни для утримання цілісної спучувальної подушки.

У 1953 р описана можливість [21] отримання водонерозчинних сполук реакцією амідів, таких як ціанамід, сечовина, теосечовина, диціандіамід, гуанідін, меламін, і кислоти. Заявлялося, що дані матеріали не горять навіть при температурі вище 750 °С, але розкладаються з утворенням карбонізованого

шару. Меламінфосфати стійкі до води, кислотних або основних розчинників. Більшість наведених складів представляють традиційні карбамідоформальдегідні смоли, змішані з азотфосфоровмісними сполуками і наповнювачами. Більший інтерес представляють карбамідоформальдегідні смоли модифіковані на стадії синтезу фосфорвмісними сполуками. На особливу увагу заслуговують роботи з даного питання Г. А. Пірсона [58-60]. У 1975 р. ним був запропонований метод отримання смоляних систем змішанням 2,5 молей формальдегіду, 0,16 молей каталізатора кислоти, 0,16 молей сечовини [61]. Каталізатор кислота вводиться до формальдегіду після додавання триетаноламіну і сечовини. В якості каталізуючої кислоти можуть використовуватися неорганічні кислоти, такі як соляна, сірчана і фосфорна, найкращим є застосування фосфорної кислоти. Вона в якості каталізуючої кислоти дозволяє не тільки швидко досягати результату, але і контролювати реакцію. Отриманий продукт має хороші вогнезахисні властивості. Надалі Г.А. Пірсоном була опублікована серія патентів, присвячених модифікації сечовиноформальдегідних смол.

У 1984 р Г.А. Пірсон запатентував в якості вогнезахисного спучуючого покриття продукт реакції карбаміду, формальдегіду, фосфорної кислоти і ТЕА в співвідношенні 1:2,7:1,33:0,2 відповідно [62]. Одержуване покриття характеризується високою ефективністю, швидкістю висихання, відсутністю запаху формальдегіду після висихання, може служити полімерною основою при виробництві фарб. Г.П. Алексюком і Г.І. Ковтуном в 2002 був запропонований спосіб отримання вододисперсійних вогнезахисних спучувальних фарб на основі сечовиноформальдегідних смол [63].

В опублікованому патенті [64] описаний спосіб отримання антипіренів для деревообробної промисловості при виробництві вогнестійкої плитної продукції, будівництві та при проведенні заходів з вогнезахисту виробів із сухої деревини. Отримання антипіренів здійснюють співвідношенням карбамідоформальдегідного концентрату складу, мас. %: карбамід - 21-25; формальдегід - 54-60, з аміачною водою, взятих по відношенню до формальдегіду і аміаку, при нагріванні в низькокислотному середовищі в

присутності аміноспирту, вибраного з групи, що містить моноетаноламін, діетаноламін, триетаноламін, аміни, модифікатор АМ-1 і їх суміші, додається спільно з аміачною водою в кількості 0,01-0,2 мас. % В розрахунку 100мас.% карбамідоформальдегідного концентрату, з подальшим введенням 1-10 мас. % карбаміду в розрахунку на 100 мас. % карбамідоформальдегідного концентрату. Отримана суміш охолоджується і нейтралізується ортофосфорною кислотою до рН=6-8. Витрата для переведення деревини в І групу вогнезахисної ефективності становить 300 г/м².

В наступних патентах [65-67] С. В. Афанасьєвим і В. Н. Махлайем вдосконалюється пропонований вогнезахисний склад. У патенті [96] до вже нейтралізованого фосфорною кислотою продукту додають 0,1-5,0 мас. % натрію кремнефтористого і 0,1-0,8 мас. % біхромату калію в розрахунку на карбамідоформальдегідний олігомер. В результаті витрата для переведення деревини в І групу вогнезахисної ефективності - 290 г/м².

У патенті [66] антипірен представляє двокомпонентну систему, в якій перший компонент - карбамідоформальдегідні олігомер, одержуваний за рецептурою, описаною в попередніх патентах, і нейтралізований фосфорною кислотою, другий - водна дисперсія акрилових або вінілацетатних полімерів. Пропонований в патенті склад здатний зберігати високу ефективність після впливу на деревину води.

У патенті [67] до антипірену, описаного в [65], вводяться 0,1-20 мас. % другої порції карбаміду, 0,01-0,1 мас. % неіоногенної ПАВ і 0,1-1,5 мас. % біхромату калію в розрахунку на 100 мас. % карбамідоформальдегідного концентрату. Склади, описані в даних патентах, отримали торгові назви ОСА-1, ОСА-1А і ОСА-1В [99].

Таким чином, аналіз літературних даних показує перспективність розробки і застосування в якості вогнезахисних засобів для деревини та деревних композиційних матеріалів азот-фосфоровмісних сполук, в тому числі карбамідоформальдегідних олігомерів.

1.4. Огляд досліджень механізму вогнезахисної дії спучуючих покриттів.

З запропонованого напрямку досліджень відомі роботи, які направлені на розроблення вогнезахисних композицій з використанням неорганічних речовин, які модифіковані органічними сполуками, здатними утворювати на поверхні коксовий шар [68–70]. В роботі [68] приведені результати досліджень поведінки вогнезахисного покриття під дією температурного впливу. Показано як поведінку спучувального покриття, так і подальший теплоперенос. Але залишається невирішеним питання, які пов'язані з встановленням температури утворення пінококсу, що знижує якість отриманих результатів. У більшості випадків такі композиції модифікують полімерними комплексами і антипіренами, однак засоби відносяться до матеріалів, що характеризується низькою адгезією та при дії високої температури виділяють токсичні продукти горіння [69].

В роботі [70] приведені найбільш перспективні вогнезахисні композиції спучуючи покриттів, які являють собою складні системи органічних і неорганічних компонентів, але залишаються невисвітленими питання щодо прояву спільної дії компонентів покриття при спіненні. Матеріали, які наведено у роботі [71] характеризуються високою інтумесцентною здатністю, але не показано механізм утворення коксу та температурні переходи покриття в пінококс.

Доцільність використання доломітової глини підтверджується зміною структури пінококсу та суттєвим зниженням теплових характеристик, що обумовлено утворенням проміжних з'єднань, які утворюють значну кількість наноструктур [72]. Однак для підтвердження цього процесу не наведені відповідні фізико-хімічні розрахунки. Так на думку авторів [73], це обумовлено утворенням при розкладу наповнювачів у складі покриття значної кількості високотемпературних з'єднань, які при температурі ущільнюються та утворюють міцний скелет.

У напрямку даних досліджень [74] розроблена аналітична модель для розрахунку теплопровідності захисного шару коксу, яка враховує форми пір. Однак дана модель не враховує саме як зміна форми пір впливає на теплопередачу до самої конструкції. Крім того, багато покриттів мають цілу низку недоліків, таких як нанесення окремих компонентів, втрати функціональних властивостей при збільшенні температури середовища [75]. Це означає, що не визначено, як саме протікає процес за умов температур у діапазоні розкладу вогнезахисного покриття. З практичної точки зору це може викликати труднощі, що пов'язані з визначенням оптимальної кількості інертних добавок. Дана обставина пов'язана з тим, що введення їх у композиції суттєво змінює механізм та кінетику процесів коксоутворення.

Для подолання цієї проблеми в роботі [76] проведені дослідження впливу неорганічних наповнювачів на зсувну в'язкість та вогнезахисні властивості водяних спучувальних покриттів. Показано, що завдяки встановленим аналітичним залежностям стає можливим корегування вмісту модифікаторів для забезпечення процесу термічного захисту матеріалу.

Одна з цілей превентивного захисту конструкції від вогню, що описана в [77], полягає у запобіганні поширенню вогню і диму протягом певного періоду часу, щоб можна було провести необхідні пожежно-рятувальні роботи. Це досягається, серед іншого, за рахунок вимог до вогнестійкості компонентів, що піддаються впливу вогню. Однак, покриття і випробування на вогнестійкість мають бути адаптовані і доопрацьовані для все більш складних застосувань і більш жорстких вимог. В розробці розкрито матеріал від розпорядчої оцінки до оцінки, заснованої на характеристиках складних компонентів в окремих сценаріях пожежі. В рамках досліджень представлені та обговорені підходи до нових викликів для систем реактивного протипожежного захисту в екстремальних умовах, а також варіанти їх випробувань. Основна увага приділяється недавно розробленим методам лабораторних випробувань для перевірки нових матеріалів покриття і для оцінки особливих або специфічних для матеріалу аспектів вогнестійкості в екстремальних умовах. Але не показано, для яких класів експлуатації вони належать.

В роботі [78] показано, що полідиметилсилоксан, модифікований на основі кремнеземного геополімеру, дозволяє створити нове складне гібридне покриття, що не спричиняє горіння. Також розглянуто вплив в'язкості полідиметилсилоксану на вогнестійкість та мікроструктуру, яка оцінюється як 350 cps за результатами конусного в'язкометра. Включення полідиметилсилоксану спричиняє зниження відсотків втрати ваги при горінні до 52,51 % та середньої швидкості горіння до 0,0674 м/с, а також гарне придушення диму. Однак надмірна в'язкість полідиметилсилоксану виявляє несприятливу вогнестійкість до гіпополімерного покриття на основі діоксиду кремнію.

Для поліпшення вогнестійкості в роботі [79] застосовували розширений графіт, вуглецеві нанотрубки, фулере. Вплив вуглецевих матеріалів на протипожежний захист та придушення диму водорозбірного покриття детально досліджено випробуванням на вогнестійкість, термогравіметрию диференціальним скануючим калориметром, тестом на щільність диму та випробуванням на водостійкість. Результати тесту протипожежного захисту показали, що вогнестійкість покриттів була підвищена за рахунок додавання 1 % вмісту вуглецевих матеріалів. Аналіз термогравіметрії показав, що вуглецеві матеріали можуть збільшити залишкову масу і термостійкість покриттів. За результатами випробування на водостійкість після занурення у воду на 360 год вуглецеві матеріали можуть сформувати бар'єр для підвищення водостійкості покриттів. Особливо графен виявив найкращі показники серед усіх вуглецевих матеріалів. Про те не наведено, що слугувало в'язучими речовинами.

У роботі [80] використовується стратегія міжфазної обробки для вирішення питань затримки горіння, а не додавання вогнезахисних речовин до складу композитів. Композиція у водному розчині поліелектролітних комплексів складається з поліетиленіміну та поліфосфату амонію при кімнатній температурі. Сформоване покриття має високу вогнестійкість, демонструючи високий граничний показник кисню 43 % та зменшення максимальної швидкості виділення тепла на 47 % від тестів на калориметрію конуса. Крім того, покриття з поліетиленіміну та поліфосфату амонію значно покращило взаємодію між вуглецевим волокном і матрицею й покращило механічні властивості та

температуру склування композиту. Тому ця робота представляє ефективну та привабливу стратегію розробки армованих волокнами композитів із гарними вогнезахисними та механічними властивостями для майбутнього масового виробництва. Але залишаються невирішеними питання, які пов'язані з механізмом утворення пінококсу. Причиною цього можуть бути тонкощі щодо утворення захисного шару, що відповідно робить такі дослідження складними.

У роботі [81] дослідження було спрямовано на створення композицій, в яких меламін-аміотриметилфосфат був змішаний з крохмалем, хітозаном або лігносульфонатом натрію. Ця композиція використовувалася для приготування спучуючої вогнезахисної вінілацетат-етиленової сополімерної емульсії, яка може використовуватися для створення клеїв, покриттів тощо. Займистість клеїв оцінювали за допомогою граничного кисневого індексу, вертикального горіння та тестів конусної калориметрії. Наявність у композиції 30 мас. % сполук аміотриметилфосфат у полімері призвело до зниження піку швидкості виділення тепла на 73 % (з 139,2 до 37,1 кВт/м²). Встановлено, що утворенню бульбашкового шару вуглецю можуть сприяти поліфосфорна кислота і бензолсульфонова кислота разом з аміаком і діоксидом сірки, які утворюються в результаті термічного розкладання синтезованих меламін-аміотриметилфосфат і лігносульфонат під час згоряння полімеру. Крім того, це призвело до збільшення міцності на розрив і подовження на 56 % і 40 %, відповідно, при випробуваннях, порівняно з чистою матрицею. Однак, не сказано про вплив зміни середовища на покриття, його руйнування в часі.

Проведено дослідження [82] та отримано нове вогнезахисне покриття для деревини з використанням акрилатних олігомерів та функціональних мономерів, що містять елементи фосфору, азоту та сірки. Для дослідження займистості та піролізних властивостей покриттів використовувалися тест на граничний кисневий індекс та тепловий гравіметричний аналіз і інфрачервона спектроскопія. Експериментальні дані показали, що покриття має кращу вогнестійкість на поверхні деревини при молярному співвідношенні мономеру фосфору та азоту 2:4. Летючі продукти, що утворюються в процесах деградації покриття, підтверджуються TGA-FTIR, а саме температурою максимальної

швидкості виділення 99,80 °C, 170,96 °C, 346,75 °C та 358,80 °C відповідно. Крім того, покриття виділило NH₃ та CO₂ у вигляді негорючих газів під час процесу деградації, що розбавляло концентрацію кисню під час згоряння та було сприятливим для утворення спучуючого шару вугілля. Криві TGA покриття показали три деградації, що відповідають втраті води та розриву зв'язку C–S зшиваючих мереж, деградації фосфату та акрилатів, розпаду нестабільних шарів вуглецю, і утворення поліфосфорної кислоти відповідно. Вихід обвуглювання покриття досягає 27,16 % при 600 °C в атмосфері азоту, демонструючи гарні вогнезахисні властивості. Однак, не сказано про вплив зміни середовища на покриття та його руйнування в часі.

В роботі [83] для вогнезахисту використали фосфат-акрилатний мономер (PGMA), який був синтезований з фосфорною кислотою та гліцидилметакрилатом за допомогою реакції розкриття кільця та меламін-акрилового ефіру (MAAR). У результаті було створено серію вогнетривких покриттів з різними пропорціями та вогнестійкістю деревини. Властивості було досліджено за допомогою тесту на граничний кисневий індекс (LOI), тесту на температуру та тесту на конусний калориметр. Коли деревину було покрито композитом з вмістом 33,3 % PGMA і 66,7 % MAAR, загальна величина тепловиділення знизилася з 39,0 до 38,2 МДж/м², демонструючи значне покращення у вогнестійкості. Таким чином, це вогнезахисне покриття легко готується, дешеве та ефективно і може сприяти більш широкому застосуванню деревини. Але не вивчено вплив старіння на вогнезахист та механічні властивості вогнезахисного покриття.

У роботі [84] досліджували довговічність вогнезахисних властивостей прозорого вогнестійкого покриття для структури деревини з використанням прискореного гігротермічного старіння. Ефекти старіння аналізували за допомогою морфологічного аналізу та тесту на вогонь. Результати показують, що після 21 дня старіння вогнезахисні компоненти поступово випадають на поверхню. Покриття в основному втрачає здатність до розширення, а обуглений шар демонструє низькоміцну пластинчасту структуру. Вогнестійкість покриття зменшилася на 43,48 % від 23 хв до 13 хв.

Проведені дослідження у роботі [85] для вивчення біфункціональності деревини, що була вогнезахищена. Для цього деревину обробляли силікатом натрію, а наступні засоби, такі як борна кислота, борат амонію, діамоній фосфат, використовували для фіксації вогнезахисту. При цьому опір вимивання був покращений на 10 %. Вогнезахисна комбінація, яка містить силікат натрію, борну кислоту та діамоній фосфат, показала високі гігроскопічні властивості й корозійну ефективність до металів. Однак, не сказано про вплив зміни середовища на покриття і його руйнування в часі.

У статті [86] було підготовлено новий вогнезахисний засіб TW (FRTW) з чудовими оптичними властивостями та вогнестійкістю шляхом застосування ефіруфосфату-поліетиленгліколю (PEAG). Під час термогравіметричного аналізу TW/PEAG має місце зниження пікової втрати маси на 60 % і збільшення залишків пінококсу у 2,5 рази, порівняно з показниками натуральної деревини, що вказує на підвищену термічну стабільність. Його пікова швидкість тепловиділення, загальне тепловиділення та теплота згоряння були знижені на 82,4 %, 84,3 % і 80,8 % до показників, які отримані при застосуванні вогнезахисного засобу на основі епоксидної смоли. Обмежуючий кисневий індекс і експериментальні результати займистості також вказують на підвищені вогнезахисних характеристик TW/PEAG. Підвищена вогнестійкість TW/PEAG була пов'язана з ефіромфосфату-поліетиленгліколю, який сприяв утворенню теплоізоляційного шару вуглецю та зменшив виділення тепла. Крім того, TW/PEAG показав гарні механічні характеристики, оскільки він отримав міцність на розрив у 153,6 МПа і модуль пружності 2,2 ГПа. Однак, не сказано про вплив зміни середовища на покриття і його руйнування в часі.

Таким чином, з літературних джерел встановлено, що вогнезахисні покриття здатні захищати поверхню деревини від впливу вогню при експлуатації, але не визначені параметри, які забезпечують стійкість вогнезахисних покриттів до дії підвищених температур. Мізерність експериментальних досліджень для пояснення і опису процесу вогнезахисту дерев'яних конструкцій об'єктів масового перебування людей призводить до зниження ефективного захисту. А нехтування показниками пожежної небезпеки

такими, як горючість, займистість, поширення полум'я поверхнею, димоутворювальна здатність призводить до загибелі людей під дією полум'я. Тому встановлення параметрів захисту деревини і впливу покриттів на цей процес обумовило необхідність проведення досліджень у даному напрямку.

1.4.1. Дослідження процесу спучування вогнезахисного покриття

В роботі [87] показано дію вогнезахисного покриття, що охоплює спучування покриття і тепло перенос. Але залишаються невирішеними питання, які пов'язані з механізмом утворення пінококсу. Причиною цього можуть бути тонкощі щодо утворення захисного шару, що відповідно робить такі дослідження складними. Крім того, у роботі [88] розглянуто вплив зв'язуючого на основі рослинної сировини на утворення теплоізоляційних матеріалів, однак залишається невирішеним питання, яке пов'язано з вогнестійкістю. В роботі [89] досліджено вогнезахисну здатність за такими характеристиками горіння, як втрата ваги, швидкість горіння, максимальна швидкість горіння, але не вказано хімічні зміни, викликані впливом цих факторів. Але залишаються питання щодо впливу на здатність вогнезахисту розкладам компонентів покриття. Матеріали, які наведено у роботі [90], характеризуються високою вогневою стійкістю, але не показано температурні переходи при термічній дії.

Ефективність застосування композицій на основі органічних речовин описано в роботі [91], де за рахунок дії антипіренів на основі поліфосфорних кислот та спінювачів можливо значно впливати на формування захисного шару пінококсу. Однак постає необхідність дослідження зміни теплопровідності та встановлення ефективної дії покриття з утворенням шару коксу.

В роботі [92] приведені найбільш перспективні вогнезахисні композиції спучуючих покриттів, які являють собою складні системи органічних і неорганічних компонентів, але залишаються невирішеними питання щодо прояву спільної дії компонентів покриття при спіненні. Крім того, не враховується зміна поверхні покриття.

Значне підвищення стійкості, щільності і міцності захисного шару

досягається внаслідок направленої формування тих чи інших добавок, які утворюють високотемпературні сполуки [93]. Однак більшість композицій змінюють колір поверхні та не забезпечують первинний вигляд матеріалу.

В роботі [94] описано композити епоксидної смоли, підсилені та уповільнені від вогню поверхнево обробленими вуглецевими волокнами. Однак такі покриття мають темний колір і при обробленні змінюють поверхню дерев'яного виробу.

Крім цього, багато покриттів мають цілу низку недоліків, таких як нанесення окремих компонентів, втрати функціональних властивостей при збільшенні температури середовища [95]. Це означає, що не визначено, як саме протікає процес розкладу вогнезахисного покриття.

Проведені також дослідження захисних матеріалів, виготовлених із застосуванням рідкого скла [96]. Отримані результати спрямовані на розвиток технології та матеріалів, що поєднують вогнестійкість, низьку теплопровідність та технологічність виробів та захисних покриттів. Однак не визначена життєдіяльність покриття, механізм теплоізолювання.

Таким чином, з літературних джерел встановлено, що вогнезахисні покриття змінюють колір поверхні деревини при експлуатації та не визначені параметри, які забезпечують вогнестійкість деревини, а також що впливає на цей процес. Тому встановлення параметрів вогнезахисту деревини і впливу компонентів, які входять до їх складу, і обумовило необхідність проведення досліджень у даному напрямку.

1.4.2. Гальмування процесу виходу антипіренів з деревини при дії атмосферних коливань.

В роботі [97] показано, що реактивні протипожежні покриття дуже ефективно підвищують вогнестійкість дерев'яних конструкцій. Однак покриття і випробування на вогнестійкість мають бути адаптовані і доопрацьовані для все більш складних застосувань, у тому числі і при зміні температури і вологості. Поточні дослідження зосереджені на розробці нових матеріалів (наприклад,

геополімерів, керамічних покриттів, покриттів на основі силікону) для сценаріїв екстремального загоряння (екстремальні температури, тривалий час впливу) і реалізації складних функцій (складна геометрія, зміни умов експлуатації). Але не сказано, для яких класів експлуатації вони належать.

Значення впливу гігроскопічності до стійкості вимивання впливає на показники вогнезахисних речовин [98]. Для підвищення вогнезахисту було додано золь нано-SiO₂ до різних азотно-фосфорно-борних антипіренів для отримання чотирьох нових сполук для просочення, названих: (1) дигідрофосфат амонію + тетрагідрат октаборат динатрію (AD), (2) дигідрофосфат амонію + тетрагідрат октаборат динатрію + золь нано-SiO₂ (ADS), (3) дигідрофосфат амонію фосфат + борна кислота (AB) та (4) дигідроген амонію фосфат + борна кислота + золь нано-SiO₂ (ABC). Після цього вивчили гігроскопічність, стійкість до вимивання та термостійкість за допомогою скануючої електронної мікроскопії (SEM), енергетично-дисперсійної рентгенівської спектроскопії (EDX), термогравіметричного (TG) та інфрачервоного спектрометра з перетворенням Фур'є (FTIR) та оптимального складного вогню ретардант - ABC. Результати показують, що додавання золю нано-SiO₂ може не тільки ефективно знизити гігроскопічність вогнезахисних матеріалів понад 20 %, але й покращити його стійкість до вимивання. Але для підтвердження цього процесу не наведені відповідні фізико-хімічні дані, щодо вимивання в процесі експлуатації.

Опис поведінки деревини [99], що просочена гуанілсечовинним фосфатом, борною кислотою та меламінформальдегідною смолою, виявляла значно підвищену стійкість до вилуговування, зберігаючи при цьому чудову вогнестійкість, як перевірено методом граничного індексу кисню. Було виявлено, що фосфат гуанін сечовини добре затримується у структурі деревини, про що свідчить спектроскопія FTIR. Втрати ефективності вогнезахисної речовини на 7,4% була досягнута після надмірного вимивання обробленої деревини. Але залишаються невирішеними питання, які пов'язані з механізмом утворення пінококсу. Причиною цього можуть бути тонкощі щодо утворення захисного шару, що відповідно робить такі дослідження складними.

У дослідженні [100] було спрямовано на обговорення методу оцінки показників реакції вогню деревини, обробленої антипіреном на основі фосфороганічних речовин, яка використовувалася в якості фасадів будівель з урахуванням погіршення старіння. Були досліджені характеристики вогнестійкості деревини та встановлено, що початкові показники погіршилися під час випробування на реакцію на вогонь понад 12 %.

Ефективність застосування компонентів покриття показана в роботі [101], що стосується ефектів комбінованої обробки деревини азотно-фосфорною вогнезахисною та термообробкою, яка піддавалась гігроскопічності, вимиванню, термостійкістю, дослідженням інфрачервоними (FTIR) спектрами перетворення Фур'є, та рентгенівськими дифракційними властивостями. Зразки деревини просочували 10 % -вим розчином антипірену і піддавали термічній дії при 140–160 °C протягом 30 хв. Термічно оброблена деревина зменшила поглинання вологи на 5 % та підвищив стійкість вимивання антипіренів до 10 % та покращила термічну стабільність понад 3 %. Встановлено, що термообробка розкладає антипірен, а кислотність цих продуктів розпаду має дегідратаційний ефект на полісахариди деревини, а кількість гідроксильних груп у деревині значно зменшилася. Низькотемпературна термообробка посилила фіксацію антипірену та гідрофобність деревини, обробленої антипіреном. Проте виконання даних робіт потребує спеціального устаткування на стадії виготовлення матеріалів.

В роботі [102] за метою було дослідити вплив антипіренів на основі бору та навантаження волокна на механічні, пожежні та теплові показники просоченої деревини, наповненого поліетиленовими композитами високої щільності. Для цього деревину просочували розчином борної кислоти, бури та їх суміші та сушили перед виготовленням композитів. Також досліджували вплив вимивання на граничні рівні кисневого індексу (LOI) вогнезахисених зразків та встановлено, зразки з бурою забезпечували кращі механічні властивості порівняно із зразками з борною кислотою та демонстрували 19% поліпшення модуля розтягування при навантаженні волокна на 40% порівняно з контрольними зразками. Крім того, вогнезахисені зразки бурою збільшували

рівень LOI та обвуглення, а також зменшували швидкість горіння на 50%. Наявність борної кислоти у композиції після вимивання дещо знизили ефективність захисту до 5 %.

Проведені дослідження для вивчення функціональності деревини, обробленої антитардантами [103]. Силікат натрію проникав у деревину, наступні засоби, такі як борна кислота, борат амонію, фосфат діамонію, обробляли для фіксації антипірену. Як результати опір вимивання був покращений на 10%. Вогнезахисна комбінація, така як силікат натрію, борна кислота та фосфат діамонію, показала високі гігроскопічні властивості та корозійну ефективність до металів. Однак не сказано про вплив зміни середовища на покриття, його руйнування в часі.

У роботі [104] дослідженні гіпофосфіт алюмінію і ціанурат меламіну, що використовувалися в якості антипірену в композиті з поліпропілен і деревного борошна. Займистість композитів була перевірена за допомогою граничного кисневого індексу (LOI), випробування на вертикальне горіння і тесту кінчного калориметр. Коли в композит було завантажено 20 % антипірену, LOI був збільшений до 29,5 %. Крім того, міцність на вигин збільшилася приблизно на 11,0 %. Результати випробування на калориметрі показали, що швидкість тепловиділення і пік швидкості тепловиділення композиту були значно знижені. Механізм термічної деструкції композитів був досліджений методами термогравіметричного аналізу, інфрачервоної спектроскопії з перетворенням Фур'є, та встановлено, що антипірени мають ефект уповільнення горіння в газовій фазі і конденсованої фазі під термічного руйнування композиту, однак не сказано про водостійкість даної композиції.

Вплив неорганічних наповнювачів на вогнезахисне покриття на водній основі проведено в роботі [105]. Результати показують, що комбінація покриття з наповнювачем CaCO_3 значно поліпшила протипожежні характеристики через утворений шар пінококсу і рівноважної температури, рівної 264°C . Шар вугілля показав однорідну щільну структуру піни на мікрофотографії, і цей склад мав адгезійну міцність 2,13 МПа, що вказує на ефективність адгезії до підкладки. І навпаки, комбінація покриття з $\text{Al}(\text{OH})_3$ показала найвищий кисневий індекс,

рівний 35%, що призвело до стійкості до займання. Однак механізм спучення покриття при цьому не вказаний та не виявлені умови експлуатації покриття.

У роботі запропоновано математичну модель та методику чисельного дослідження кінетики стану тепло і вологості капілярно-пористого тіла, побудованого на одночасному рівнянні рішення теплопровідності та передачі вологи [106]. Однак дані дослідження притаманні для неорганічного матеріалу і віднести їх для деревини неможливо.

Таким чином, з літературних джерел встановлено, що вогнезахисні покриття здатні вимиватися з поверхні деревини при експлуатації та не визначені параметри, які забезпечують стійкість до втрати деревиною вогнезахисту, а також що впливає на цей процес. Мізерність математичних моделей для пояснення і опису процесу вимивання антипіренів, нехтування застосуванням органічних речовин для гальмування їх виходу призводить до загорання дерев'яних конструкцій під дією полум'я. Тому встановлення протидії вимивання антипіренів з вогнезахисної деревини і впливу компонентів на цей процес, і обумовило необхідність проведення досліджень у даному напрямку.

1.5. Висновки до розділу 1

1. Наведено аналіз структури та властивостей деревини, що дозволив визначити основні переваги та недоліки виробів з деревини. Визначено, що найбільш небезпечною властивістю деревини є її здатність займатись в тому числі від малокалорійних джерел займання, а саме здатність утворювати пожежне навантаження у будівлях і спорудах та вимагає проведення заходів щодо вогнезахисного оброблення.

2. Оглянуто основні способи і засоби для вогнезахисту деревини та встановлено їх основні недоліки та переваги. Встановлено, що найбільш ефективними засобами вогнезахисту деревини є органо-неорганічні антипірени на фосфорно-амонійній основі визначені їх переваги, а саме: низька димоутворювана здатність та токсичність продуктів горіння а також супротив розповсюдження полум'я поверхнею. Але вони мають ряд недоліків, зокрема вірогідність до

осипання та втрати адгезійних властивостей до деревини і потребують їх вдосконалення.

3. Виявлено механізм роботи покриттів здатних утворювати тепло ізолювальний піно коксовий шар на поверхні дерев'яної конструкції і встановлено роль речовин, що містяться в складі покриттів на процес спучення. Визначено доцільність застосування в спучуючих покриттях каталізаторів на основі кислот, в якості газоутворювачів – карбамід та в'язучих компонентів на основі природних органічних речовин, які здатні при високотемпературній дії утворювати тепло ізолюючий шар з пінококсу.

4. Встановлено вплив природних в'язучих вуглеводнів в складі вогнезахисного покриття, що здатна до утворення на поверхні деревини захисної плівки, яка при високотемпературній дії утворювати на поверхні захисний піно коксовий шар.

Розділ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕРМІЧНОГО РУЙНУВАННЯ ТА ТЕПЛОМАСОПЕРЕНЕСЕННЯ ВОГНЕЗАХИЩЕНОЇ ДЕРЕВИНИ

У відповідності з розробленою науковою гіпотезою, зниження процесу руйнування будівельних виробів з деревини можна досягти зміною деструктивності деревини шляхом гальмування процесів розкладу, активного горіння, зменшення процесу вигорання при обробленні матеріалів сумішами неорганічних та органічних речовин. Розроблення ефективних заходів проти руйнування будівельних конструкцій в значній мірі залежить від впливу факторів навколишнього середовища (високих температур, впливу вологості) на деревину, яке уможлиблює комплексне вирішення проблеми захисту шляхом розроблення фізичних моделей та застосування методів математичного моделювання.

В розділі 1 показано, що завдяки встановленим співвідношенням органічних та неорганічних стає можливим корегування вмісту компонентів для забезпечення процесу теплостійкості, але показано що не завжди неармовані склади не могли забезпечити ефективний опір полум'я при зміні температури. А тому проходив процес горіння з інтенсивною втратою маси, і для вирішення цього питання потребує розроблення нових підходів.

2.1. Моделювання процесу запалювання деревини при дії високотемпературного потоку.

Загоряння целюлозних матеріалів у більшості випадків супроводжується появою полум'я, в якому відбувається екзотермічна реакція взаємодії газоподібних продуктів піролізу матеріалу з киснем. Аналіз результатів досліджень кінетики процесу термічного розкладу деревини захищеної від вогню [107], показує, що енергія активації збільшується, яка характеризує зниження активності окислювальних процесів, а дослідженнями проведеними

[108] показано, що із вогнезахистом збільшується захисний шар коксу на поверхні деревини, що впливає на вигорання матеріалу.

У загальному вигляді математична модель займання деревини описується системою рівнянь [109]:

$$\left. \begin{aligned} \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} &= \rho \frac{\partial q}{\partial t} + \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\eta}{x} \frac{\partial T}{\partial x} \right) \\ \frac{\partial q}{\partial t} &= k_0 \cdot C_o^\mu \cdot Q \cdot \left(1 - \frac{q}{Q} \right)^\nu \cdot e^{-\frac{E}{RT}} \\ T(x,0) &= T_n; \quad q(x,0) = 0; \\ \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} &= 0; \quad -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=H} = \alpha \cdot (T - T_o), \end{aligned} \right\} \quad (2.1)$$

де ρ – щільність матеріалу, $кг / м^3$;

c_p – теплоємність матеріалу, $Дж / (кг \cdot К)$;

T – температура матеріалу, $К$;

t – час, з моменту надходження матеріалу в сховище, $с$;

q – i частина теплоти реакції окислювання, що витрачає на згорання матеріалу (глибина проникнення реакції), що залежить від швидкості вигорання матеріалу, $Дж / кг$;

λ – теплопровідність матеріалу, $Вт / (м \cdot К)$

x – просторова координата, відлічувана від геометричного центра об'єму матеріалу до поверхні розподілу з навколишнім середовищем, $м$;

η – коефіцієнт форми об'єму насипу: плоскопаралельна ($\eta = 0$), циліндрична ($\eta = 1$), сферична ($\eta = 2$);

k_0 – перед експоненціальний множник реакції окислювання $1 / с$;

C_o – об'ємна частка кисню в навколишнім середовищі;

μ – порядок реакції по кисні

Q – тепловий ефект реакції окислювання $Дж / кг$;

ν – порядок реакції;

E – енергія активації $Дж / моль$;

R – універсальна газова постійна, $R = 8,314 Дж / (моль \cdot К)$;

T_H – початкова температура матеріалу, K ;
 L – характерний лінійний розмір об'єму матеріалу, m ;
 α – коефіцієнт теплообміну між поверхнею матеріалу й навколишнім середовищем $W/(m^2 \cdot K)$;
 T_0 – температура навколишнього середовища K .

Для вирішення системи (2.1) введемо безрозмірні змінні і параметри:

$$\theta = E(T - T_0)/(R \cdot T_s^2), \quad \xi = \frac{x}{x^*}, \quad \tau = \frac{t}{t^*}, \quad A = E(T_s - T_0)/(R \cdot T_s^2), \quad \varepsilon = e^{-A}, \quad (2.2)$$

$$\text{де } x^* = \frac{1}{\sqrt{\frac{Q \cdot E \cdot k_0}{\lambda \cdot R \cdot T_s^2} \cdot e^{-\frac{E}{R \cdot T_s}}}}, \quad t^* = \frac{c\rho \cdot R T_s^2 \cdot e^{\frac{E}{R \cdot T_s}}}{Q \cdot E \cdot k_0}.$$

Тоді система (2.1) набуває наступного типу з початковими і граничними умовами:

при $0 < \xi < \infty, 0 < \tau < \infty$,

$$\frac{\partial \Theta}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 \Theta}{\partial \xi^2} + \varepsilon \cdot (e^\Theta - 1) = 0, \quad (2.3)$$

з граничними умовами:

$$\Theta|_{\xi=0} = A = \text{const}, \quad \Theta|_{\xi=\infty} = 0, \quad \Theta|_{\tau=0} = 0, \quad (2.4)$$

Використовуючи метод [110] можна (2.3) представити як прогрів на пів обмеженої області з перемінними фізичними параметрами:

$$\left[\frac{\partial}{\partial t} - \alpha(x, t) \frac{\partial^2}{\partial x^2} - \beta(x, t) \frac{\partial}{\partial x} + \gamma(x, t) \right] T = 0, \quad (2.5)$$

і приймаючи значення:

$$\alpha = 1, \quad \beta = 0, \quad \gamma = -\varepsilon(e^\Theta - 1)/\Theta, \quad (2.6)$$

І зв'язок безрозмірної температури $\Theta_s = A$ і її похідної $q_s = \Theta_s' \Big|_{\xi=0}$, біля поверхні рішення системи (2.3) наведено у вигляді ряду по степені параметра ε :

$$q_s(\tau) = \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon^n \cdot q_n(\tau), \quad (2.7)$$

Найдені рекурентні співвідношення, послідовно визначаючи значення q_n у виді рівняння [111]:

$$q_s = -\frac{A}{\sqrt{\pi \cdot \tau}} + \frac{\sqrt{\pi \cdot \tau}}{A} + \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\sqrt{\pi \cdot \tau}}{A} \right)^3 + \left(\frac{\sqrt{\pi \cdot \tau}}{A} \right)^5 \right]. \quad (2.8)$$

Звідки, використовуючи перетворення [112] знаходимо час займання за умови $q_s = 0$:

$$\tau = 0,2068 \cdot A^2. \quad (2.9)$$

Звідки час займання деревини становитиме:

$$t = \frac{c\rho \cdot RT_s^2}{Q \cdot E \cdot k_0} e^{\frac{E}{RT_s}} \cdot \tau. \quad (2.10)$$

В результаті проведених досліджень [113] встановлено, що температура розкладу деревини починається за температури понад 220÷235 °С. Енергія активації при розкладу деревини становить близько 44,230кДж/моль [113].

Застосування вогнезахисту на основі спучуючого покриття призводить до утворення тепло ізолюючого шару піно коксу за температури нижчій від температури розкладу деревини, а значення енергії активації відповідає значенню 21,87кДж/моль як зауважує [114].

Розрахована за рівнянням (2.10) час займання деревини при дії теплового потоку в 20 кВт/м^2 становитиме 233 с, натомість для деревини захищеної від вогню за рахунок утворення тепло ізолюючого шару піно коксу час займання зміщується у великі часові терміни.

Визначено характеристики параметрів займання та пригнічення горіння, що дозволяють одержувати зміну динаміки горіння при розкладі вогнезахисного покриття. При цьому встановлено зміщення процесу займання зразків деревини у більш часові терміни.

2.2. Моделювання процесу теплопровідності стінки деревини при спучуванні вогнезахисного покриття

В результаті оброблення деревини вогнезахисними покриттями під дією теплового потоку змінюється напрямлення розкладу захисного матеріалу в сторону утворення негорючих газів і важко займистого коксового залишку. Саме він в значній мірі здатний поглинати тепло та знизити теплопередачу до матеріалу.

З урахуванням вищенаведеного постає питання щодо дослідження теплофізичних властивостей шару піно коксу під час дії тепла.

Необхідно зазначити, що визначення теплофізичних характеристик шару піно коксу пов'язано з рядом перешкод, а саме з необхідністю виміру температури в шарі піно коксу, який змінюється з часом.

З метою встановлення теплофізичних характеристик стінки деревини захищеної від вогню запропоновано метод вирішення задачі теплопровідності для двохшарової пластини з різними теплофізичними властивостями. В початковий момент часу до лівої грані поверхні зразка деревини захищеної від вогню підводиться постійний по часу тепловий потік q_0 . Тобто зразок миттєво нагрівається до температури, яка підтримується постійною протягом всього процесу нагрівання. Крім того, розподілення температури проходить через покриття до досягнення критичної температури стінки. Права грань зразка адіабатизована ($q=0$).

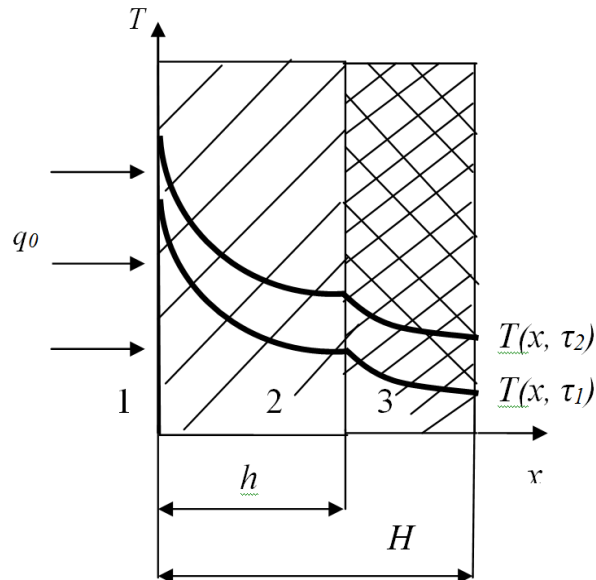


Рис. 2.1. Схема процесу спучування покриття захищеної від вогню деревини 1 – зовнішнє середовище; 2 – шар піно коксу; 3 – вихідний матеріал

Розглядались три області (рис. 3):

- 1 – зовнішнє середовище, $x < 0$;
- 2 – зона спученого шару піно коксу, $0 < x \leq h$ (h – координата перетворення плівки покриття у спучений шар піно коксу, м);
- 3 – деревина (матеріал зразка з твердою речовиною покриття) ($H - h$), м.

Диференціальні рівняння переносу тепла на поверхні двохшарової пластини мають вигляд:

– для покриття

$$\frac{\partial^2 T_2(x, \tau)}{\partial x^2} - \frac{1}{\varphi_2^2} \frac{\partial T_2(x, \tau)}{\partial \tau} = 0 \quad (\tau > 0; 0 < x < h), \quad (2.11)$$

– для деревини

$$\frac{\partial^2 T_3(x, \tau)}{\partial x^2} - \frac{1}{\varphi_3^2} \frac{\partial T_3(x, \tau)}{\partial \tau} = 0 \quad (\tau > 0; h < x < H), \quad (2.12)$$

з початковими та граничними умовами

$$T_2(x,0) = T_3(x,0) = T_0, \quad (2.13)$$

$$\lambda_2 \frac{\partial T_2(x, \tau)}{\partial x} = q_0 = \text{const}, \quad (2.14)$$

$$T_2(R, \tau) = T_3(R, \tau), \quad (2.15)$$

$$\lambda_2 \frac{\partial T_2(R, \tau)}{\partial x} = \lambda_3 \frac{\partial T_3(R, \tau)}{\partial x}, \quad (2.16)$$

$$\lambda_3 \frac{\partial T_3(x, \tau)}{\partial x} = 0, \quad (2.17)$$

де $T_2(x, \tau)$, $T_3(x, \tau)$ – температурне поле спученого шару піно коксу покриття і деревини в точках з координатами x в момент часу τ ;

$$\varphi = \sqrt{a}; \quad a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho};$$

a_2, a_3 – коефіцієнти температуропровідності покриття та деревини;

λ_2, λ_3 – коефіцієнти теплопровідності покриття та деревини;

$h, H-h$ – товщина покриття та деревини.

Після математичних перетворень точне аналітичне рішення прямої кураєвої задачі теплопровідності (2.11) – (2.17) можна отримати за умови, що температурне поле $T_3(x, \tau)$ для деревини в кожний момент часу τ можна знайти. При цьому температурне поле $T_2(x, \tau)$ досліджуваного покриття може бути приведено у вигляді [115]:

$$T_2(x, \tau) - T_2(0, \tau) = -\frac{q_0}{\lambda_2} \cdot x + \frac{\beta(\tau)}{2\varphi_2} \cdot x^2. \quad (2.18)$$

За даними [116] швидкість зміни в часі температури деревини залежить від величини теплового потоку q_0 , геометричних розмірів h , $(H - h)$ і об'ємних теплоємностей покриття $c_2\rho_2$ і деревини $c_3\rho_3$:

$$\beta(\tau) = \frac{\partial T_3(h, \tau)}{\partial \tau} = \frac{q_0}{[c_2\rho_2 \cdot h + c_3\rho_3 \cdot (H - h)]}, \quad (2.19)$$

де $\beta(\tau)$ – швидкість зміни в часі температури деревини.

Крім того швидкість зміни температури деревини можна представити за експериментальними даними:

$$\beta(\tau) = \frac{\partial T_3(x, \tau)}{\partial \tau} = \frac{T_3(h, \tau_2) - T_3(h, \tau_1)}{\tau_2 - \tau_1}, \quad (2.20)$$

Прирівнюючи (2.19) і (2.20), отримуємо розрахунок для визначення об'ємної теплоємності піно коксу покриття

$$c_2\rho_2 = \frac{1}{h} \left[\frac{q_0(\tau_2 - \tau_1)}{T_3(h, \tau_2) - T_3(h, \tau_1)} - c_3\rho_3(H - h) \right]. \quad (2.21)$$

Визначення теплофізичних характеристик для необробленої деревини проводили за методикою, яку наведено в [117].

За даною методикою отримані наступні дані.

Коефіцієнт теплової активності виробу з деревини:

$$b = \frac{2q \cdot \sqrt{\tau}}{\sqrt{\pi} \cdot (T(0, \tau) - T_0)}. \quad (2.22)$$

Як видно з залежності (2.22) максимальне значення коефіцієнта теплової активності можливе при значенні $x=0$, тобто при найбільшому значенні температури нагрівального пристрою.

Для того щоб у кожному експерименті кількість тепла було однаковим, необхідно забезпечити, щоб опір електрообігрівача, напруга, що подається на цей нагрівач і тривалість імпульсу були постійними. Густина теплового потоку нагрівача відповідно дорівнює:

$$q = \frac{U^2}{R \cdot 2S} = \frac{P}{2S}, \quad (2.23)$$

де R , U , S – величини опору, напруги і площі контакту нагрівача.

Коефіцієнт температуропровідності визначається за часом запізнювання, тобто часу, протягом якого температура в перетині пластини стане такою ж, як температура нагрівача в момент часу τ_1 . Для різних моментів часу τ_1 і τ_2 за умов $\tau_2 > \tau_1$ можна написати, як рівність:

$$\frac{2 \cdot q \cdot \varphi \cdot \sqrt{\tau_1}}{\lambda \cdot \sqrt{\pi}} = \frac{2 \cdot q \cdot \varphi \cdot \sqrt{\tau_2}}{\lambda} \operatorname{ierfc} \frac{x}{2\varphi \cdot \sqrt{\tau_2}}. \quad (2.24)$$

Після перетворень отримуємо залежність:

$$\frac{\sqrt{\tau_1}}{\sqrt{\tau_2} \cdot \sqrt{\pi}} = \operatorname{ierfc} \frac{x}{2\varphi \cdot \sqrt{\tau_2}}. \quad (2.25)$$

Значення лівої частини визначають з формули (2.25), в яку входять аналітичні величини. Використовуючи таблицю, знаходять відповідне значення

B , що є аргументом функції $ierfc$, значення якого дозволяє з правої частини (2.25) отримати формулу для розрахунку коефіцієнта теплопровідності:

$$a = \frac{1}{4 \cdot \tau_2} \left(\frac{x}{B} \right)^2, \quad (2.26)$$

оскільки $\varphi = \sqrt{a}$.

Коефіцієнт теплопровідності виробу з деревини знаходять за рівнянням:

$$\lambda = b \cdot \sqrt{a}. \quad (2.27)$$

Відповідно питому теплоємність виробу з деревини знаходять зі співвідношення:

$$c = \frac{\lambda}{a \cdot \rho}, \quad (2.28)$$

де ρ – густина виробу з деревини, кг/м^3 .

За результатами вимірної температури розраховані теплофізичні характеристики виробів з сухостійної деревини сосни (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Теплофізичні характеристики виробів з деревини сосни

Назва матеріалу	Товщина, мм	Маса, г	Розрахункові характеристики виробів з деревини				
			Густина ρ , кг/м^3	Теплова активність, $\text{Вт} \cdot \text{с}^{1/2}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	Температуропровідність, $\text{м}^2/\text{с}$	Теплопровідність λ , $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	Теплоємність, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$
Деревина 120×300 мм	6	89,6	414,8	340,3	$18 \cdot 10^{-6}$	0,308	2,38

Дослідження показали, що такого температурного впливу зразок деревини показав теплофізичні властивості, що наближаються до звичайної деревини сосни.

Якщо підставити $x=0$ і $x=h$ в залежність (2.18) то отримаємо рівняння:

$$T_2(0, \tau) = T_2(0, \tau), \quad (2.29)$$

$$T_2(h, \tau) = T_2(0, \tau) - \frac{q_0}{\lambda_2} \cdot h + \frac{\beta(\tau)}{2\varphi_2} \cdot h^2. \quad (2.30)$$

З урахуванням [116] на підставі $\varphi = \sqrt{a}$ з (10) можна отримати формулу для розрахунку теплопровідності деревини:

$$a = \frac{(H - h)^2}{2(\tau_2 - \tau_1)}. \quad (2.31)$$

За виміряними експериментальними значеннями перепад температур ΔT досліджуваного шару піно коксу буде становити:

$$T_2(h, \tau) - T_2(0, \tau) = \frac{q_0 \cdot h}{\lambda_2} - \frac{\beta(\tau) \cdot h^2}{2\lambda_2} \cdot c_2 \rho_2. \quad (2.32)$$

Звідки слідує залежність коефіцієнта теплопровідності:

$$\lambda_2 = \frac{q_0 \cdot h - 0,5\beta(\tau) \cdot h^2 \cdot c_2 \rho_2}{T_2(h, \tau) - T_2(0, \tau)}. \quad (2.33)$$

За отриманою залежністю (2.33) розраховуємо теплопровідність піно коксу покриття за різницею температур і швидкості її зміни (2.20), геометричних розмірів і об'ємної теплоємності піно коксу (2.21).

За отриманими під час випробувань даними температурних вимірювань, з використанням отриманих залежностей (11) і (16), розраховано теплофізичні властивості піно коксу. Так, об'ємна теплоємність шару піно коксу становила $17,114 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$, а коефіцієнт теплопровідності склав $0,36 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ відповідно.

Таким чином, отримані розрахункові залежності, що дозволяють одержувати значення теплопровідності піно коксу деревини захищеної від вогню при спучуванні вогнезахисного покриття. Разом з тим, вони надають можливість безпосередньо розрахувати переміщення теплопровідності залежно від дії температури.

2.3. Моделювання процесу вимивання органо-неорганічних речовин вогнезахисного покриття деревини через поліуретанову оболонку.

Механізм вимивання захисного покриття з деревини у період експлуатації є таким: при зволоженні деревини антипірени захисних речовин розчиняються і поступово переміщуються на поверхню деревини, де їхня концентрація з часом зменшується (рис. 2.2). Наявність полімерної оболонки на поверхні зрива уповільнює процес вимивання.

Розглядаються чотири області:

- 1 – зовнішнє середовище, $x < 0$;
- 2 – полімерна оболонка товщиною δ , мм, $0 \leq x \leq \delta$;
- 3 – частина покриття з розчиненою речовиною, $\delta < x \leq Z(\tau)$ (Z – координата розчинення, м);
- 4 – матеріал покриття з твердою речовиною, $\delta \leq x \leq \delta + R$ (R – товщина вогнезахисного покриття, м).

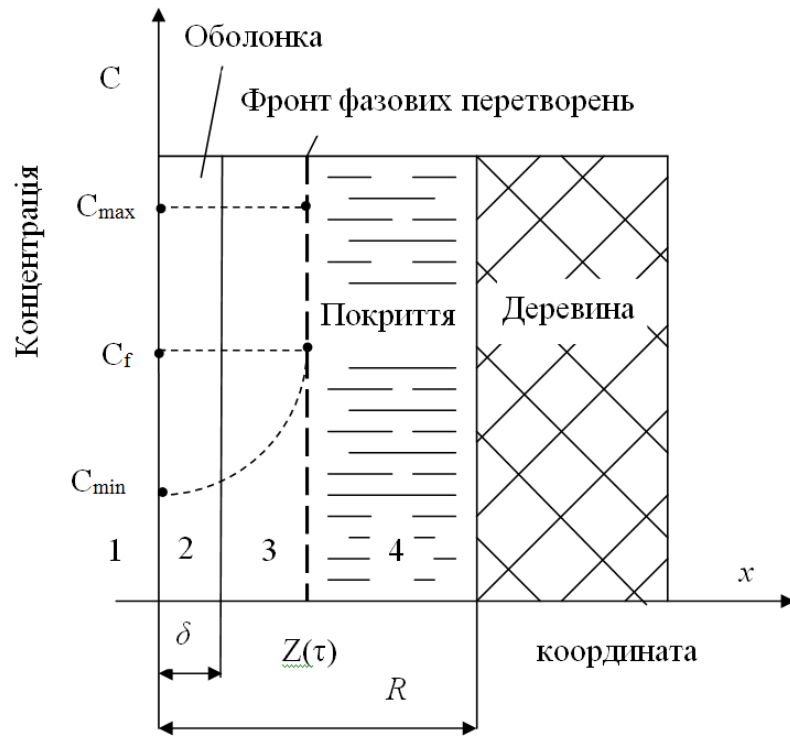


Рис. 2.2. Розрахунково-аналітична схема процесу вимивання захисного покриття з деревини

Диференціальне рівняння дифузії, що описує процес вимивання, має такий вигляд [116]:

$$\frac{\partial^2 C_i}{\partial x^2} = \frac{1}{\varphi_i^2} \frac{\partial C_i}{\partial \tau}, \quad (2.34)$$

де C – концентрація речовини в i -й області, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$$\varphi_i = \sqrt{D_i};$$

D_i – коефіцієнт дифузії речовини в i -й області, $\text{м}^2/\text{с}$;

τ – час перебування зразка у вологому середовищі, с.

Початкові й граничні умови:

при $x < \delta$, $\tau = 0$

$$C_1(x,0) = C_{\min}, \quad Z(0)=0, \quad (2.35)$$

при $x > \delta$

$$C_3(x,0) = C_{\max}. \quad (2.36)$$

На межі полімерної плівки і навколишнього середовища задається гранична умова третього роду:

$$\varphi^2 \frac{\partial C_2}{\partial x} \Big|_{x=0} = \beta(C_2 - C_1) \Big|_{x=0}, \quad (2.37)$$

де β – коефіцієнт масообміну між поверхнею плівки покриття і навколишнім середовищем, м/с.

При розчиненні покриття і дифузії компонентів захисного покриття, задаються граничні умови четвертого роду:

при $x > \delta, \tau > 0$

на межі розподілу

$$C_2(\delta, \tau) = C_3(\delta, \tau). \quad (2.38)$$

на фронті розчинення покриття

$$C_3[Z(\tau), \tau] = C_4[Z(\tau), \tau] = C_f. \quad (2.39)$$

Розв'язок рівняння (2.34) представляється в інтегральному вигляді або нескінченними рядами, що вимагає проведення значної кількості обчислень, а тому було застосовано числові методи аналізу. Для цього було введено безрозмірні змінні:

$$\bar{x} = \frac{x}{R}; Fo = \frac{\varphi^2 \cdot \tau}{\bar{x}^2}; Z = \frac{Z}{R}; \bar{C} = \frac{C}{C_{\max}}, \quad (2.40)$$

де Fo – дифузійне число Фур'є; R – товщина покриття, мм.

Для одномірної задачі маємо наступну розрахункову залежність [109]:

$$\bar{C}_{i,n+1} = (1 - 2\Delta Fo)\bar{C}_{i,n} + \Delta Fo(\bar{C}_{i-1,n} + \bar{C}_{i+1,n}) \quad (2.41)$$

Розрахункова сітка представлена вузлами по простору $i = 0 \dots 100$, які отримано шляхом умовного поділу зразка перерізами із кроком $\Delta \bar{x}$ і на тимчасові шари n із кроком ΔFo за умови

$$\beta = \Delta Fo / \Delta \bar{x}^2 = 1/6, \quad (2.42)$$

що забезпечує стійкість явної схеми при розрахунку, то з рівняння (2.41) отримуємо:

$$\bar{C}_i^{n+1} = \frac{1}{6}(\bar{C}_{i+1}^n + 4\bar{C}_i^n + \bar{C}_{i-1}^n). \quad (2.43)$$

Розрахункова схема для залежності (2.43) представлена рис. 2.3.

У результаті застосування наведеної схеми рівняння (2.34) перетворюється на комплекс рівнянь, а сіткові значення стають функціями сіткових значень чисел Фур'є:

$$F = \frac{\Delta Fo}{\Delta \bar{x}^2}, \quad (2.44)$$

а на границі полімерної плівки і навколишнього середовища – Нусельта:

$$N = \frac{\varphi_2^2}{\beta \cdot \Delta x}. \quad (2.45)$$

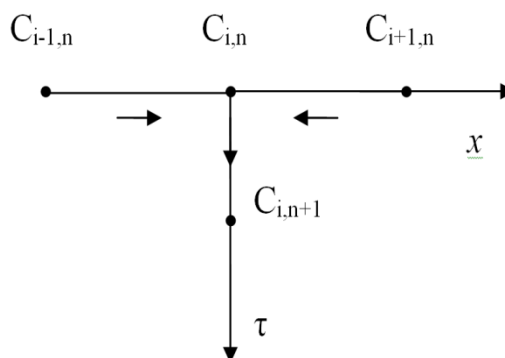


Рис. 2.3. Схема розрахунку концентрації

У разі застосування полімерного покриття вміст антипірену на поверхні полімерної оболонки було прийнято рівним 1 % від його початкового вмісту в деревині при $F=0,0001$ і $N=0,0001$. Таке значення антипірену задавалось попередньо для розрахунку, оскільки пов'язано з методикою виготовлення зразків, а саме за несення антипірену в поліуретанову оболонку при обробленні деревини. Результати розрахунку динаміки вимивання антипірену за рівнянням (2.43) наведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Розподіл концентрації антипірену в шарах вогнезахисного покриття при застосуванні полімерної оболонки отриманої за рівнянням (2.43)

Перетин зразка	Ітерації									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
На поверхні зразка	0,08	0,1	0,11	0,09	0,06	0,036	0,011	0,0	0,0	0,00
На межі поділу полімерної оболонки і покриття	0,115	0,117	0,131	0,148	0,163	0,175	0,185	0,193	0,201	0,209
На глибині $\frac{1}{4}$ товщини покриття	0,991	0,950	0,899	0,856	0,822	0,795	0,775	0,762	0,754	0,749
На глибині $\frac{1}{2}$ товщини покриття	1,000	0,999	0,998	0,995	0,989	0,983	0,976	0,971	0,966	0,960

На рис. 2.4. показано залежності значення концентрації антипірену в об'ємі зразка зі зміною товщини полімерної оболонки.

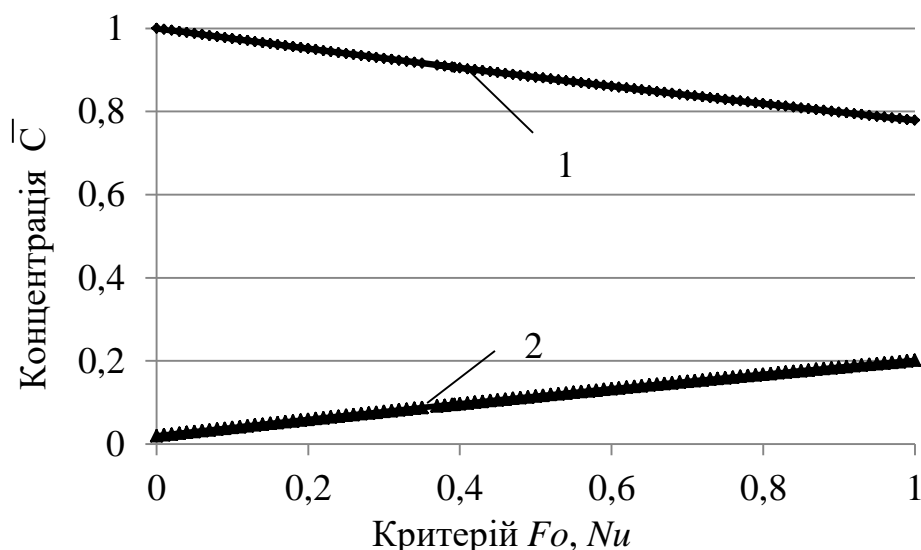


Рис. 2.4. Зміна концентрації захисної речовини \bar{C} в деревині залежно від Fo (1) та Nu (2)

Як видно з рис. 2.4., значення концентрації при впливі води зменшується в часі, оскільки критерій Fo представляє собою безрозмірний час нестационарного процесу вимивання антипіренів. При цьому критерій Nu збільшився, оскільки характеризує міру співвідношення швидкостей масо переносу за рахунок віддачі концентрації до між фазної поверхні, тобто оболонки. Тому можна спрогнозувати, що поліуретанова оболонка, за розрахованих параметрів табл. 2.1, не зруйнувалася. При руйнуванні захисної оболонки потоки вимивання (Fo) і потоки гальмування (Nu) збігаються [118].

Таким чином, запропонована математична модель і метод її числової реалізації дають можливість визначати параметри процесу вимивання антипіренів з деревини через полімерну оболонку в оточуюче водне середовище. Ця модель описує зазначені процеси залежно від фізико-хімічних властивостей композиції, її первісного розподілу в обробленій деревині, а також від умов навколишнього середовища.

2.4. Висновки до розділу 2

1. Проведено моделювання процесу займання зразка деревини та встановлено параметри часу запалювання, що дає можливість впливати на цей процес. Доведено, що займання деревини полягає у створенні на поверхні деревини шару, який нагрівається до критичної температури, коли починається інтенсивний розклад матеріалу з виділенням необхідної кількості горючих газів та їх займання. Визначено характеристики параметрів займання та пригнічення горіння, що дозволяють одержувати зміну динаміки горіння при розкладі вогнезахисного покриття. Розраховано час займання деревини при дії теплового потоку в 20 кВт/м^2 , що становить близько 233 с, натомість для захищеної від вогню деревини за рахунок утворення тепло ізолюючого шару піно коксу час займання зміщується у великі часові терміни. Завдяки цьому стає можливим визначення впливу вогнезахисту та властивостей захисних композицій на процес гальмування швидкості термічного розкладу деревини.

2. Проведено моделювання процесу передавання тепла деревиною при її захисту покриттям, визначено коефіцієнт теплопровідності та отримані залежності, що дозволяють одержувати зміну динаміки теплопередачі при спучуванні покриття. За отриманими залежностями розраховано коефіцієнт теплопровідності деревини, за рахунок утворення тепло ізолювального шару піно коксу, і становить відповідно $0,36 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. Встановлено особливості гальмування процесу передавання тепла до матеріалу, що оброблений органо-неорганічним покриттям який полягає в утворенні на поверхні деревини теплозахисного шару коксу. Так, на поверхні зразка була створена температура, що значно перевищила температуру займання деревини, а на не обігрівній поверхні не перевищила температуру займання ($180 \text{ }^\circ\text{C}$).

3. Розроблена математична модель вимивання антипіренів, при застосуванні полімерної оболонки з органічного матеріалу в якості покриття, що дозволяє оцінити ефективність полімерної оболонки за кількістю вимитого антипірену. За теоретичними залежностями розраховано динаміку виходу антипіренів з шару покриття, що не перевищує $1,0 \%$, та відповідно забезпечує

вогнезахист деревини. Таким чином, є підстави стверджувати про можливість спрямованого регулювання процесів вогнезахисту деревини шляхом застосування полімерних покриттів, здатних утворювати на поверхні захищеної від вогню деревини захисний шар, який гальмує швидкість вимивання антипіренів.

4. За розрахунковою схемою досліджено динаміку виходу водорозчинних антипіренів з шару деревини захищеної від вогню при застосуванні поліуретанової оболонки. Визначено вплив оболонки на стійкість до дії води та отримані критеріальні співвідношення, що дозволяють одержувати зміну антипіренів на поверхні деревини, тобто значення концентрації вимитих антипіренів при впливі води в часі, що характеризується критерієм F_0 . При цьому обґрунтовано критерій Nu , який характеризує масо перенос за рахунок віддачі концентрації до між фазної поверхні, тобто оболонки, що утримує антипірен. Розраховано динаміку виходу антипіренів з вогнезахищеного шару покриття, що не перевищує 3,0 % та підтверджується експериментально і відповідно забезпечує вогнезахист деревини

Розділ 3

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ І ХАРАКТЕРИСТИКА СИРОВИННИХ МАТЕРІАЛІВ

Деревина та вироби з неї знаходять широке застосування у будівництві та побуті і складають значний відсоток пожежного навантаження. За пожежними та будівельними нормами і правилами ці матеріали класифікуються як матеріали підвищеної горючості, легкозаймисті, значно поширюють полум'я, з високою димоутворювальною здатністю. Одним з методів підвищення рівня пожежної безпеки об'єктів, де використовуються будівельні конструкції з деревини, є застосування їх вогнезахисного оброблення. Оскільки, окремі вогнезахисні засоби на органічній основі разом із зниженням горючості при дії високої температури підвищують димоутворювальну здатність та виділяють токсичні продукти горіння. Тому дослідження, що направлені на визначення пожеже небезпечних показників нових вогнезахисних композицій, встановлення кількості компонентів покриття на гальмування процесу горіння, є актуальними [119]. Найбільш ефективними на сьогодні є покриття, що здатні утворювати шар спіненого піно коксу, який ізолює горючий матеріал від впливу високої температури здатної призвести до займання деревини та проникнення кисню. Для цього необхідно використати вихідну сировину, з яких формується покриття та встановити його властивості, а також підвищити термічну та механічну стійкість піно коксу.

3.1. Вихідні сировинні матеріали

Вогнезахисні спучуючі покриття являють собою досить складні багатокомпонентні системи, оскільки до їх складу входять три основні компоненти: каталізатор коксоутворення, коксоутворюючий і спінуючі агенти. В якості каталізатора, як правило, виступають фосфоровмісні з'єднання, наприклад, фосфорна кислота. Вміст кислоти у композиції в багатьох рецептурах пояснюється його участю в утворенні коксової структури. В якості сировини для

утворення вуглецевого каркасу спіненого шару, як правило, використовують полі спирти, а в якості порофору - органічні аміни або амід, що виділяють при підвищених температурах негорючі газу – діоксид вуглецю, азот, аміак, які і спінюють систему. Найбільш популярними в сучасних рецептурах, що спучуються з полі спиртів є крохмаль, декстрин і пентаеритрит, а з амінів - меламін і карбамід. Для виконання звичайних захисно-декоративних функцій і для тривалого збереження вогнезахисних характеристик в процесі експлуатації в якості плівко утворювачів при виготовленні вогнезахисних композицій, що спучуються, найчастіше використовуються термопластичні полімери, а саме водно-дисперсійні в'язучі.

У вихідному стані вогнезахисні композиції являють собою прозору плівку. Коли вогнезахисне покриття піддається нагріву, починається серія хімічних реакцій: покриття розкладається і виділяє фосфорну кислоту, яка викликає дегідратацію крохмалю або декстрину з утворенням сажі, карбамід розкладається, виділяючи негорючі газу, які змушують сажу пінитися, тим самим утворюючи спучену структуру, що є високоефективною теплоізоляцією.

Для отримання орґано-неорґанічної композицій використовували в якості в'язучої речовини – орґофосфорну кислоту [120], оксиетилідендіфосфонова кислота (ОЕДФ) [121], карбамід [122], діціандіамід [123], вода, орґанічного полімеру – крохмаль. В якості затверджуючого агенту покриття – диціандіамід. Їх характеристика наведена в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Характеристика основних орґанічних компонентів

Компоненти	Хімічна формула	Температура плавлення, °С	Розчинність в воді при 25 °С г/100 мл	Густина, г/см ³
орґофосфорна кислота	H_3PO_4	42,35	80	1,87
оксиетилідендіфосфонова кислота	$\text{CH}_3\text{C}(\text{OH})(\text{H}_2\text{PO}_3)_2$	198-200	60,5	1,27
карбамід	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	132,7	57,2	1,32
диціандіамід	$\text{C}_2\text{P}_4\text{N}_4$	209	10	1,405
крахмаль	$(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$	-	слабо	1,5

Крохмаль ($C_6H_{10}O_5$)_n - суміш полісахаридів амілози і амілопектину, мономером яких є альфа-глюкоза. Крохмаль, який синтезується різними рослинами в хлоропластах (під дією світла при фотосинтезі) дещо відрізняється по структурі зерен, ступеня полімеризації молекул, будовою полімерних ланцюгів і фізико-хімічними властивостями [124].

У гарячій воді набухає (розчиняється), утворюючи колоїдний розчин - клейстер. У воді, при додаванні кислот (розбавлена H_3PO_4 і ін.) Як каталізатора, поступово гідролізується зі зменшенням молекулярної маси, з утворенням декстринів.

При дії ферментів або нагріванні з кислотами піддається гідролізу:

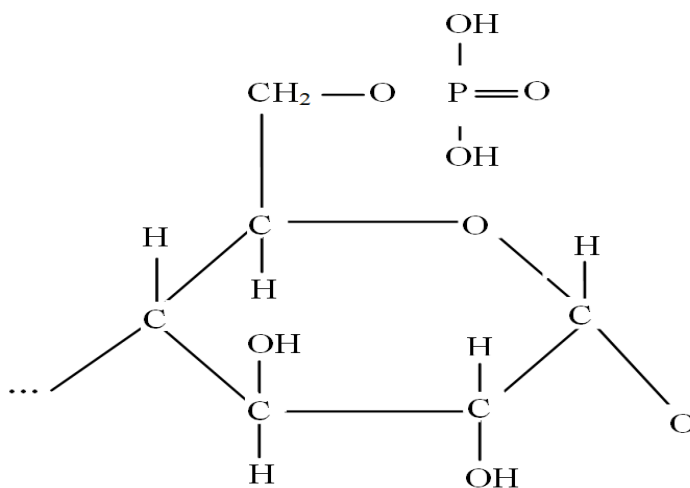
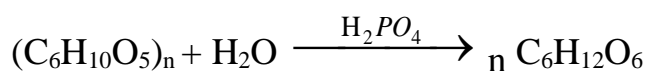


Рис. 3.1. Гідролізований крохмаль

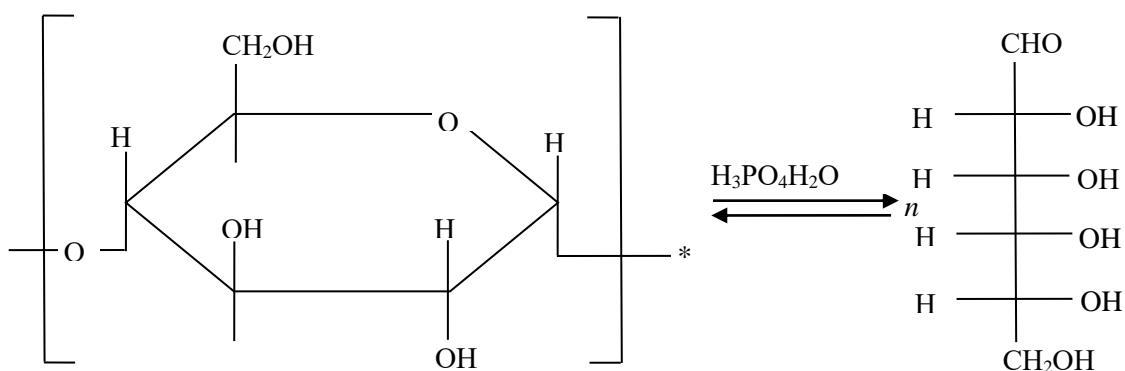
Розрізняють монокрахмалофосфати - ефіри, де одна гідроксильна група глюкозного залишку крохмалю етерифікування однією з кислотних груп залишку фосфорної кислоти або її солей, і дікрахмалофосфати, в яких гідроксили глюкозних залишків різних ланцюгів вступили у взаємодію з двома кислотними групами фосфорної кислоти або її солей. При введенні в полімери двох фосфорнокислотних заступників можуть утворюватися просторові структури («зшиті крохмалі»).

Монокрахмалофосфати отримують нагріванням крохмалю з водорозчинними фосфатами, солями орто- або пірофосфорної кислоти і іншими похідними фосфору. Для приготування дікрахмалофосфатів використовують тріметафосфат натрію, хлороксид фосфору, хлорид фосфору (У) або тіохлорид фосфору. При цьому в продуктах реакції крім дікрахмалофосфату можуть міститися моно- і трикрахмалофосфати.

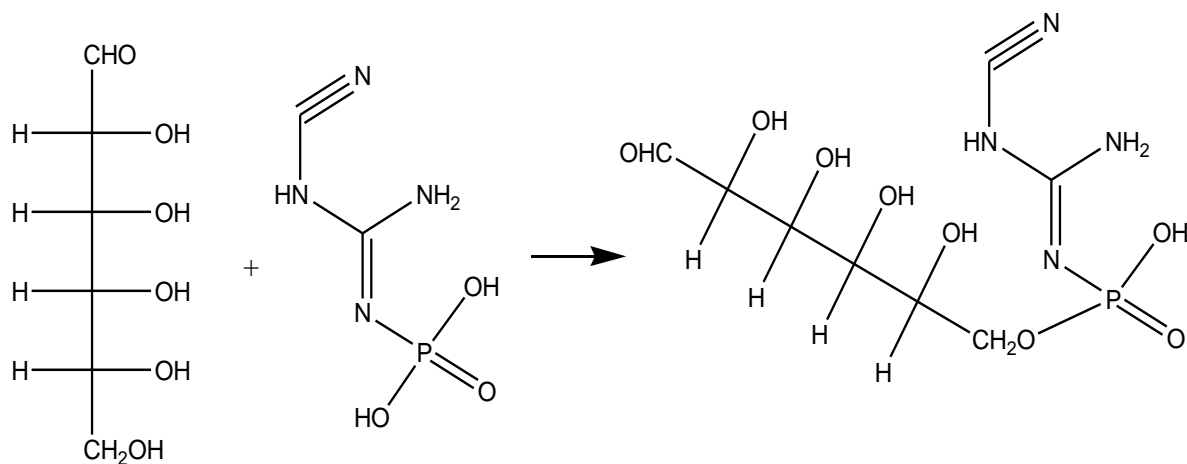
З монокрахмалофосфатів готують стабільні клейстер, що відрізняються підвищеною прозорістю і стійкістю до заморожування-відтавання. Дікрахмалофосфати також утворюють стабільні клейстер, стійкі до нагрівання і механічної дії. Ці клейстер майже непрозорі і мають короткокапельну консистенцію.

Стадії отримання вогнезахисного покриття проводили з наступних стадій:

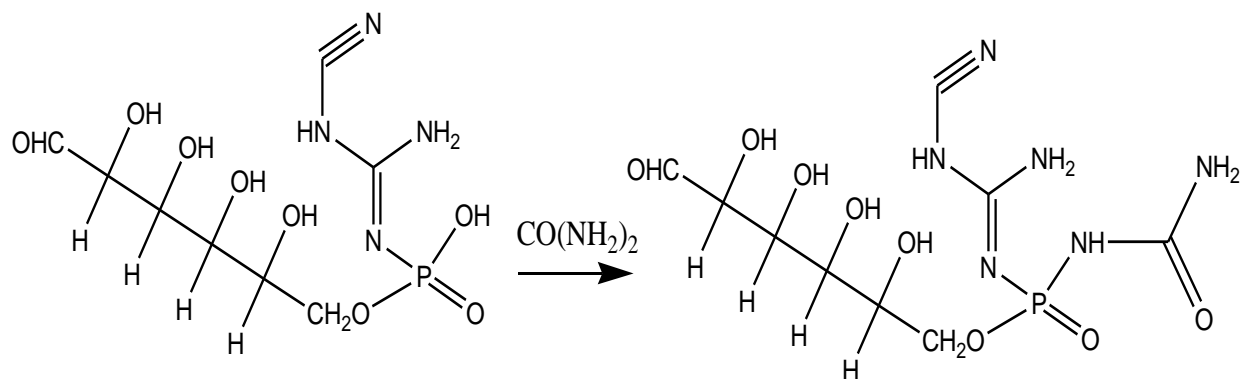
1) Гідроліз крохмалю і взаємодія з похідним фосфорної кислоти.



2) Додавання діціандіаміду.



3) Взаємодія з карбамідом



4) додавання оксиетиліденді-фосфоновой кислоти і інтенсивне перемішування.

Експериментальні зразки покриттів готували на основі суміші органічних та органічних речовин, що складається з 15% Крахмаль, 5 % Оксиетиліденді-фосфорова кислота, 4% Діциандіамід, 20% Ортофосфорна кислота, 28% Карбамід і 80% Вода, і наносили пензлем на зразки деревини середніми розмірами товщиною 310x140x6 мм з витратою 260,2 г/м² для визначення вогнестійких властивостей. Аналогічно готували зразки і для визначення групи горючості деревини захищеної від вогню.

Для визначення вогнестійких властивостей та для встановлення ефективності вогнезахисту при дії рідкого та твердого пального наносили на модельні зразки дерев'яних конструкцій, виготовлених із дощок деревини сосни товщиною дошки 19 мм, середніми розмірами 190×155 мм і висотою 140 мм.

3.2. Методи дослідження сировинних матеріалів деревини захищеної від вогню

У результаті аналізу стану експлуатації деревини у будівельних конструкціях встановлено, що найбільш гострою є проблема запобігання термічного руйнування та експлуатаційної надійності деревини захищеної від вогню (водопоглинення, корозійної дії), окрім того деякі вогнезахисні засоби здатні знижувати параметри горючості деревини, однак підвищують

димоутворення та поширення полум'я по поверхні та знижують атмосферостійкість виробів. Тому, складність процесів у системі тепло масообміну деревини з навколишнім середовищем зумовлює розмаїття підходів до методів визначення експлуатаційної надійності, а створення надійних покриттів залежить від впливу факторів навколишнього середовища (вологості, впливу високих температур), яке уможлиблює комплексне вирішення проблеми шляхом проведення комплексу експериментальних досліджень, фізичних моделей та застосування методів математичного моделювання [125-127].

При розробленні і формуванні вогнезахисного покриття використані методи дослідження спучувальної здатності, фізико-механічних, теплофізичних властивостей, вогнестійкості при дії відкритого вогню і теплового потоку радіаційної панелі, а також методів статистичної обробки і оптимізації результатів експерименту.

В зв'язку з тим, що відсутня стандартна методика для встановлення здатності спучуючого покриття до змінних температуро вологісних полів, виникла необхідність розробки такої методики, що дозволяє оцінити гідрофобну здатність покриття в часі.

3.2.1. Методика оцінки індексу горючості деревини обробленої покриттям на основі суміші органічних та органічних речовин

Виникнення горіння, наприклад деревини, відбувається внаслідок нагрівання до температури виділення летких продуктів горіння, які у разі наявності джерела запалювання здатні до займання і самостійного підтримування горіння. Застосування вогнезахисту змінює розклад компонентів під дією температури, гальмуванням процесів окиснення в газовій і конденсованій фазі.

Тому у способі визначення параметрів займання та поширення полум'я теплоізоляційних будівельних матеріалів, що включає вплив на зразок теплового потоку електричної радіаційної панелі і запалюванні зразка пальником. Додатково визначається тепловий коефіцієнт установки, вимірюється

максимальна температура продуктів горіння та час її досягнення, час займання та проходження фронтом полум'я ділянок поверхні, довжину згорілої частини зразка. Та за отриманими даними розраховується величина безрозмірного індексу горючості за коефіцієнтом I :

$$I = \sqrt{\frac{q \cdot Q}{W} \cdot \frac{\Delta T_{\max}}{\Delta T_{\text{но}}} \cdot \frac{\tau_{\max} - \tau_0}{\tau_0} \cdot \left[1 + \frac{60 \cdot l_{\Gamma}}{l} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{1}{\tau_i} \right]}, \quad (3.1)$$

де q – питома теплота згоряння газу пропан (23630), кДж·л⁻¹; Q – витрата газу запального пальника (0,001), л·с⁻¹; W – потужність електричної радіаційної панелі, 0,5 кВт; ΔT_{\max} – максимального приросту температури димових газів:

$$\Delta T_{\max} = T_{\max} - T_0,$$

де T_0 – температура навколишнього середовища, °С; T_{\max} – максимальна температура димових газів, °С; $\Delta T_{\text{но}}$ – максимального приросту температури нагрівального обладнання:

$$\Delta T_{\text{но}} = T_1 - T_0,$$

де T_0 – температура навколишнього середовища, °С; T_1 – температура вихідного повітря при роботі нагрівального обладнання, °С; τ_0 – час займання зразка, с; τ_{\max} – час досягнення максимальної температури димових газів, с; τ_i – час проходження фронтом полум'я контрольних ділянок, с; l – довжина зразка, мм; l_{Γ} – довжина пошкодження зразка, мм.

Як видно з рис. 3.2, випробувальна камера для визначення займання та поширення полум'я складається з радіаційної панелі з запальним пристроєм та утримувача зразка встановленого напроти. У витяжну труби вмонтовано термопару, якою вимірюють температуру димових газів. Радіаційна панель малої потужності забезпечує щільність теплового потоку в стаціонарному режимі для першої контрольної точки (32±3) кВт/м², що дозволяє отримувати температуру 250±10 °С на поверхні випробувального зразка на відстані 50±5 мм і імітує

малокалорійне джерело займання, яке здатне запалити органічний матеріал. Радіаційна панель разом з запальним пристроєм розташовуються напроти середини нижньої частини зразка в камері, яку виготовлено з високотемпературного теплоізоляційного матеріалу для зниження теплообміну з навколишнім середовищем.

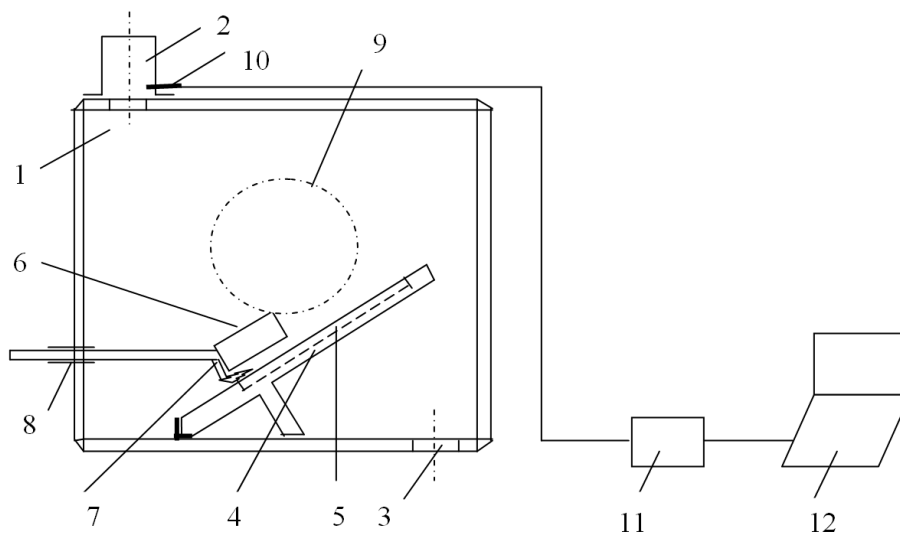


Рис. 3.2 Випробувальна камера для визначення показників займання та розповсюдження полум'я: 1 – випробувальна камера, 2 – витяжна труба, 3 – вентиляційний отвір, 4 – тримач зразка, 5 – зразок, 6 – радіаційна панель, 7 – запалювальний пристрій, 8 – регулювальна труба, 9 – оглядове скло, 10 – термопара, 11 – аналого-цифровий перетворювач, 12 – комп'ютер

Дослідження за приведеним способом здійснюють таким чином. Включають аналого-цифровий перетворювач 11, прилад для реєстрації температури 12, запалюють газовий пальник 7 і регулюють витрата газу так, щоб висота язичків полум'я становила (10 ± 2) мм. Включають електричну радіаційну панель 6 і визначають початкову температуру вихідній трубі камери за допомогою термопари 10. Підготовлений до випробувань зразок матеріалу 5 встановлюють в тримач 4, фіксують затискачем та підводять до радіаційної панелі 6. Під час проведення випробувань термопарою 10 вимірюють температуру у витяжній трубі та через оглядове скло 9 за допомогою розмітки тримача зразка вимірюють максимальну температуру димових газів та час її

досягнення. У процесі випробування визначають також час займання зразка, час від початку випробування до моменту проходження фронтом полум'я нульової позначки, час проходження фронтом полум'я i -ї ділянки поверхні зразка, відстань, на яку поширився фронт полум'я.

Випробування триває до моменту припинення поширення полум'я по поверхні зразка або при досягненні 600 с у разі відсутності займання зразка.

Для дослідження механізму захисту зразків, оброблених вогнезахисним покриттям, необхідно провести випробування, які за способом близькі до тих, що проводяться в пожежо-технічних лабораторіях.

3.2.2. Методи оцінки стійкості до термічної деструкції деревини захищеної від вогню

Для підтвердження даних досліджень проводився відповідний термогравіметричний аналіз, який показує залежність втрати маси для даних композицій. Метод ТГА [128] заснований на визначенні втрати маси деревини в процесі піролізу зі швидкістю, що визначено змінюється у часі. В цьому процесі відбувається видалення газоподібних продуктів або низькомолекулярних летких з'єднань із залишків зразка. Вимірювання проводяться шляхом постійного зважування зразка в процесі його розкладання при постійній (ізотермічний ТГА) або при підвищеній температурах із заданою швидкістю (динамічний ТГА) (рис. 3.3).

Температура, за якої спостерігається 5 %-ва втрата маси, приймається як характеристика термостійкості.

ТГА проводять на стандартному приладі – дериватограф системи «Paulik, Paulik, Erdey» фірми «МОМ», Угорщина.

Блоком програмного керування дериватографа визначають основні параметри роботи апарата:

Швидкість зростання температури – 5 град/хв.

Максимальна температура нагріву 800 °С.

Результати термічного аналізу зразка реєструються на діаграмному папері самописця у вигляді кривих. Конструкція приладу дозволяє вести зміни втрати маси зразка за постійної температури та її лінійному зростанні. Одночасно з автоматичним записом кривих зміни температури, за якої велось дослідження втрати маси зразка, можуть записуватись диференційні криві втрати маси (ТГА) та криві диференційного термічного аналізу (ДТА), на яких фіксується екзо- та ендотермічні ефекти процесів розкладання зразків [129]. Комплексний термічний аналіз зразків забезпечує надійну інтерпретацію процесів деструкції.

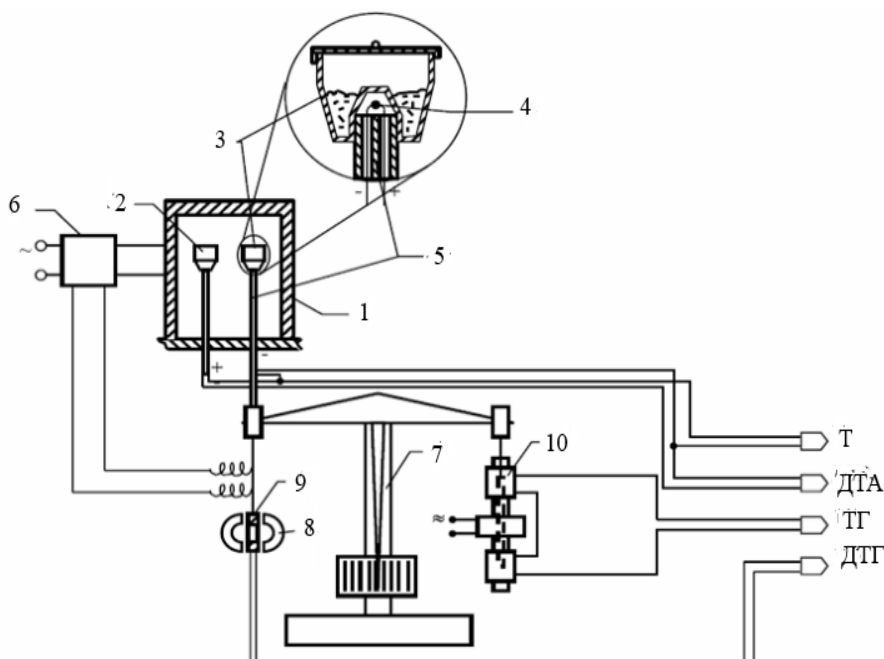


Рис. 3.3. Схема дериватографа: 1 – піч; 2 – тримач для інертного речовини; 3 – тримач проби; 4 – термопара; 5 – керамічна трубка; 6 – регулятор нагріву; 7 – ваги; 8 – магніт; 9 – котушка; 10 – диференційний трансформатор перетворення ТГ.

Отримані термогравіметричні показники дають можливість визначити швидкість термічного розкладу матеріалу за заданої температури і, відповідно, показати якісну оцінку теплових ефектів, провести термодеструкцію матеріалу і визначити газовий склад продуктів його піролізу. Після цього визначити енергію активації термоокислювальної деструкції покриттів.

Для одержання газоподібних продуктів термічної деструкції розроблено і виготовлено спеціальне обладнання на базі трубчатої електричної печі з терморегулятором [130]. Установа дає можливість підтримувати температуру до 800 °С з точністю ± 10 °С. За наведеною методикою були проведені дослідження та зібрані леткі продукти піролізу.

Якісний і кількісний склад цих сумішей визначали газохроматографічним методом з використанням газового хроматограф газувий “Цвет-500М”, виробництва дослідного підприємства “Хроматограф” [131].



Рис. 3.4 Хроматограф газувий “Цвет-500М”.

Газова хроматографія з масо селективним детектором, який оснащено автосемплером autoinjector 7683b: колонкою HP-5 length 30 m, ID 0.32 mm, film 0.25 μm . Введення проби – авто, ділення потоку 1:10 ($v=1 \mu\text{kl}$).

Піроліз здійснюється в трубчатій печі при нагріванні від 40 °С до 800 °С. Вловлювання у скляний газозбірник, заповнений насиченим розчином хлориду натрію. Для випробувань готують не менше 5 зразків масою 100 г. Зразки

кондиціонують в лабораторних умовах, після зважують з похибкою не більше 0,1 г.

3.2.3 Методи оцінки пожежної небезпеки деревини захищеної від вогню

Дослідження з визначення ефективності вогнезахисту деревини, групи горючості деревини, індексу поширення полум'я та димоутворення, обробленої покриттям проводили згідно з [132, 133].

Визначення групи важкогорючої деревини полягає у впливі на зразок, що розташований в установці, полум'я пальника або радіаційної панелі із заданими параметрами [134].

Під час проведення експериментальних досліджень з визначення групи горючості фіксується максимальний приріст температури газоподібних продуктів горіння (Δt) та втрата маси зразка (Δm).

Випробування з визначення групи горючості будівельних матеріалів проводились згідно з [134].

Даний метод полягає у визначенні опірності зразків після термічної дії у вогневій камері за наступними параметрами: температура димових газів, ступінь пошкодження за довжиною, ступінь пошкодження за масою, тривалість самостійного горіння.

Будівельні матеріали в залежності від значень параметрів горючості, підрозділяють на чотири групи горючості Г1, Г2, Г3, Г4 у відповідності з табл. 3.2. Матеріали необхідно відносити до певної групи горючості за умови відповідності всіх значень параметрів, що установлені табл. 3.2.

Випробування з визначення групи поширення полум'я по поверхневим шарам визначали за методикою [135], суть якої полягає у визначенні критичної поверхневої густини теплового потоку при заданих стандартних рівнях на поверхню зразка променистого теплового потоку від джерела запалювання протягом 600 с. При цьому фіксується довжина поширення полум'я.

Класифікація горючих будівельних матеріалів

Групи горючості матеріалів	Параметри горючості			
	Температура димових газів	Ступінь пошкодження за довжиною	Ступінь пошкодження за масою	Тривалість самостійного горіння
Г1	< 135	< 65	< 20	0
Г2	< 235	< 85	< 50	< 30
Г3	< 250	> 85	< 80	< 60
Г4	> 250	> 85	> 80	> 60

Випробування з визначення групи поширення полум'я по поверхневим шарам визначали за методикою [135], суть якої полягає у визначенні критичної поверхневої густини теплового потоку при заданих стандартних рівнях на поверхню зразка променистого теплового потоку від джерела запалювання протягом 600 с. При цьому фіксується довжина поширення полум'я. За результатами випробувань горючі будівельні матеріали залежно від значення критичної поверхневої густини теплового потоку поділяються на три групи (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Класифікація горючих будівельних матеріалів за групою поширення полум'я

Група поширення полум'я	Критична поверхнева щільність теплового потоку, кВт/м ²	Довжина поширення полум'я згідно з графіком розподілення поверхневої щільності теплового потоку, мм
РП1	11,0 і більше	менше 105
РП2	від 8,0 але менше 11,0	від 105 до 255
РП3	від 5,0 але менше 8,0	від 256 до 410
РП4	менше 5,0	більше 410

При визначенні коефіцієнта димоутворення визначають оптичну провідність утворених димових газів [134]. Суть методу експериментального визначення коефіцієнта димоутворення твердих речовин та матеріалів полягає у визначенні оптичної густини диму, який утворюється при полум'яному горінні або тлінні зразка твердого матеріалу певної кількості. Випробування зразків

проводять у двох режимах. У режимі тління на зразок діє тільки тепловий потік густиною $(35 \pm 3,5)$ кВт/м², а у режимі полум'яного горіння – тепловий потік та полум'я газowego пального.

Коефіцієнт димоутворення (D_m) в м²/кг визначається за формулою:

$$D_m = \frac{V}{L \cdot m} \ln \frac{T_0}{T_{\min}}, \quad (3.2)$$

де V - об'єм камери вимірювання, $V = (0,664 \pm 0,004)$ м³;

L - шлях проходження променя світла у диму, $L = (0,800 \pm 0,002)$ м;

m - маса зразка, кг;

T_0, T_{\min} - відповідно значення початкового та кінцевого світло-пропускання, %.

У залежності від одержаного коефіцієнта димоутворення розрізняють:

- з малою димоутворювальною здатністю – більше 50 м²/кг;
- з помірною димоутворювальною здатністю – більше 50 м²/кг до 500 м²/кг включно;
- з високою димоутворювальною здатністю – коефіцієнт димоутворення більше 500 м²/кг.

Визначення теплоти згорання деревини проводили згідно з [136].

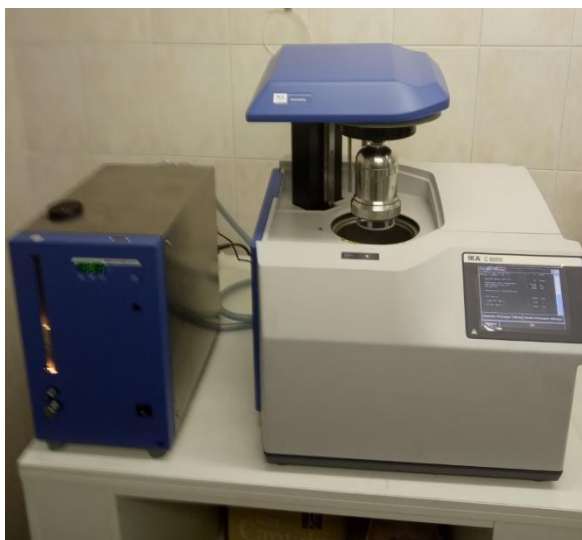


Рис. 4.8. Колориметр ІКС 6000 Isoperibol

Визначення теплоти згорання полягає в тому, що під час випробувань аналітичну пробу певної маси спалюють за стандартизованих умов у постійному об'ємі, в атмосфері кисню, у бомбовому калориметрі, а теплоту згорання, яку визначають за цих умов, обчислюють за даними підвищення температури, з урахуванням теплових втрат і прихованої теплоти пароутворення води.

3.2.4. Методи оцінки експлуатаційної стійкості захищеної від вогню деревини покриттям на основі суміші органічних та органічних речовин

Оцінка ступеня гідрофобізації матеріалів при якому зразок матеріалу закріплюють у випробувальному пристрої та піддають впливу статичного шару води протягом певного часу патенти [137,138]. Критерієм оцінки водостійкості використовується характер поведінки зразка при дії статичного шару води: визначення приросту зразка після експозиції його поверхні водою, питоме водопоглинення зразка, і по вимірних величинам оцінюють ступінь гідрофобізації.

Тому у способі визначення ефективності гідрофобізації захищених від вогню целюлозовмісних матеріалів, який включає визначення ефективності гідрофобізації за відношенням водопоглинення необробленого і обробленого зразків і розраховують через кількість поглинутої води під час випробування, при цьому з метою підвищення точності, додатково вимірюють час проходження води на зворотній поверхні кожного зразка необробленого та обробленого матеріалу, а характеристики після випробування на гідрофобність покриття визначають по коефіцієнту:

$$K_e = 10 \left(1 - \frac{\tau_{в.з.}}{\tau_{зв.з.}} \cdot \frac{V_{зв.з.}}{V_{в.з.}} \right), \quad (3.3)$$

де $\tau_{зв.з.}$ – час водо проникнення захищеного від вогню гідрофобізованого зразка;

$\tau_{в.з.}$ – час водо проникнення захищеного від вогню зразка.

$V_{зв.з.}$ – кількість поглинутої води захищеним від вогню гідрофобізованим зразком, кг;

$u_{в.з.}$ – кількість поглинутої води захищеним від вогню зразком, кг.

У випробувальну установку (рис. 3.4.), закріплюють захищений від вогню зразок целюлозо вмісного матеріалу 1 розміром 65 x 65 мм, товщиною до 1,5 мм, необроблений та який оброблено, наприклад, гідрофобізовальним складом, між гумовими прокладками 2 і 3 та герметизують за допомогою фланців 4 і 5, у фторопластовій трубці 6 діаметром 24 мм заливають воду у кількості 200 мл. З нижньої частині пристрою встановлена фторопластова пластина 7, яка з однієї сторони зафіксована кільцем 8, а інша стикається двома електродами 9 до зворотна частина зразка 1, які з'єднані з реєструючим пристроєм 10.

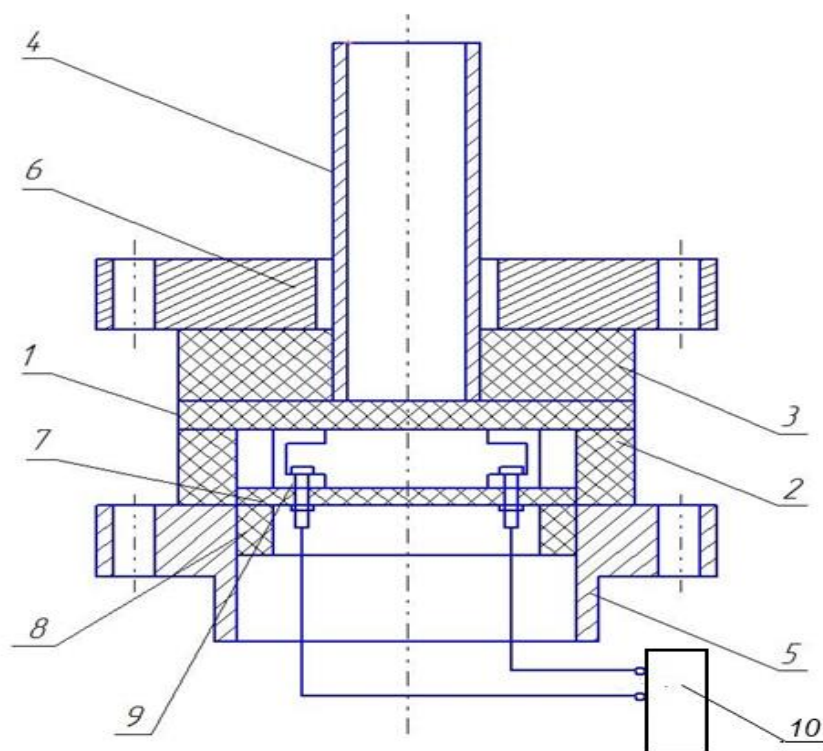


Рис. 3.4. Пристрій для визначення гідрофобності захищених від вогню целюлозовмісних матеріалів: 1 – випробувальний зразок, 2, 3 – гумові прокладки, 4 – фторопластова труба, 5, 6 – фланці, 7 – фторопластова пластина, 8 – кільце, 9 – електроди, 10 – реєструючий пристрій.

Під час проведення випробувань реєструють час проходження води на зворотній поверхні текстильного матеріалу, яку оцінюють замкненням електричного ланцюга з фіксацією на пристрої.

З метою визначення корозійної дії деревини захищеної від вогню на метал проводились випробування згідно з п. 5.12 ГОСТ 30219-95 [139].

Метод полягає у визначенні втрати маси металевих зразків при дії обробленої деревини при визначених повітряно-вологісних умовах протягом заданого часу.

Після закінчення випробування визначають швидкість корозії V_k (г/(м²·година) за формулою:

$$V_k = \frac{m_0 - m_1}{S \cdot \tau}, \quad (3.4)$$

де: m_1 – початкова маса металевої пластини до випробування, г;

m_2 – маса металевої пластини після випробування та видалення продуктів корозії, г;

S – площа поверхні металевої пластини, яка знаходилась у контакті з агресивним середовищем, м²;

τ – час проведення дослідження, години.

Для визначення характеру та вимірювання швидкості корозії під час корозійних випробувань, користувались наступними методами:

- контроль зовнішнього вигляду металу (спостереження за виникненням та розвитком осередків корозії, потемненням);
- визначення втрати маси на одиницю поверхні (в разі видалення продуктів корозії з поверхні).

Визначення корозійної дії на пластини з металів покриття деревини проводять методом визначення питомої швидкості втрати маси пластин у разі їх накладання на висушені, попередньо покриті захисними засобами, зразки деревини. До кожного зразка на бокову поверхню розміром 150 × 60 мм приєднують по дві пластини та щільно притискаються за допомогою гумових кілець (рис. 3.5).

Підготовлені зразки поміщають в ексикатори з відносною вологістю повітря 100 % та витримують за кімнатної температури протягом 30 діб (рис. 3.6). Після закінчення цього терміну металеві пластини відділяють від дерев'яних зразків і видаляють продукти корозії, промивають водою, висушують та зважують.

Підготовлені зразки поміщають в ексикатори з відносною вологістю повітря 100 % та витримують за кімнатної температури протягом 30 діб (рис. 3.5.). Після закінчення цього терміну металеві пластини відділяють від дерев'яних зразків і видаляють продукти корозії, промивають водою, висушують та зважують.

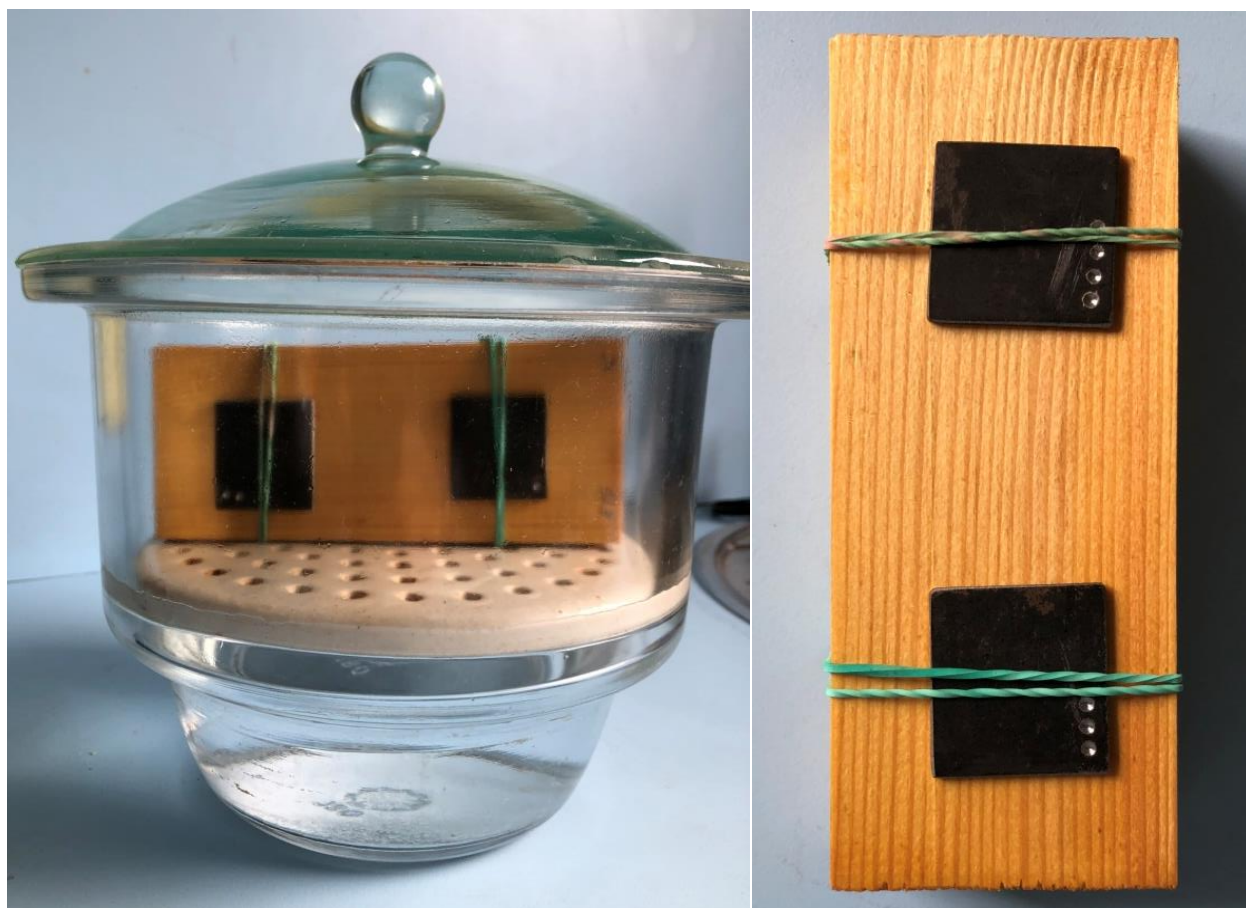
*a**б*

Рис. 3.5. Зображення методу корозійного випробування: б – зразок деревини захищеної від вогню з закріпленими металевими пластинами; а – зразок поміщений в ексикатор.

Для визначення гігроскопічності обробленої деревини випробування проводились згідно з п. 5.16 ГОСТ 30219-95 [139].

Метод ґрунтується на визначенні відношення маси води, що поглинається захищеним зразком до маси зразка.

Здатність захищеної від вогню гідрофобізованої деревини до поглинання води визначають, як масову частку води, що поглинається, B , у відсотках за формулою:

$$B = \frac{m_2 - m_1}{m_2} \cdot 100 \% , \quad (3.5)$$

де m_1 – маса зразка до поглинання води, г;

m_2 – маса зразка після поглинання, г.

Оброблена деревина забезпечує гігроскопічність, якщо поглинання води не перевищує 30 %.

Метод визначення ефективності закріплення вогнезахисного спученого покриття полягає у моделюванні процесів дифузії вогнезахисних засобів штучним шляхом та визначенні зміни оціночних показників до і після прискореної дифузії антипірену з деревини (Додаток А).

Визначають вогнезахисні властивості зразків деревини, що пройшли прискорену дифузію антипірену з деревини.

Критерієм визначення терміну захисної дії є відповідність значення показника вогнезахисної ефективності, отриманого по закінченню усіх циклів випробувань, значенню, яке отримане на першому циклі випробувань, при збереженні експлуатаційних властивостей захищеної від вогню деревини .

3.3 Оптимізація компонентів вогнезахисного покриття під час оброблення деревини

Для підвищення ефективності процесу досліджень вогнезахисту деревини, яка отримується шляхом застосування органо-неорганічного покриття, було використано плани [140, 141], так званого, екстремального планування, які розробляються для визначення оптимальних умов перебігу процесів в об'єктах досліджень.

Оптимізацію складу захисних покриттів виконували за допомогою двох факторного три рівневого методу планування експерименту [140].

Використання методів математичного планування експерименту, що істотно підвищують ефективність досліджень, обумовлює їхню універсальність, застосовність у більшості областей досліджень. Ціль дослідження складних систем, до яких відноситься і розглянута нами система, є встановлення залежності між вхідними параметрами (факторами) і вихідними параметрами (показниками якості функціонування системи) і визначення рівня факторів, що оптимізуються вихідним параметрам.

Одна з основних задач планування експерименту полягає в розташуванні експериментальних точок у відведеній для досліджень області факторного простору деяким оптимальним значенням. Унаслідок взаємної суперечливості ряду критеріїв у загальному випадку не вдається будувати плани, що задовольняють одночасно всім критеріям, і тому приходиться обмежуватися побудовою планів, що відповідають окремим з них. Виходячи з важливості концепції *d*-оптимальності (*d*-оптимальним планом відповідає інформаційна матриця $m = 1/n \times x^t x$ з найбільшим визначником на всій можливій безлічі планів. *D*-оптимальний план мінімізує узагальнену дисперсію об'єму еліпсоїда розсіювання оцінок коефіцієнтів регресії), пропонується серед безлічі планів, що відповідають обраному критерію, найбільш близький до *d*-оптимального, чи перевіряти, наскільки значення визначника інформаційної матриці близько до оптимального значення.

Побудувавши план експерименту, приступають до його реалізації. Знання помилки відтворюваності необхідно для аналізу даних експерименту. Відтворюваність звичайно оцінюють за результатами рівнобіжних дослідів, проведених або на основних рівнях, або в якій-небудь точці плану. Дисперсія відтворюваності, що характеризує помилку дослідів, визначається по формулі

$$s^2\{y\} = \frac{\sum_{j=1}^{r_v} (y_{vj} - \bar{y}_v)^2}{r_v - 1}, \quad (3.6)$$

де $\bar{y}_v = \frac{\sum_{j=1}^{r_v} y_{vj}}{r_v}$ - середнє арифметичне значень параметрів оптимізації в v -й точці плану; $f = (r_v - 1)$ – число ступенів волі, рівне кількості дослідів мінус одиниця.

Тоді для помилки дослідів одержимо

$$s\{y\} = \sqrt{s^2\{y\}} \quad (3.7)$$

Вимога однорідності дисперсій є одним з вимог регресійного аналізу, і тому перевірка однорідності дисперсій варто приділяти належну увагу.

Для порівняння двох дисперсій застосовується f -критерій (критерій Фишера), що представляє відношення більшої дисперсії до меншого. Якщо порівнювана кількість дисперсій більше двох і одна дисперсія значно перевищує інші, можна скористатися критерієм Кохрена. Відповідно до критерію Кохрена, застосовному лише у випадку однакового числа рівнобіжних дослідів у всіх точках плану, утворюють відношення максимальної дисперсії до суми всіх дисперсій

$$G = \frac{s_{\max}^2\{y\}}{\sum_{u=1}^N s_u^2\{y\}} \quad (3.8)$$

У випадку однорідності дисперсій у всіх n точках плану дисперсію всього експерименту визначають по формулі

$$s^2\{y\} = \frac{\sum_{u=1}^N f_u s_u^2\{y\}}{\sum_{u=1}^N f_u}, \quad (3.9)$$

Де $f_u = r_u - 1$ – число ступенів волі в u -м досліді, а $s_u^2\{y\}$ - дисперсія, що характеризує помилку експерименту в u -й точці.

Якщо кількість рівнобіжних спостережень у всіх n точках плану однаково і дорівнює r , то дисперсію відтворюваності визначають по формулі

$$s^2\{y\} = \frac{\sum_{u=1}^N \sum_{j=1}^r (y_{uj} - \bar{y}_u)^2}{N(r-1)} \quad (3.10)$$

Реалізувавши експеримент і обчисливши середні значення відгуків для кожної точки плану, можна перевірити, чи значима відмінність друг від друга

\bar{y}_{\max} і \bar{y}_{\min} . Значимість двох середніх можна перевірити за допомогою *t*-критерію (критерію Стьюдента) по формулі

$$t_p = \frac{(\bar{y}_{\max} - \bar{y}_{\min})}{s^2\{y\} \sqrt{\frac{1}{r_{\max}} + \frac{1}{r_{\min}}}} \quad (3.11)$$

Обробку експериментальних даних проводять, як правило, по методу найменших квадратів – ефективному і простому способу одержання оцінок коефіцієнтів регресії.

Рівняння регресії, отримане на підставі результатів *n* досвідів, запишеться в такий спосіб

$$\hat{y} = b_0 + b_1 x_1 + \dots + b_k x_k, \quad (3.12)$$

Де \hat{y} - значення виходу, передвіщене рівнянням (3.6) для ряду вхідних умов.

Відповідно до методу найменших квадратів знаходяться такі значення оцінок b_i величин \tilde{b}_i , що мінімізують суму квадратів відхилень ε_u дослідних точок від величин, передвіщених регресійним рівнянням (3.12), тобто мінімізацію функції

$$G = \sum_{u=1}^N \varepsilon_u^2 = \sum_{u=1}^N (y_u - \sum_{i=0}^k b_i x_{i_u})^2. \quad (3.13)$$

Для перевірки адекватності моделі вивчається різниця між експериментальним значенням і значенням відгуку, отриманим по рівнянню регресії в деяких точках факторного простору. Різниця між спостереженим у точці *w* значенням функції y_w і передвіщеним значенням \hat{y}_w

$$\Delta w = y_w - \hat{y}_w \quad (3.14)$$

Є нормальною випадковою величиною з дисперсією, рівної

$$\sigma_1^2 = \sigma^2\{y\} \left(\frac{1}{r_w} + \sum \frac{[f_d(w)]^2}{r_u} \right). \quad (3.15)$$

Тут r_u – число спостережень у *u*-й експериментальній точці плану, а r_w - число спостережень у точці *w*. Побудована модель буде адекватною, якщо не буде відкинута гіпотеза про те, що математичне чекання цієї випадкової величини дорівнює нулю.

Адекватність може бути перевірена без реалізації досвідів у перевірочних точках по χ^2 чи *f*-критеріями в залежності від того, відома чи ні дисперсія

відтворюваності. Розрахункові значення цих критеріїв при однаковому числі повторних спостережень у всіх точках плану визначаються по формулах:

$$\chi^2 = \frac{r \sum_{u=1}^N (\bar{y}_u - \hat{y}_u)^2}{\sigma^2\{y\}}, \quad (3.16)$$

$$F = \frac{s_{\text{до}}^2}{s^2\{y\}} = \frac{r \sum_{u=1}^N (\bar{y}_u - \hat{y}_u)^2}{f_1} / s^2\{y\}, \quad (3.17)$$

.....

де \bar{y}_u - середнє арифметичне з r рівнобіжних дослідів у u -й точці плану, \hat{y}_u - передвіщене по рівнянню значення в цьому досліді, $f_1 = n - l$ - число ступенів волі, тобто число різних досвідів, результати яких використовуються при підрахунку коефіцієнтів регресії, мінус число обумовлених коефіцієнтів.

Перевірка значимості для кожного коефіцієнта проводиться незалежно і може бути здійснена двома рівноцінними способами – побудовою довірчого інтервалу і по t -критерії. Формула для довірчого інтервалу має наступний вид

$$\Delta b_i = \pm ts\{b_i\}, \quad (3.18)$$

де t – табличне значення критерію Стьюдента при обраному рівні значимості (звичайно 0,05) і числі ступенів волі, по яких визначалася $s^2\{y\}$.

Для повного факторного експерименту довірчі інтервали для всіх коефіцієнтів, у тому числі і для ефектів взаємодії, рівні один одному; вони залежать тільки від помилки досвіду і числа досвідів. Формула для визначення довірчого інтервалу має вид

$$\Delta b_i = \pm t \frac{s\{y\}}{\sqrt{N}}, \quad (3.19)$$

А у випадку наявності r рівнобіжних спостережень у кожній крапці плану

$$\Delta b_i = \pm t \frac{s\{\bar{y}\}}{\sqrt{N}} = \pm t \frac{s\{y\}}{\sqrt{rN}}. \quad (3.20)$$

Виділення істотних перемінних багатокomпонентної системи знижуючи розмірність задачі дозволяє тим самим приступити до більш детального вивчення й оптимізації її властивостей – до пошуку рівнів виділених перемінних, що забезпечують екстремальне значення параметра оптимізації.

На основі використання результатів багатofакторного планування експерименту був запропонований комплексний метод пошуку оптимуму для складних процесів - пошук екстремуму запропонований здійснювати по етапах,

застосовуючи на кожному з них оптимальну стратегію дослідження. Метою першого етапу є досягнення області екстремуму, так названої майже стаціонарної області за мінімальне число дослідів. На другому етапі концентрують експериментальні зусилля, охоплює майже стаціонарну область великим числом дослідів для адекватного її опису й уточнення місцезнаходження екстремуму. Рух до майже стаціонарної області здійснюється по методу крутого сходження і ін.

Запропонований метод крутого сходження є одним з основних методів послідовної крокової оптимізації. Круте сходження – цілеспрямоване крокове "повзання" по поверхні відгуку – забезпечується використанням методу градієнта в сполученні з дробовим факторним експериментом. Факторні плани, використовувані для лінійного опису поверхні відгуку в локальній області, є оптимальними [141], забезпечують оцінку градієнта з мінімальною дисперсією.

Тому що аналітичний вид функції відгуку звичайно заздалегідь невідомий, поверхня відгуку в околиці деякої, досить вилученої від екстремуму точки $x^{(0)}$ апроксимується дотичною гіперплощиною

$$\varphi = \tilde{b}_0 + \tilde{b}_1 x_1 + \tilde{b}_2 x_2 + \dots + \tilde{b}_k x_k, \quad (3.21)$$

Де $\tilde{b}_0 = \varphi_0$ - значення функції відгуку в крапці $x^{(0)}$, а $\tilde{b}_i = \partial\varphi/\partial x_i$ - визначені в точці $x^{(0)}$ нахили гіперплощини в напрямку осей відповідних аргументів x_i .

Нахили оцінюються по методу найменших квадратів за результатами спостережень, проведених відповідно до експериментального плану в околиці розглянутої точки. Якщо при обчислених коефіцієнтах регресії $b_0, b_1, b_2, \dots, b_k$ рівняння гіперплощини

$$\hat{y} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_k x_k \quad (3.22)$$

Добре погодиться з дійсністю, то величини b_i будуть оцінювати нахили \tilde{b}_i гіперплощини φ : $b_i (\partial\hat{y}/\partial x_i) \rightarrow \tilde{b}_i$, тобто зміна у відгуку φ за допомогою одиничної зміни в x_i .

Переміщення області дослідження уздовж напрямку l найбільшого нахилу гіперплощини, обумовленого величиною похідної $\partial\varphi/\partial l$, повинне максимізувати швидкість зміни функції φ . Таким чином, задача максимізації швидкості

наближення до екстремуму зводиться до перебування розташованого на гіперплощині променями l , що виходить з початкової точки $x^{(0)}$ і забезпечується найбільш швидка зміна функції відгуку $(d\varphi/dl)_{\max}$.

Через те, що

$$\frac{d\varphi}{dl} = |\text{grad}\varphi| \cos(l, \text{grad}\varphi), \quad (3.23)$$

Швидкість зміни відгуку буде найбільшою в напрямку $\text{grad}\varphi$

$$\frac{d\varphi}{dl} = |\text{grad}\varphi| = \sqrt{\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial\varphi}{\partial x_2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial\varphi}{\partial x_k}\right)^2}, \quad (3.24)$$

Де $\text{grad}\varphi$ - вектор, утворений сукупністю величин $\partial\varphi/\partial x_i$, визначених у початковій точці $x^{(0)}$:

$$\text{grad}\varphi = \frac{\partial\varphi}{\partial x_1} i_1 + \frac{\partial\varphi}{\partial x_2} i_2 + \dots + \frac{\partial\varphi}{\partial x_k} i_k \quad (i_j (j = 1, 2, \dots, k) - \text{орти}) \quad (3.25)$$

Таким чином, напрямок градієнта збігається з напрямком лінії l найбільшого нахилу гіперплощини. А тому що напрямок градієнта цілком визначається сукупністю величин $\partial\varphi/\partial x_i$, оцінками яких є b_i , те і напрямок крутого сходження цілком визначається коефіцієнтами рівняння гіперплощини (3.22).

Тому був запропонований для оцінювання напрямок градієнта за даними реалізації дворівневих факторних експериментів, що забезпечують оцінку коефіцієнтів регресії з мінімальною дисперсією.

У випадку адекватності лінійного представлення поверхні відгуку коефіцієнт b_0 виявиться дорівнює значенню відгуку y у центрі експерименту. Коефіцієнти b_1 і b_2 рівняння гіперплощини визначають напрямок крутого сходження. Тому що зміні кодуваної перемінної \tilde{x}_i на одну одиницю, відповідно до умови кодування $\tilde{x}_i = (x_i - x_i^{(0)})/p_i$, відповідає зміна натуральної перемінної x_i на p_i одиниць, зміні \tilde{x}_i на b_i одиниць буде відповідати зміна x_i на величину $b_i p_i$. Звідси випливає, що для крокового руху уздовж напрямку крутого сходження l_1 натуральні перемінні x_i (на відміну від кодованих) повинні змінюватися пропорційно $b_i p_i$.

Перевіряючи отримане рівняння гіперплощини (3.22) на адекватність, можна почати рух уздовж лінії крутого сходження. Координати j -ї ($j = 1, 2, \dots, k$) точки крутого сходження визначаються згідно рівняння:

$$x_i^{(j)} = x_i^{(0)} + \frac{b_i p_i}{b_m p_m} j r \quad (i = 1, 2, \dots, k), \quad (3.26)$$

Де p_i – інтервал варіювання i -ї перемінної, а r – довжина кроку уздовж m -ї перемінної. Підставивши отримані координати в рівняння гіперплощини

$$\hat{y} = b_0 + b_1 \frac{x_1 - x_1^{(0)}}{p_1} + b_2 \frac{x_2 - x_2^{(0)}}{p_2} + \dots + b_k \frac{x_k - x_k^{(0)}}{p_k}, \quad (3.27)$$

Отримане заміною кодованих перемінних \tilde{x}_i вихідними x_i , визначають розрахункову величину \hat{y} для кожного кроку j .

Рух уздовж напрямку крутого сходження проводять доти, поки похідна $d\varphi/dl$ уздовж цього напрямку не звернеться в нуль. Відсутність формалізованого алгоритму вибору кроку руху і неможливість регулювання кроку в процесі руху знижує ефективність процедури крутого сходження.

У точці лінії крутого сходження, де відбулося звертання в нуль похідної $d\varphi/dl$, знову визначається напрямок напрямку градієнта шляхом проведення планування експерименту з центром у точці, що дає найкращий відгук. Потім здійснюється рух уздовж нового напрямку до звертання в нуль довільно, узятій по цьому напрямку. Процедура повторюється доти, поки коефіцієнти регресії не стануть порівнянні з помилками їхнього визначення і поки лінійна апроксимація не виявиться неадекватною.

У таблиці 3.4 приведений розрахунок крутого сходження при пошуку екстремуму. Визначення оптимального співвідношення компонентів, при якому досягається мінімальна втрата маси зразків при іспиті на горючість, було проведено шляхом реалізації повного факторного експерименту типу 2^3 за планом Бокса-Уілсона.

Побудові плану першої серії експерименту передував етап неформалізованих рішень, спрямованих на вибір локальної області факторного простору.

Спочатку були оцінені границі областей визначення факторів, виходячи з фізичних і хімічних властивостей компонентів, техніко-економічних розумінь і конкретних умов проведення процесу.

Таблиця 3.4

Розрахунок круглого сходження

Фактори	X_1	X_2	..	X_k
Основний рівень	$x_1^{(0)}$	$x_2^{(0)}$	..	$x_k^{(0)}$
Інтервал варіювання	P_1	P_2	..	P_k
Зміна відгуку на закодовану одиницю	B_1	B_2	..	B_k
Зміна вихідної одиниці	$B_1 p_1$	$B_2 p_2$	..	$B_k p_k$
Зміна відгуку при зміні x_1 на r одиниць	R	$\frac{b_2 p_2}{b_1 p_1} r$	..	$\frac{b_k p_k}{b_1 p_1} r$
Округлення			..	
Крок 1-й	$x_1^{(1)} = x_1^{(0)} + r$	$x_2^{(1)} = x_2^{(0)} + \frac{b_2 p_2}{b_1 p_1} r$	..	$x_k^{(1)} = x_k^{(0)} + \frac{b_k p_k}{b_1 p_1} r$
Крок 2-й	$x_1^{(2)} = x_1^{(0)} + 2r$	$x_2^{(2)} = x_2^{(0)} + \frac{b_2 p_2}{b_1 p_1} 2r$	...	$x_k^{(2)} = x_k^{(0)} + \frac{b_k p_k}{b_1 p_1} 2r$
.....
Крок i -й	$x_1^{(i)} = x_1^{(0)} + ir$	$x_2^{(i)} = x_2^{(0)} + \frac{b_2 p_2}{b_1 p_1} ir$	..	$x_k^{(i)} = x_k^{(0)} + \frac{b_k p_k}{b_1 p_1} ir$

За вихідну була обрана точка, що відповідає найкращим умовам попередніх досліджень, а також визначена з аналізу апріорної інформації. На інтервал варіювання факторів накладені природні обмеження зверху і знизу.

Вибравши основний рівень і інтервал варіювання факторів приступили до побудови плану проведення експерименту. Перший етап планування експерименту з метою одержання лінійної моделі заснований на варіюванні факторів на двох рівнях $x_i^{(e)}$ і $x_i^{(n)}$, симетрично розташованих щодо нульового (основного) рівня $x_i^{(0)}$. Виходячи з того, що кожний фактор приймає два значення $x_i^{(e)} = x_i^{(0)} + p_i$ та $x_i^{(n)} = x_i^{(0)} - p_i$, для спрощення запису умов експерименту й обробки експериментальних даних закодували їх символами $+1$ чи -1 . Перехід від вихідних (натуральних) перемінних x_i до безрозмірним кодованим перемінної \tilde{x}_i , у яких верхньому рівню фактора відповідає символ $+1$, а нижньому -1 , здійснювали по формулі

$$\tilde{x}_i = \frac{x_i - x_i^{(0)}}{p_i} \quad i = (1, 2, \dots, k) \quad (3.28)$$

де x_i - значення натуральної незалежної перемінної,

$x_i^{(0)}$ - нульовий рівень,

$p_i = (x_i^{(e)} - x_i^{(n)})/2$ - інтервал варіювання.

Експериментальні точки з координатами $+1$ і -1 при повному факторному експерименті, у якому реалізуються всі можливі комбінації рівнів факторів (а їх на дворівневому плануванні $n = 2^k$), розташовані у вершинах гіперкуба. Виписуючи комбінації рівнів факторів для кожної експериментальної точки одержали план **d** повного факторного експерименту типу 2^3 , що приведений у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5

План повного факторного експерименту 2^3

Номер досліджу	\tilde{x}_1	\tilde{x}_2	\tilde{x}_3	Номер досліджу	\tilde{x}_1	\tilde{x}_2	\tilde{x}_3
1	+1	+1	+1	5	+1	+1	-1
2	-1	+1	+1	6	-1	+1	-1
3	+1	-1	+1	7	+1	-1	-1
4	-1	-1	+1	8	-1	-1	-1

За допомогою трьох факторного симплекс-центрального методу планування експерименту в математичному середовищі Statistica 12 проведено оптимізацію складових вогнезахисної органо-мінеральної композиції.

3.4 Висновки до розділу 3

1. Визначено підходи до проведення досліджень з розроблення визначення основних властивостей вогнезахисних композицій на основі суміші неорганічних та органічних речовин, їх взаємовпливу та взаємодії. Визначені

методи досліджень механізму захисту деревини покриттям на основі суміші неорганічних та органічних речовин. Для дослідження взаємодії та взаємовпливу речовин на покриття та їх зв'язок з деревиною використовували загально відомі методи як фізичного так і хімічного аналізу.

2. Обґрунтовано метод визначення вогнестійких та експлуатаційних властивостей захищеної від вогню деревини покриттями на основі сумішей органо-неорганічних речовин. Процеси, що відбуваються при експлуатації дерев'яних конструкцій, досліджували при моделюванні впливу термічного та фізичного руйнування деревини в лабораторних умовах. Дослідження стійкості до термічного руйнування та до поглинання води і вимивання антипіренів з деревини використовували стандартизоване обладнання.

3. В результаті практичних та теоретичних досліджень отримано новий тип покриттів на основі органо-неорганічних композицій, який здатний утворювати на поверхні деревини спучений тепло ізолювальний шар піно коксу та запобігати проникненню високої температури.

4. Використання загальновідомих методів статистичної обробки експериментальних даних посприяло зниженню затрат на отримання результатів досліджень. За допомогою трьох факторного симплекс-центрального методу планування експерименту в математичному середовищі Statistica 12 і одночасного врахування декількох досліджуваних факторів проведено оптимізацію складових технологічного параметру, що забезпечують поліпшення фізико-хімічних, вогнестійких та теплофізичних властивостей.

Розділ 4

БАГАТОФАКТОРНИЙ МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХИСТУ ДЕРЕВИНИ ПОКРИТТЯМ НА ОСНОВІ ОРГАНІЧНИХ ТА НЕОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН

При проектуванні конструкції з деревини слід враховувати їх стійкість проти термічного впливу, а також проводити захисне оброблення будівельних матеріалів спеціальними засобами. Зниження горючості деревини вирішується завдяки використанню покриттів, що наносяться на поверхні конструкцій та матеріалів з деревини та просоченням її антипіренами. Однак вогнезахист деревини не забезпечує високу вогнезахисну ефективність та тривалості безпечної експлуатації об'єктів, оскільки антипірени проникають на незначну глибину та вимиваються під впливом вологи.

4.1. Дослідження механізму вогнезахисту деревини покриттям на основі органічних та неорганічних речовин

З метою визначення області температур, за яких термічна деструкція матеріалів відбувається найбільш інтенсивно, проводилось попереднє термогравіметричне дослідження процесів термічної деструкції в динамічному режимі. Досліджували зразки захищеної від вогню деревини спучуючим лаком в атмосфері повітря нормального складу (вміст кисню - 21 % об.). Маса зразка 80 мг, швидкість нагрівання 10 град/хв, атмосфера - статична повітряна, зразок порівняння – порошок α -корунду, матеріал тиглів – алунд, чутливість гальванометрів: DTA – 250 мкВ, DTG - 500 мкВ, T– температурна крива; DTA – крива диференційного термічного аналізу; TG - крива втрати маси; DTG - крива швидкості втрати маси. Результати аналізу досліджуваних матеріалів ілюструються (рис. 4.1., 4.2.).

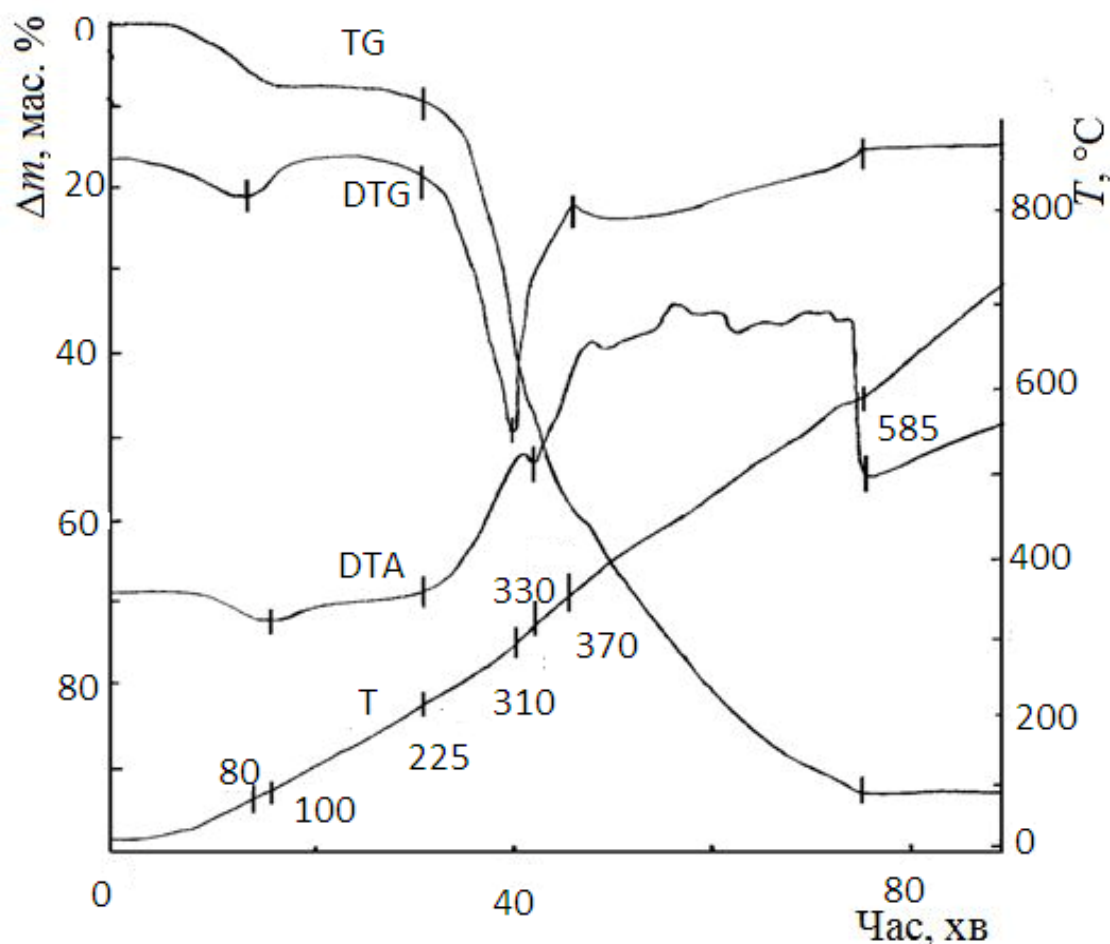


Рис. 4.1. Криві термогравіметричного аналізу зразків необробленої соснової деревини в нормальній повітряній атмосфері.

У всіх досліджених зразках за температур до 100 °С, відбуваються ендотермічні процеси, які супроводжуються втратою їх маси, а саме випаровуванням хімічно незв'язаної води без деструкції матеріалу зразків. Крім того, органічні речовини втрачають конституційну воду (ендоефект з максимумом при 190 °С на рис. 4.1 з додатковою втратою маси). Однак характер і послідовність термічних ефектів (криві DTA) для кожного матеріалу особливі, що пов'язане з відмінностями їх хімічного складу.

У зразку незахищеної деревини поряд з ендотермічними процесами піролізу (відщеплення летких продуктів) навіть за порівняно невисоких температур відбуваються екзотермічні окислювальні процеси, про що свідчить хід кривої DTA в області першого піка кривої DTG (рис. 4.1.), а саме наявність помітного екзо ефекту.

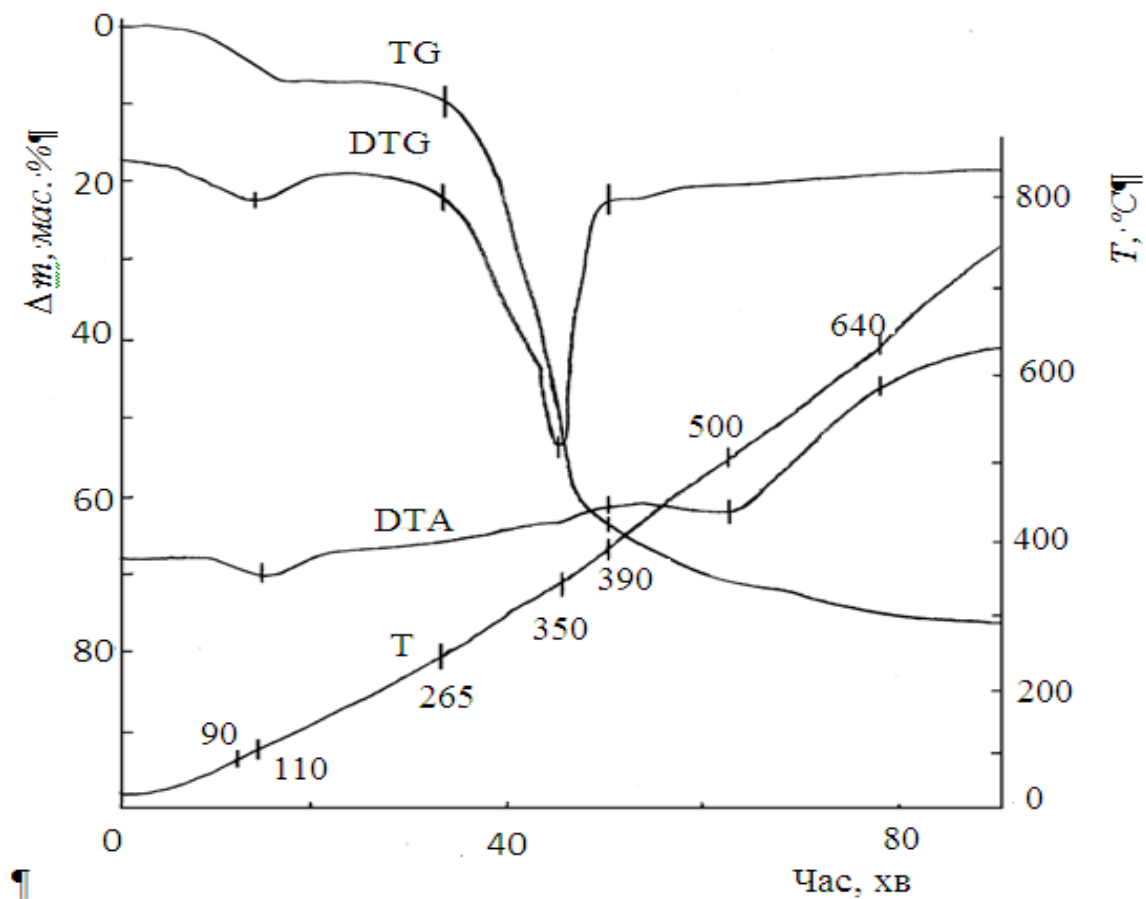


Рис. 4.2. Криві термогравіметричного аналізу зразків соснової деревини обробленої захисним покриттям від вогню в нормальній повітряній атмосфері.

Відмічається також наявність двох суттєво відмінних стадій деструкції у процесі нагрівання досліджуваного зразку незахищеної деревини, а саме характерною є стадія інтенсивної втрати маси до температур 370-390 °С, яка може бути зумовлена утворенням і полуменевим горінням газоподібних продуктів, та повільніша стадія (за більш високих температур - після того, як величина відносної втрати маси вже досягла 60 - 70 %), яка зумовлена здебільшого вигоранням карбонізованого залишку і характеризується більшим екзотермічним ефектом. Таке співвідношення величин термічних ефектів спостерігається, очевидно, внаслідок того, що полуменеве горіння (перша стадія) відбувається переважно за межами тигля і значно менше впливає на показання термопар, ніж гетерогенний процес окислення карбонізованого залишку на межі розділу “тверда речовина - газ” (друга стадія).

Окремого аналізу потребують зміни характеру кривих термогравіметричного аналізу зразків деревини (особливо кривих TG і DTA), що

проявляються для деревини обробленої вогнезахисним лаком (рис. 4.2). Для них відмічено низьку температуру початку термоокиснювальної деструкції покриття: (150-180 °С); величина цієї швидкості також суттєво не змінюється (максимальні відхилення відповідних кривих DTG близькі за величиною). Натомість процеси деструкції на другій стадії у значній мірі залежать від природи вогнезахисної композиції: в міру її вогнезахисної дії сповільнюється втрата маси. Відповідно змінюється і вигляд кривих DTA, а саме зменшується висота і збільшується ширина піків, які характеризують протікання екзотермічних перетворень, внаслідок чого закінчення процесу термоокиснювальної деструкції фіксується за вищих температур.

Така відмінність впливу вогнезахисних засобів на протікання деструкції на різних стадіях обумовлюється різними механізмами, за якими відбувається втрата маси зразків. Якщо на першій стадії йде переважно піроліз із відщепленням летких продуктів, швидкість якого не залежить від подальших хімічних перетворень цих продуктів, то на другій стадії швидкість втрати маси визначається кінетикою взаємодії карбонізованого залишку з окисником.

Одним з методів, який дає можливість дослідити утворення летких продуктів захищеної від вогню деревини є газохроматографічний аналіз. Необхідно зазначити, що найвищий вміст летких компонентів визначається у газоподібних продуктах, які утворюються внаслідок піролізу (термічного розкладу без доступу повітря).

З урахуванням результатів термогравіметричних досліджень процес термодеструкції зразків рослинної сировини проводили в умовах, за яких утворення газоподібних продуктів відбувається з найбільшою швидкістю.

Для одержання газоподібних продуктів термічної деструкції використане спеціальне обладнання, яке розроблене та виготовлене раніше [142]. За методикою [142] були проведені дослідження та зібрані леткі продукти піролізу.

Одним з методів, який дає можливість дослідити утворення летких продуктів захищеної від вогню деревини, є газохроматографічний аналіз. Із застосуванням хроматографа "Цвет-500М" проведено хроматографічний аналіз

летких продуктів розкладу деревини. Результати газохроматографічного аналізу одержаних горючих газових сумішей наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Якісний і кількісний склад газоподібних продуктів термічної деструкції деревини

Компонент	Вміст компонентів у летких продуктах деструкції, % об.	
	соснової деревини	соснової деревини, обробленої органо-неорганічною композицією
Монооксид вуглецю (CO)	39,08	10,16
Діоксид вуглецю (CO ₂)	51,93	32,37
Метан (CH ₄)	6,05	0,40
Етан і етилен (C ₂ H ₆ + C ₂ H ₄)	0,45	0,36
Пропан (C ₃ H ₈)	0,19	0,19
Пропен (C ₃ H ₆)	0,32	не виявлено
Водень (H ₂)	0,73	0,12
Кисень (O ₂)	0,26	не виявлено
Азот (N ₂)	0,99	56,40

Як видно з таблиці, після піролізу необробленої та обробленої деревини сумішню від вогню продуктів деструкції суттєво відрізняються за вмістом азоту, діоксиду вуглецю та кількістю горючих газів. Так для обробленої деревини, кількість азоту збільшилась більше, ніж у 80 разів, збільшення діоксиду вуглецю в 1,5 рази.

Отримані термогравіметричні показники дають можливість визначити швидкість термічного розкладу матеріалу при заданій температурі і відповідно показати якісну оцінку теплових ефектів (табл. 4.2), але більш важливою задачею є визначення енергії активації термоокислювальної деструкції покриттів.

Розрахунки кінетичних параметрів по кривій ТГ, яке задовільно описує кінетику розкладу твердих речовин, ґрунтується на рівнянні [143]:

$$-\frac{dm}{dt} = k \cdot m^n, \quad (4.1)$$

де m – маса зразка, яка вступила в реакцію розкладу, мг; n – порядок реакції; k – питома швидкість реакції розкладу матеріала.

Таблиця 4.2. Результати випробування термічного розкладу деревини

<i>деревина</i>						
<i>Втрата маси (%) за температури</i>						
100°C	200°C	300°C	400°C	500°C	600°C	700°C
8,4	9,9	33,2	62,1	85,3	92,0	92,6
Залишок при 700 °C: 9,0 %						
<i>Характеристика максимумів піків DTG (T_{max}, °C/швидкість втрати маси, % хв⁻¹)</i>						
Інтервал	80 - 655 °C					
Пік	100/1,4	225/2,9	310/5,3	330/2,7	425/1,2	525/0,8
<i>Характеристика ефектів DTA (T_{max}, °C / тип ефекту)</i>						
Інтервал	210 – 670 °C					
Пік	100/екзо	225/ендо	330/ендо	370/екзо	585/екзо	
Деревина захищена органо-неорганічною композицією						
<i>Втрата маси (%) за температури</i>						
100 °C	200 °C	300 °C	400 °C	500 °C	600 °C	700 °C
3,1	8,7	19,3	28,4	40,0	44,8	45,6
Залишок за температури 720 °C: 53,7 %						
<i>Характеристика максимумів піків DTG (T_{max}, °C / швидкість втрати маси, % хв⁻¹)</i>						
Інтервал	20 - 580 °C					
Пік	110/0,58	265/1,35	350/1,16	390/2,51	475/1,84	
<i>Характеристика ефектів DTA (T_{max}, °C / тип ефекту)</i>						
Інтервал	20 - 390 °C				390 - 750 °C	
Пік	110/ендо	265/ендо	355/ендо		640/ендо	

Залежність питомої швидкості розкладу матеріалу від температури описується рівнянням Ареніуса:

$$k = A \cdot e(-E/RT), \quad (4.2)$$

де A – перед експоненціальний множник; E – енергія активації, кДж/моль; R – універсальна газова стійка, кДж/(моль·К).

Для розділених стадій деструкції можливим методом розрахунку енергії активації є метод, в якому показано, що параметр E , за інших рівнозначних умов, є мірою стійкості до термоокислювальної деструкції матеріалу.

Для деревини характерна наступна схема розкладу:



і визначення швидкості реакції розкладу уможливорює рівнянням:

$$-\frac{dm}{dT} = \frac{A}{V_{нагр}} \cdot e^{-E/RT} \cdot m^n. \quad (4.4)$$

Розрахунок E і n ґрунтується на математичному обробленні табл. 4.1 з використанням залежності [10]:

$$\ln\left(\ln \frac{100}{100 - \Delta m}\right) = -\frac{E}{R} \cdot \frac{1}{T}. \quad (4.5)$$

В цьому рівнянні Δm – втрата маси (%) при кожній температурі в інтервалі розкладу матеріалу, яка є процесом 1-ого порядку ($n=1$) та за умови лінеаризації залежності:

$$\ln\left(\ln \frac{100}{100 - \Delta m}\right) = \ln(\ln 100 / (100 - \Delta m)) \quad (4.6)$$

від температури T , К.

В таблиці 4.2 приведено результати розрахунку параметрів необхідних для розрахунку енергії активації деревини.

Таблиця 4.2

Результати оброблення дериватограм

t, °C	Δm , %	$\text{Ln}(\text{Ln}(100/100-\Delta m))$
Деревина в нормальній повітряній атмосфері		
200	9,9	0,878774
250	20,0	0,475885
300	33,2	0,103154
330	45,9	-0,25292
420	66,0	-0,87824
460	77,2	-1,35181
500	85,3	-1,83888
585	92	-2,23234
Деревина оброблена органо-неорганічною композицією		
200	8,7	1,052465
300	19,3	0,49778
400	28,4	0,230144
500	40	-0,08742
600	44,8	-0,21945
700	45,6	-0,24174

Значення енергії активації (E) розраховується за залежністю:

$$E = tg\phi \cdot R \quad (4.7)$$

На рис. 4.4 приведені графічна залежність швидкості деструкції деревини від оберненої температури і швидкості деструкції покриття від оберненої температури відповідно, а в табл. 4.3 наведено значення енергії активації.

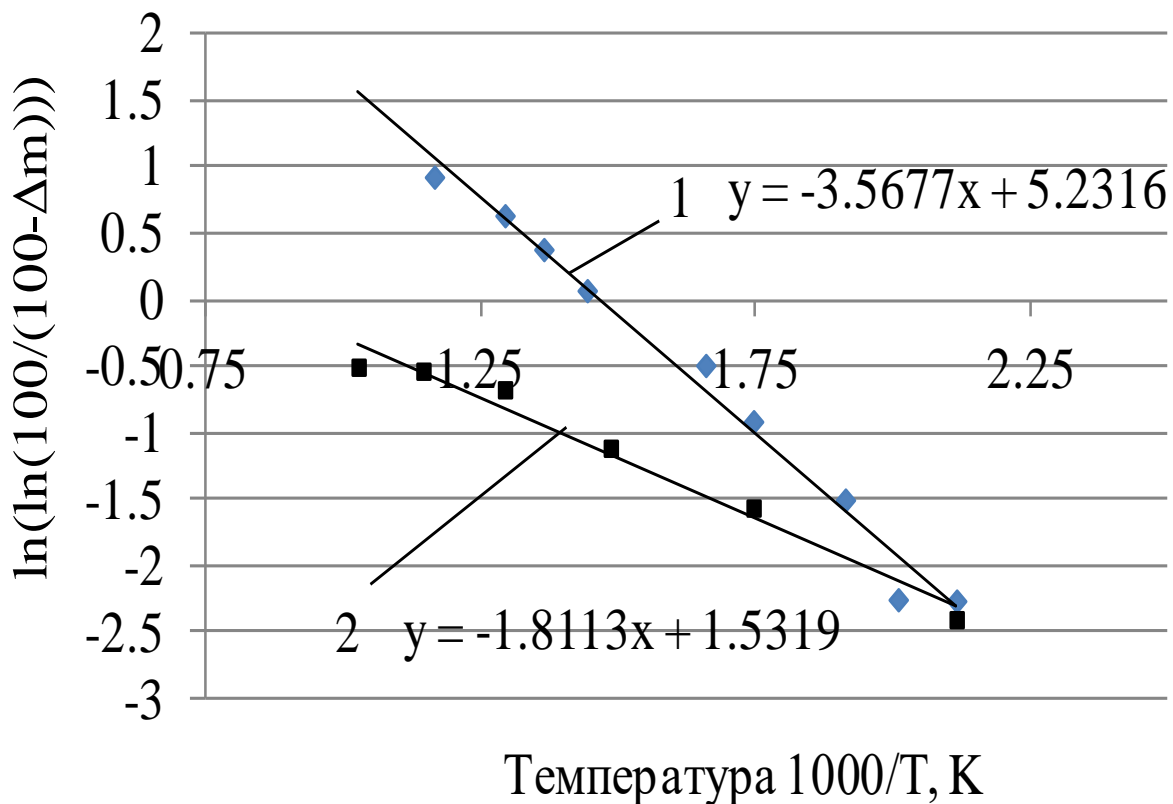


Рис. 4.4. Графічна залежність швидкості деструкції деревини від оберненої температури: 1 – необроблена; 2 – захищена від вогню деревина

Таблиця 4.3

Розраховане значення енергії активації при термічному розкладі покриття на основі органо-неорганічних речовин

№ п/п	Покриття	Енергія активації, E (кДж/моль)
1	деревина	36,56
2	деревина оброблена органно-неорганічною композицією	84,27

Таким чином, з розрахунку виявлено, що для термічного розкладу деревина, яка захищена спучуючим покриттям, потребується значно більша енергія активації. Тому дане покриття можливо ефективно використовувати як вогнезахисний засіб.

Дослідження з визначення горючості показали (табл. 4.4), що деревина відноситься до горючих матеріалів (зразок після дії полум'я загорівся), захищений від вогню зразок деревини витримав температурний вплив і відноситься до важко горючих матеріалів. При початковій температурі газоподібних продуктів горіння $T=62\text{ }^{\circ}\text{C}$, при дії радіаційної панелі на захищений зразок, температура газоподібних продуктів горіння становила $T\leq 120\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Таблиця 4.4

Час проходження фронтом полум'я контрольних точок

Зразок деревини	Температура димових газів, $^{\circ}\text{C}$		Час займання, с	Час проходження фронтом полум'я ділянок зразка, с									Час досягнення максимальної температур и димових газів, с	Довжина горіння зразка, мм	Індекс горючості
	T_1	T_{max}		1	2	3	4	5	6	7	8	9			
Необроблений	61	329	52	2	8	7	10	6	8	7	6	7	103	294	177,5
деревина захищена органо-неорганічною композицією	62	114	595	—	—	—	—	—	—	—	—	—	596	18	0,4

Під час випробувань зразків деревини було встановлено, що необроблений зразок зайнявся на 52 с, полум'я поширилося по всьому зразку протягом 100 с натомість, захищений від вогню зразок зайнявся на 596 с, поширення полум'я поверхнею відбулося тільки на першу ділянку, максимальна температура димових газів становила $114\text{ }^{\circ}\text{C}$ за час більший понад 5 разів, а індекс горючості знизився до 0,4.

Таким чином, проведені дослідження за допомогою термогравіметрії та газової хроматографії засвідчують, що механізм вогнезахисної ефективності

направлений в сторону утворення на поверхні коксового шару. Наявність якого на деревині змінює процес термодеструкції, зменшує кількість горючих газів, які флегматизуються великою кількістю азоту та діоксиду вуглецю, що відповідно підтверджується результатами визначення індексу горючості.

З метою встановлення відповідності вогнезахисних властивостей деревини обробленої вогнезахисним покриттям проведено експериментальні дослідження для визначення групи горючості деревини необробленої та захищеної від вогню покриттям (рис. 4.5.) згідно з [134].

Під час проведення експериментальних досліджень з визначення групи горючості фіксується максимальний приріст температури газоподібних продуктів горіння (Δt) та втрата маси зразка (Δm).

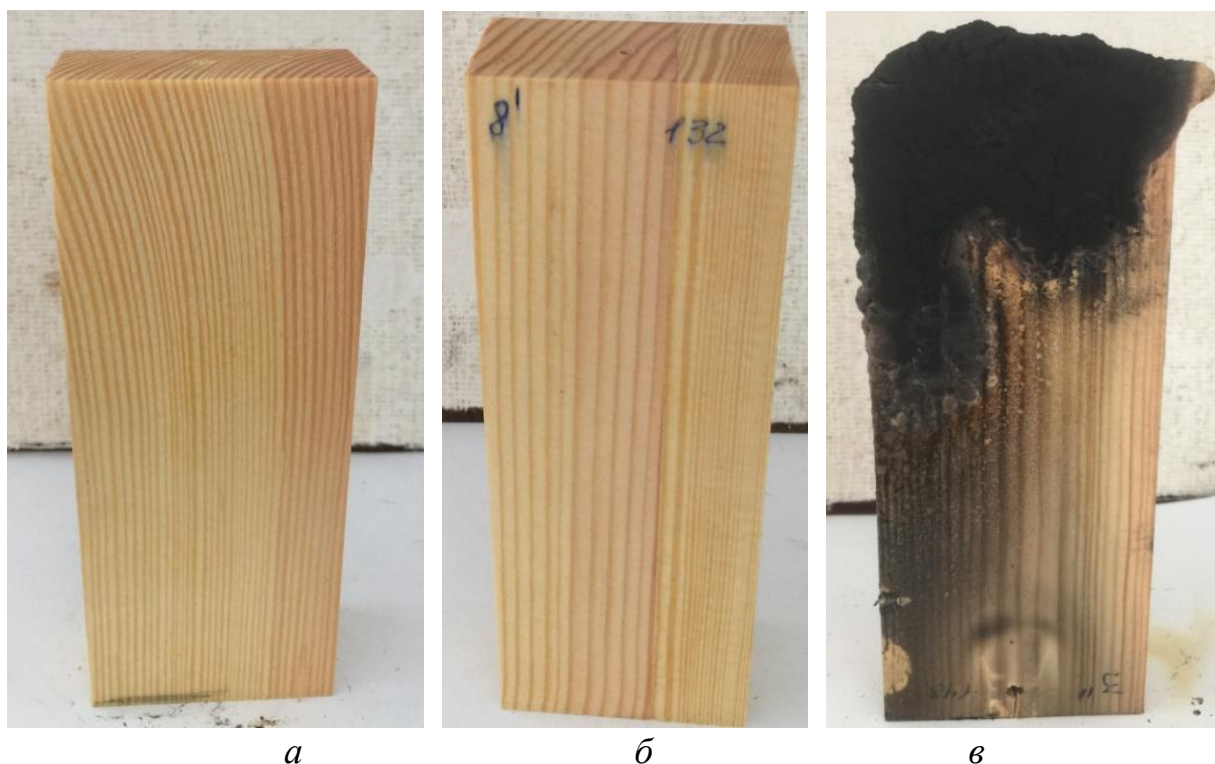


Рис. 4.5. Модельні зразки деревини : *a*- необроблений; *б*- оброблений покриттям від вогню; *в*- після випробувань.

Результати досліджень з визначення втрати маси зразків та температури димових газів необробленої деревини та захищеної від вогню органо-неорганічним покриттям наведено на рис. 4.6, 4.7.

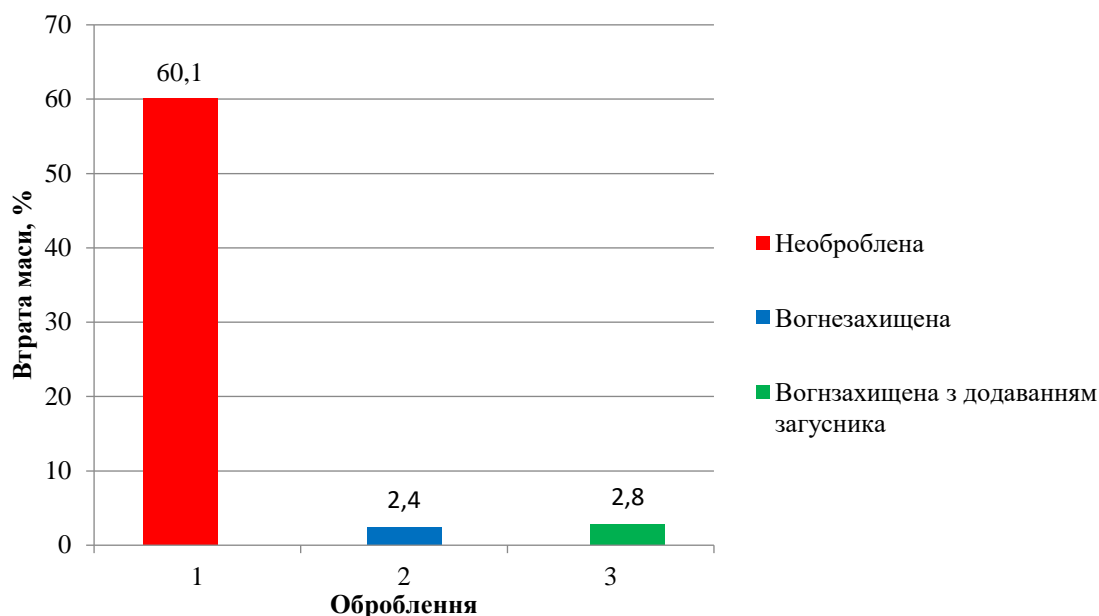


Рис. 4.6. Втрата маси зразків (Δm , %) необробленої деревини (1) та захищеної від вогню (2) і з додаванням загусника (3).

Результати досліджень (рис. 4.6., 4.7.) з визначення ефективності вогнезахисту деревини показали незначну втрату маси для захищеної від вогню деревини та незначну динаміку наростання температури димових газів, порівняно з деревиною без вогнезахисту.

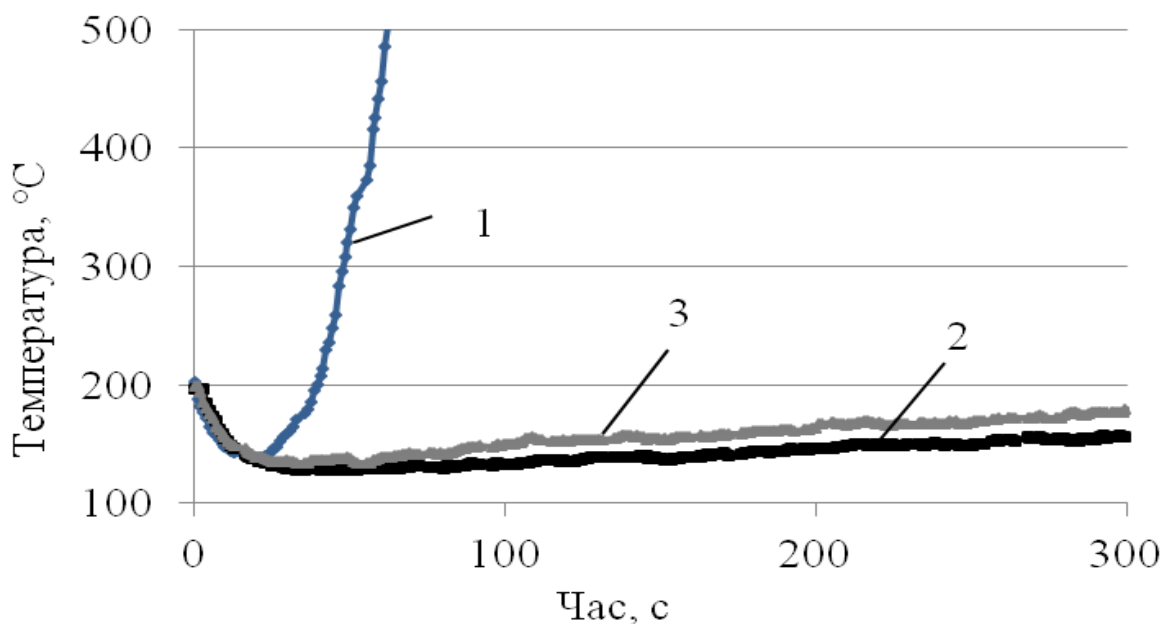


Рис. 4.7. Динаміка наростання температури димових газів при випробуваннях: зразків необробленої деревини (1) та захищеної від вогню (2) і з додаванням загусника (3).

Згідно з [134] за значенням втрати маси зразків після вогневих випробувань, максимальної температури димових газів встановлено, що оброблення деревини переводить її до важко горючих матеріалів.

Проведено визначення вищої та нижчої теплоти згорання деревини сосни, захищеної покриттям від вогню, з витратою покриття 241 г/м², а також необробленої деревини сосни (табл. 4.5). Встановлено, що захист деревини від вогню знижує теплоту згорання матеріалу в 1,5 рази.

Таблиця 4.5

Вища та нижча теплота згорання деревини

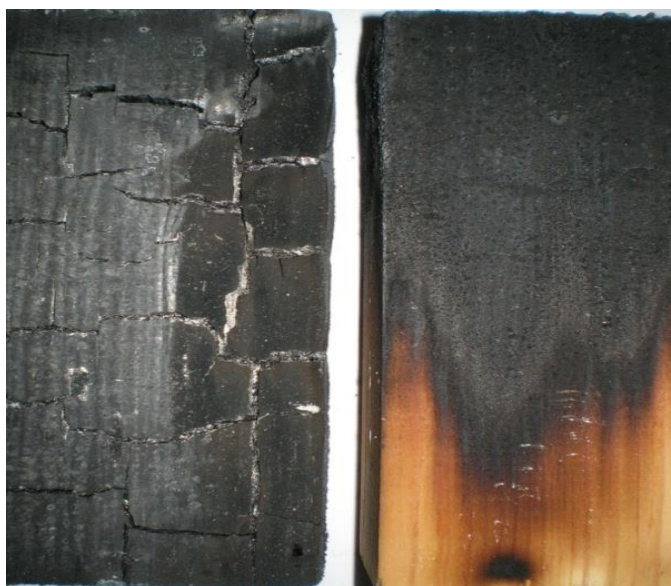
Деревина сосни	Маса зразка	Теплота згорання, кДж/кг	
		Вища	Нижча
звичайна	0,139	18638	17001
	0,145	19353	17688
	0,128	18966	17256
Середнє значення			17316
Оброблена органо-неорганічним покриттям	0,475	12845	11776
	0,393	12955	11885
	0,271	13172	12086
Середнє значення			11916

Таким чином, проведені дослідження за допомогою термогравіметрії, газової хроматографії та визначення теплоти згорання засвідчують, що механізм вогнезахисної ефективності направлений в сторону утворення на поверхні коксового шару. Наявність вогнезахисного покриття на деревині змінює процес термодеструкції, утворює тепло ізолювальний шар піно коксу, утворює велику кількість інертних газів, що відповідно підтверджується результатами визначення групи горючості.

4.2. Експериментальні дослідження ефективності захисту деревини від вогню покриттям та їх результати

Для встановленні вогнезахисної ефективності при дослідженні просочувального розчину і покриттів були проведені дослідження щодо

визначення групи горючості деревини при оброблені зазначеними композиціями. На рис. 4.9.-4.11. показано результати випробувань.



а б

Рис. 4.9. Результати визначення горючості деревини: а – необроблена, б – зразок оброблений просочувальними розчинами на основі суміш фосфату амонію з антисептиком “Гембар” (ДСА-1).



а б

Рис. 4.10. Результати визначення горючості деревини: а – пристрій для випробувань, б – зразок оброблений сумішшю органічних та неорганічних речовин.

Як видно з рис 4.9 після впливу полум'я пальника зразок загорівсь, що привело до його вигорання та значного обвуглювання. При термічній дії на зразки деревини обробленої ДСА-1 показали, що зразок під дією полум'я звуглився, але значне вигорання не було.

Результати досліджень з визначення втрати маси зразків (Δm , %) та приросту максимальної температури газоподібних продуктів горіння (Δt , °C) зразків обробленої деревини, проведеними у лабораторних умовах, наведено на рис. 4.11., 4.12..

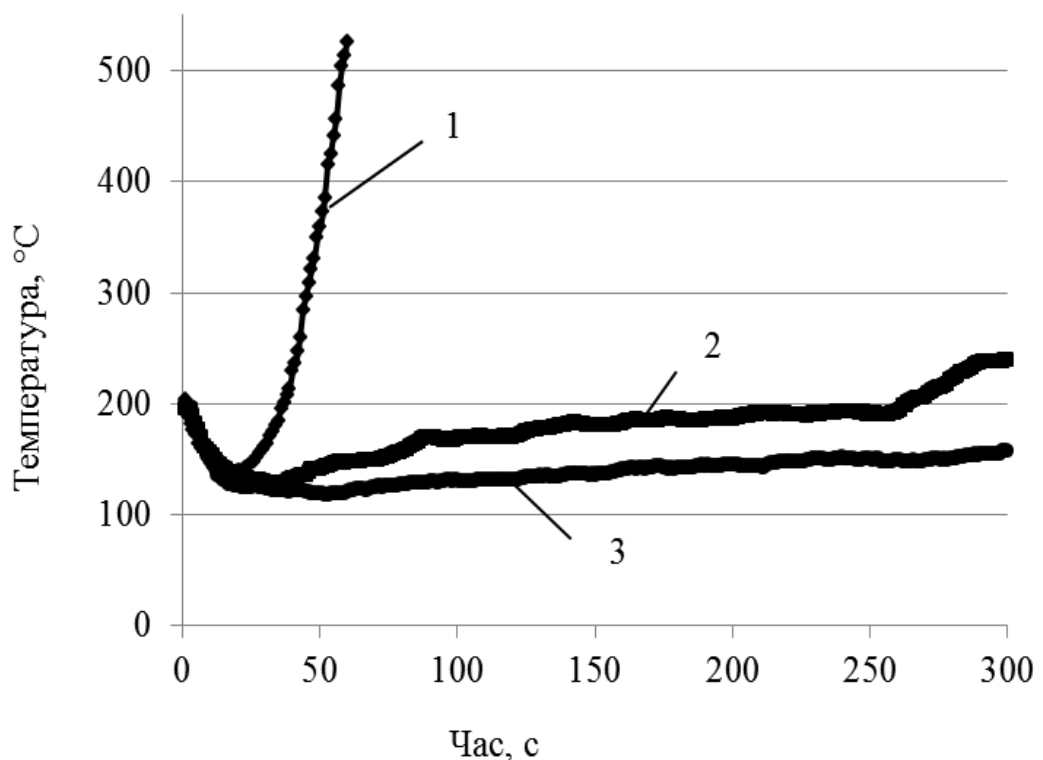


Рис. 4.11. Динаміка наростання температури димових газів при випробуваннях деревини захищеної від вогню: 1 – необроблена, 2 – зразок оброблений ДСА-1, 3 – зразок оброблений сумішшю органічних та неорганічних речовин.

Дослідження показали (рис. 4.9., 4.10.), що деревина відноситься до горючих матеріалів, просочена деревина витримала температурний вплив і відноситься до важкогорючих матеріалів за показником втрати маси.

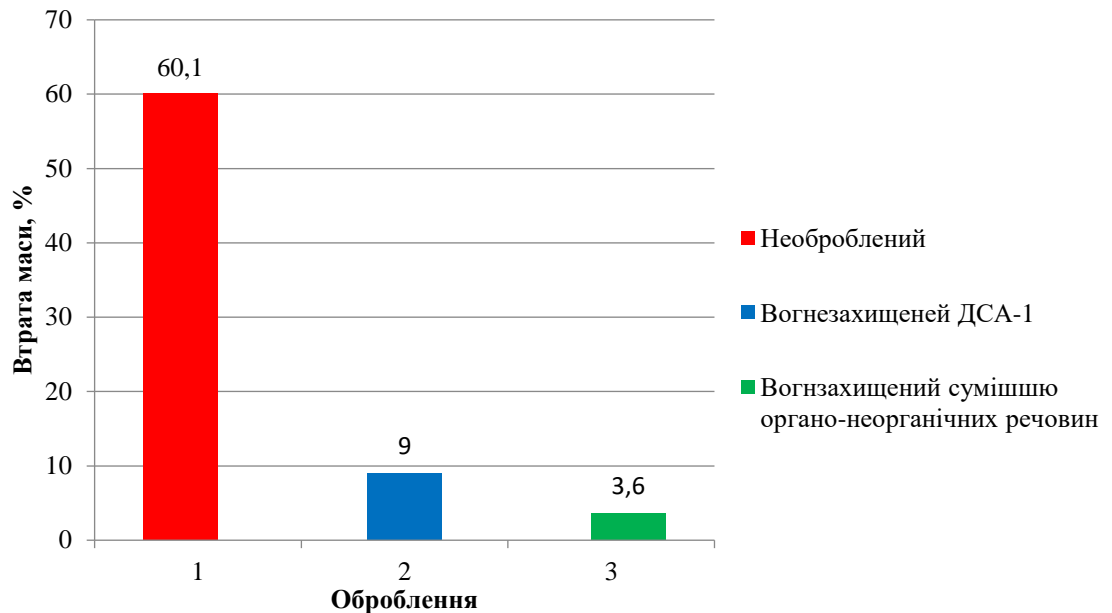


Рис. 4.12. Результати втрати маси зразків Δm , % захищеної від вогню деревини: 1 – необроблена, 2 – зразок оброблений ДСА-1, 3 – зразок оброблений сумішшю органічних та неорганічних речовин.

При початковій температурі газоподібних продуктів горіння $T=200$ °С, при дії полум'я пальника на захищений зразок оброблений ДСА-1 (ряд 2), температура газоподібних продуктів горіння становила $T \leq 260$ °С, а втрата маси не перевищила 9 % (рис. 4.10). Ще більшу ефективність показали зразки, які було оброблено сумішшю органічних та неорганічних речовин крива 3 з втратою маси 3,6 % (рис. 4.11, 1.12).

Оцінювання характеристик горіння матеріалів після випробування на займистість проведено по коефіцієнту ефективності:

$$K_m = \frac{v_n}{v_m} \cdot \left(1 - \frac{T_{\max}^m}{T_{\max}^n} \right), \quad (4.8)$$

де T_{\max}^n , T_{\max}^m - температура димових газів при випробуваннях необроблених та оброблених зразків, відповідно;

v_n , v_m - масова швидкість вигорання необроблених та оброблених зразків, яку розраховують за формулою:

$$v_{n(m)} = \frac{\Delta m}{\tau \cdot S}, \quad (4.9)$$

де Δm – втрата маси зразка після випробувань;

τ – час випробування;

S – площа пошкодження зразка.

Встановлено, що швидкість вигорання зразків деревини, оброблених засобами та покриттями захисту від вогню порівняно з необробленими зменшується в 3,1-7,1 рази (табл. 4.6). Розраховані коефіцієнти ефективності вогнезахисту (K_m) при горінні деревини, які наведено у табл. 4.7.

Таблиця 4.6

Швидкість вигорання зразків деревини

Деревина	Втрата маси $\Delta m \cdot 10^3$, кг	Час експозиції τ , с	Площа термічного впливу S , м ²	Швидкість втрати маси зразка v , кг/(м ² ·с)
необроблений	91,23	300	0,0024	0,128
оброблений ДСА-1	19,20	300	0,001	0,041
оброблений сумішшю на основі органо-неорганічних речовин	5,15	300	0,00095	0,018

Таблиця 4.7

Коефіцієнти ефективності захисту деревини від вогню

Зразки деревини	Максимальна температура димових газів, °С	Коефіцієнт ефективності, K_m
необроблений	360	-
оброблений ДСА-1	235	1,08
оброблений сумішшю на основі органо-неорганічних речовин	160	3,95

Як видно з табл.4.6, 4.7 за однаковий час випробування площа пошкодження зразка та швидкість вигорання захищених зразків значно нижче

порівняно з необробленою, особливо це проявляється для деревини обробленої сумішшю з органо-неорганічних речовин. Дана композиція утворює на поверхні деревини спучений шар піно коксу, який ефективно протидіє температурі, що підтверджується коефіцієнтом ефективності.

Таким чином, у результаті проведених досліджень встановлено ефективність вогнезахисту деревини просочувальним засобом та сумішшю на основі органо-неорганічних речовин, зокрема, випробування на модельних зразках захищеної деревини показали, що просочення характеризується розкладом антипіренів під дією температури з поглинанням тепла та виділенням негорючих газів, гальмування окислення в газовій і конденсованій фазі. Натомість покриття при дії високої температури утворює значний коефіцієнт спучення, сприяє утворенню тепло ізолювального шару коксу, що запобігає вигоранню деревини і проходженню високої температури до матеріалу.

Для отримання більш повної інформації щодо горючості деревини, як будівельного матеріалу, проведено дослідження згідно з [134] необроблених та оброблених сумішшю органо-неорганічних речовин зразків деревини.

Випробуванням піддавали зразки деревини оброблені покриттям білого кольору розмірами 1000 мм × 190 мм, середньою товщиною 20,3 мм на установці рис. 4.13.-4.14..



Рис. 4.13. Камера з визначення групи горючості матеріалів

Зразки матеріалу були закріплені на негорючій основі – використано азбестоцементний лист завтовшки 10 мм.



Рис. 4.14. Визначення горючості необробленої деревини

Кондиціонування зразків проводили за температури повітря $t = 23 \pm 2$ °C та відносної вологості повітря $\phi = 50 \pm 5$ % протягом 48 годин. Під час проведення досліджень визначали температуру димових газів, тривалість самостійного горіння зразків, довжину пошкодження та втрату маси зразків (рис. 4.15.).

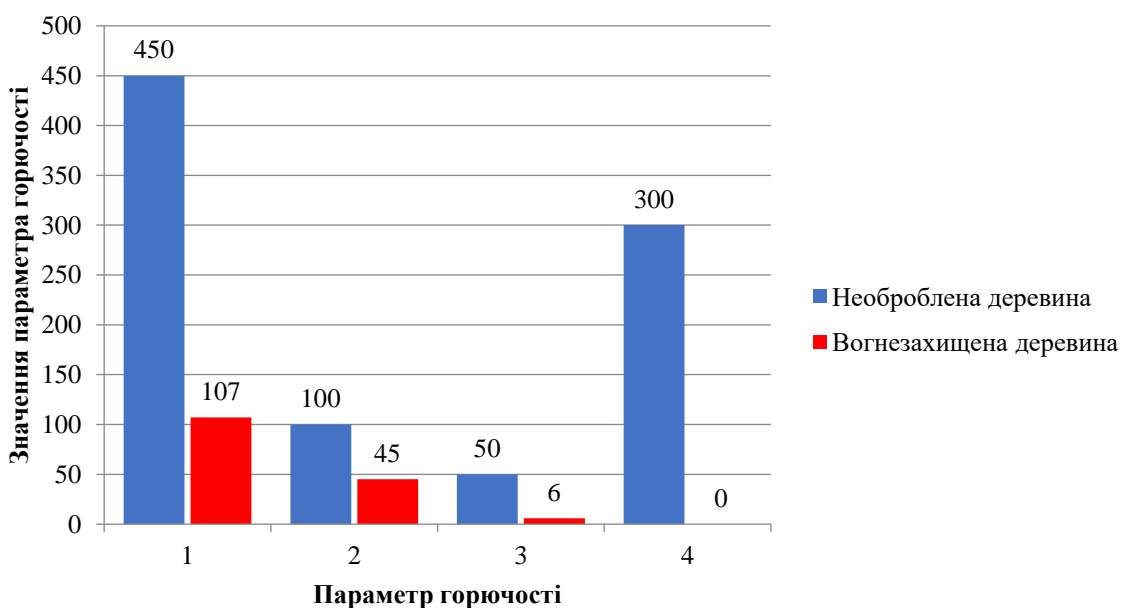


Рис. 4.15. Визначення групи горючості деревини: 1 – температура димових газів (t , °C); 2 – ступінь пошкодження зразків за довжиною (S_L , %); 3 – ступінь пошкодження за масою (S_m , %); 4 – тривалість самостійного горіння (τ , с)

Встановлено, що деревина, захищена органо-неорганічною сумішшю від вогню, відноситься до будівельних матеріалів низької горючості (Г1), рис. 4.15, а необроблену деревину класифіковано, як будівельний матеріал високої горючості (Г4).

В табл. 4.8 наведено результати визначення групи поширення полум'я деревиною.

Таблиця 4.8

Результати випробувань з визначення групи поширення полум'я деревиною

Деревина	Час займання зразка від початку випробувань, с	Тривалість полуменевого горіння зразка, с	Середнє значення пошкодженої частини зразка, мм	Критична поверхнева густина теплового потоку, кВт/м ²
необроблена	36	понад 600	686	4,1
вогнезахищена	відсутній	не відбулося	39,6	понад 11,0

За результатами дослідів зразки деревини захищеної покриттям відносять до матеріалів, що не поширюють полум'я поверхнею (РП1), а необроблена деревина до матеріалів, що поширюють полум'я поверхнею (РП4). На рис 4.16 наведено результати визначення коефіцієнта димоутворення деревини захищеної від вогню.

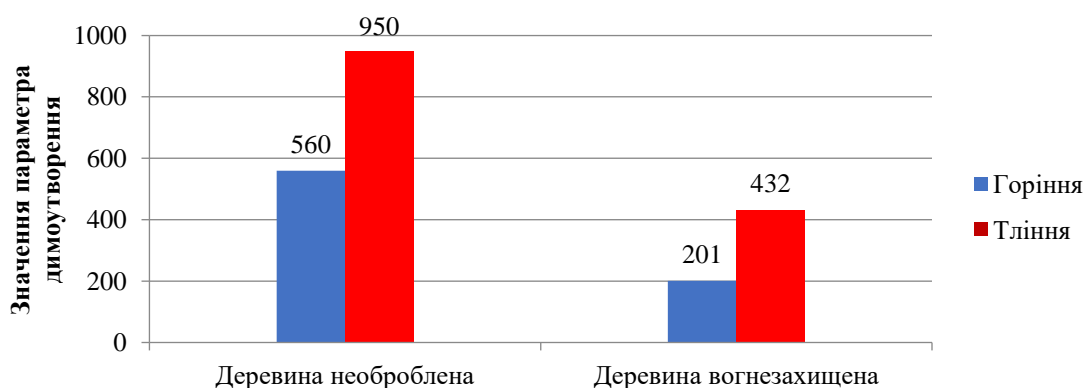


Рис. 4.16. Результати визначення коефіцієнта димоутворення (D_m , м²/кг) при полум'яному горінні та тлінні зразків деревини необробленої та обробленої покриттям.

Таким чином, результати визначення вогнестійких показників деревини захищеної покриттям показали, що деревина відносяться до важко горючих матеріалів, які повільно поширюють полум'я та з низькою димоутворювальною здатністю.

4.3. Оптимізація неорганічних складових вогнезахисного покриття для деревини

Виробники вогнезахисних засобів, враховуючи умови ринку, намагаються оптимізувати дані вироби з точки зору вмісту основних компонентів, а точніше антипіренів, в'язучих, загусників і інших складових. Варіації вмісту та концентрації вивчаються та досліджуються також з точки здешевлення покриття, але при цьому отримання гарного ефекту вогнезахисту з необхідними властивостями міцності.

Під час розробки покриття керуються необхідністю одержання ряду властивостей, що визначають у цілому його здатність захищати від дії вогню. До числа таких властивостей відносяться: негорючість покриття, ізолюючі властивості покриття від дії тепла, ізолюючі властивості покриття від доступу повітря та полум'я від джерела запалювання.

Для одержання вогнезахисного покриття, що задовольняє пред'явленим вимогам, необхідно, щоб компоненти, які входять до складу покриття відносились безпосередньо до групи негорючих, важкогорючих матеріалів або утворювали такі з'єднання в умовах нагрівання, та здатні утримуватись на поверхні виробу.

Враховуючи вище наведений механізм дії, за допомогою трьохфакторного симплекс-центрального методу планування експерименту в математичному середовищі Statistica 12, проведено оптимізацію складових вогнезахисної композиції при витраті кислоти та карбаміду.

Як атрибут факторів варіювання були обрані: кількість, КК, %, (фактор X); кількість карбаміду, К % (фактор Y), зміна яких наведена в таблиці 4.9.

Фактори варіювання

Фактори	Код	Рівні варіювання		Інтервал варіювання
		Нижній 0	Верхній 1	
Комплекс кислот, КК, %	X	21	27	6
Карбамід, К, %	Y	20	30	10

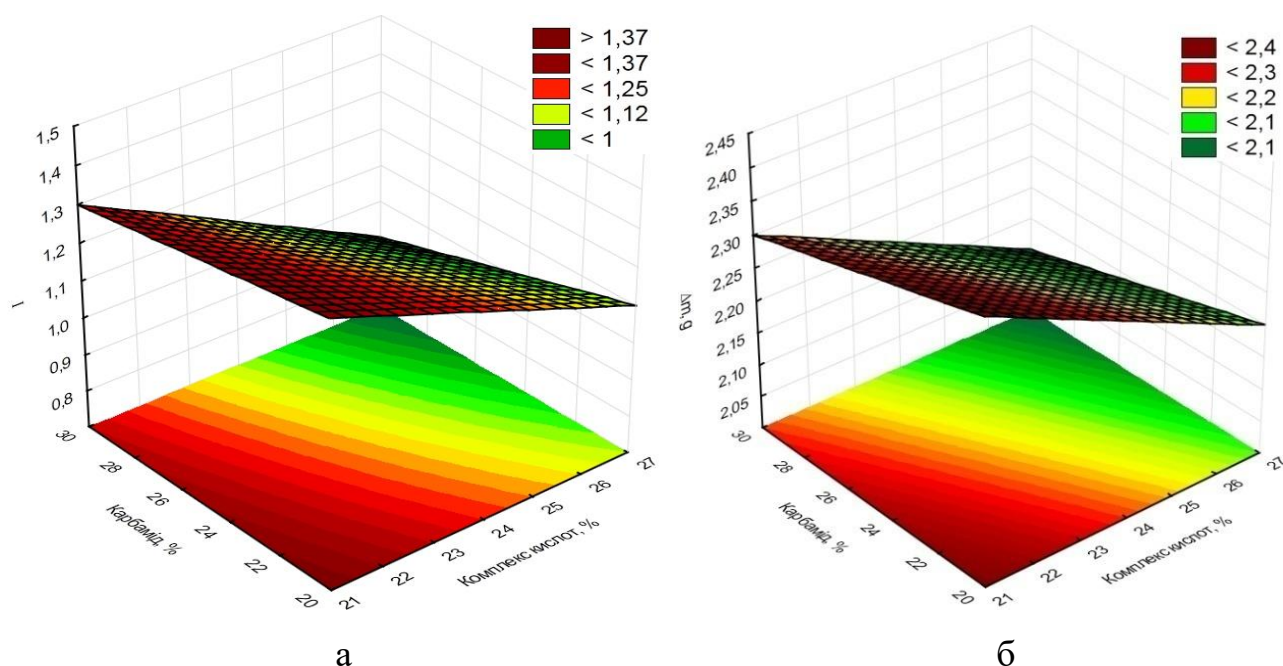
У якості вихідного параметру було обрано індекс горючості та втрата маси, значення яких фіксували на зразках, які піддавалися термічного впливу. Матриця планування експерименту та її математична реалізація наведена в табл. 4.10.

Таблиця 4.10

Матриця експерименту та її реалізація

№ п/п	Фактори, вигляд		Матриця планування	
	X	Y	КК, %	К, %
1	-1	-1	21	20
2	1	-1	27	20
3	-1	1	21	30
4	1	1	27	30

У результаті моделювання отримані рівняння регресії та побудовані тернарні поверхні змін вихідного параметру в залежності від змін факторів варіювання (рис. 4.17).



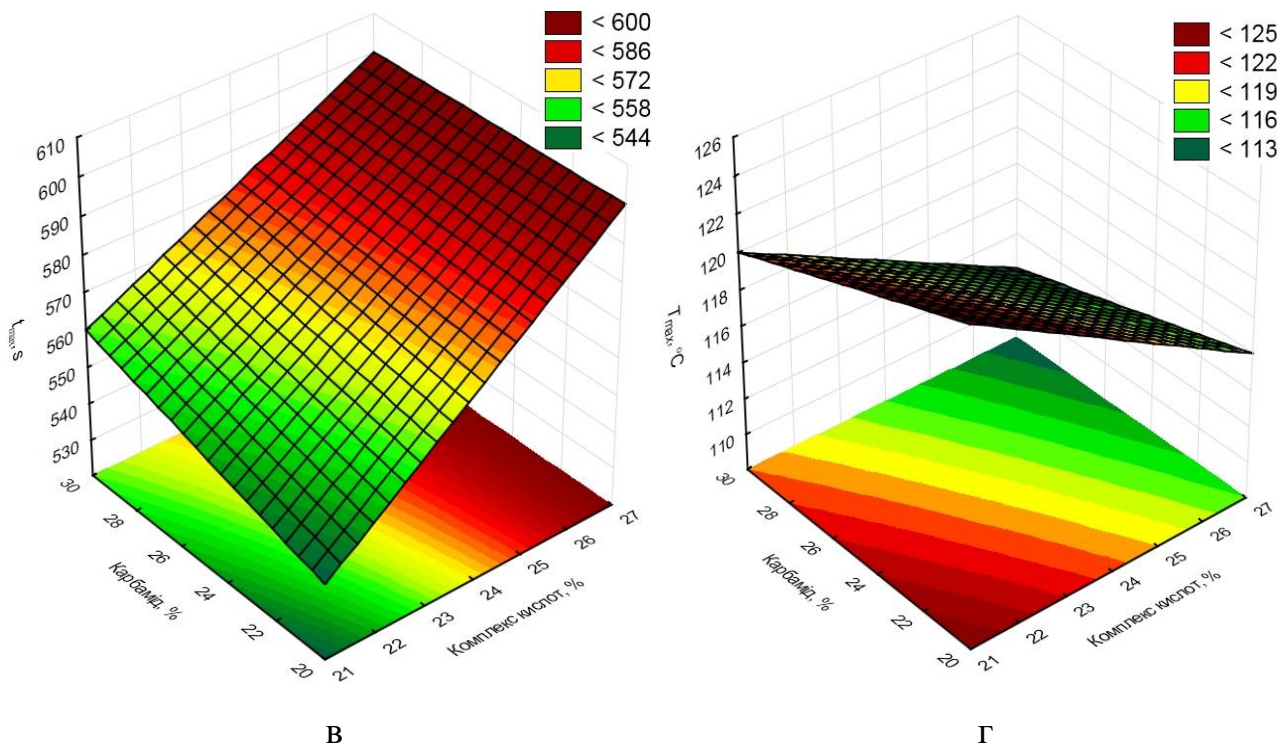


Рис. 4.17. Тернарні поверхні зміни складової суміші після термічної дії при різних співвідношеннях кислот і карбаміду: а – індекс горючості, б – втрата маси, в – часу займання, г – максимальної температури

Рівняння регресії:

$$I = 1,95 - 0,016 * x + 0,025 * y - 0,001 * x * y$$

$$\Delta m, g = 3,3 - 0,033 * x - 0,009 * y - 0,001 * x * y$$

$$t_{\max}, s = 150 + 16,67 * x + 9,0 * y - 0,33 * x * y$$

$$T_{\max}, ^\circ C = 173,5 - 1,83 * x - 0,85 * y + 0,0167 * x * y$$

де x - комплекс кислот, %,

y - карбамід, %

Аналізуючи вплив складу вогнезахисної речовини можна зробити висновок, що для забезпечення показників вогнезахисту оптимальним співвідношенням кислоти до карбаміду є 1:1 – ФК:ЕК, а саме введення їх у кількості: 26-27% комплекс кислот та 28-30% карбамід.

Проведені дослідження з визначення індексу горючості та максимальної температури вихідних газів з установки при термічній дії на деревину. Результати досліджень наведено в табл. 4.13.

Час проходження фронтом полум'я контрольних точок

зразок деревини	Темпера- тура димових газів, °С		Час займан- ня, с	Час проходження фронтом полум'я ділянок зразка, с									Час досяг- нення T_{\max} димових газів, с	Довжи на горіння зразка, мм	Індекс горю- чості
	T_1	T_{\max}		1	2	3	4	5	6	7	8	9			
Необроб.	68,3	234	146	2	4	6	10						295	120	73,67
Захищені й від вогню	66,9	105	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	600	0	0

Дослідження показали, що при початковій температурі газоподібних продуктів горіння $T=68$ °С, при дії радіаційної панелі на необроблений зразок загорівся після 146 с, полум'я поширилося по всій поверхні, натомість, зразок захищений органо-неорганічною композицією не загорівся, максимальна температура становила 105 °С.

Таким чином, встановлено, особливості гальмування процесу займання та поширення полум'я деревини, що оброблена органо-неорганічною композицією, які полягають у декількох аспектах. Це, утворене тепло ізолювального шару коксу, що запобігає вигоранню і проходженню високої температури до матеріалу, що і підтверджується відсутністю процесу займання захищеної деревини.

Встановлення кількості антипіренів і гідрофобізатора в деревині за умови досягнення мінімальної втрати маси зразка проводили під час випробувань з визначення вогнезахисної ефективності за стандартною методикою. В якості об'єкту досліджень використовували деревину, оброблену покриттям засіб вогнезахисний “Фасрвол-лак” та гідрофобізатором однокомпонентним алкідно-поліуретановим лаком торгової марки “Композит” (Україна), який передбачає покриття деревини у кількості близько 55..60 г/м². Результати отриманих даних

наведено на рис. 4.18., 4.19..

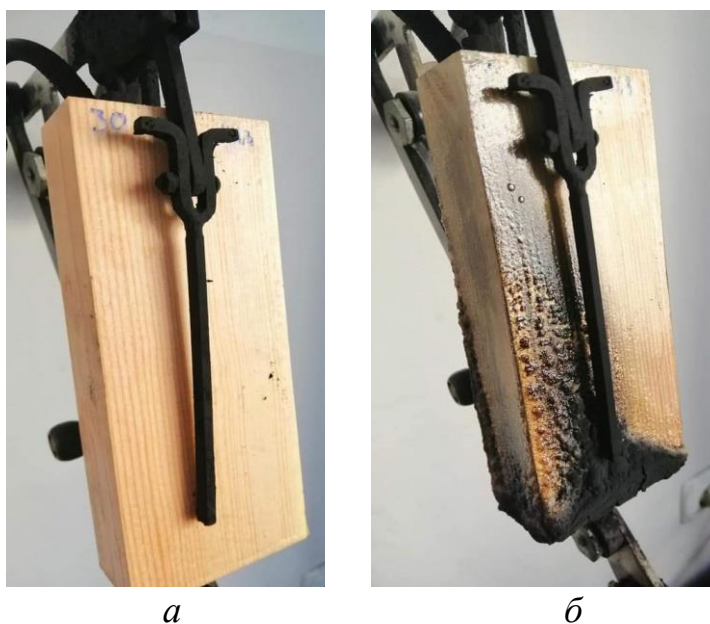


Рис. 4.18. Зразок деревини: *a* – до випробувань; *б* – після термічної дії

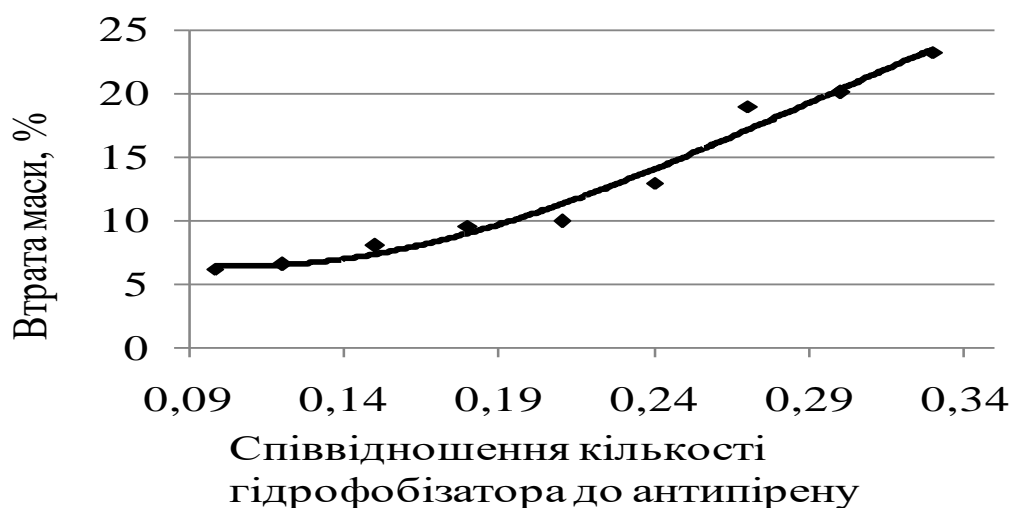


Рис. 4.19. Визначення втрати маси (%) залежно від співвідношення гідрофобізатора та антипірену для зразків деревини сосни

Як видно з рис. 4.19., найбільша ефективність вогнезахисту деревини сосни досягається при найменшій втраті маси при горінні зразків, тобто, коли співвідношення кількості гідрофобізатора до антипірена мінімальне.

Враховуючи результати з визначення втрати маси деревини сосни (рис.4.19), за допомогою трьох факторного симплекс-центрального методу планування експерименту в математичному середовищі Statistica 12 проведено статистичне оброблення результатів.

У якості факторів варіювання були обрані: кількість гідрофобізатора, г/м^2 (фактор X_1); кількість покриття, г/м^2 (фактор X_2), зміна яких наведена в табл. 4.14.

Таблиця 4.14

Фактори варіювання

Фактори	Код	Рівні варіювання			Інтервал варіювання
		-1	0	+1	
кількість гідрофобізатора, г/м^2	X_1	50	55	60	5
кількість покриття, г/м^2	X_2	500	580	660	80

У якості вихідного параметру (функції відгуку) було обрано втрату маси матеріалу, значення якого фіксували на зразках, що піддавалися вогневого впливу. Матриця планування експерименту та її математична реалізація наведена в табл. 4.15.

Таблиця 4.15

Матриця експерименту та її реалізація

№ з/п	Фактори, вигляд		Матриця планування		Функція відгуку	
	X_1	X_2	кількість гідрофобізатора, г/м^2	кількість покриття, г/м^2	Y фактичне	Y розраховане
1	1	1	60	660	9	8,93
2	1	-1	60	500	14	13,67
3	-1	1	50	660	7	7,07
4	-1	-1	50	500	10	9,80
5	1	0	60	580	11	11,40
6	-1	0	50	580	8,4	8,53
7	0	1	55	660	6,2	6,20
8	0	-1	55	500	9,4	9,93
9	0	0	55	580	8,2	8,17
10	0	0	55	580	8,8	8,17
11	0	0	55	580	9,1	8,17

У результаті моделювання отримані рівняння регресії та побудовані тернарні поверхні змін вихідного параметру в залежності від змін факторів варіювання (рис. 4.20.).

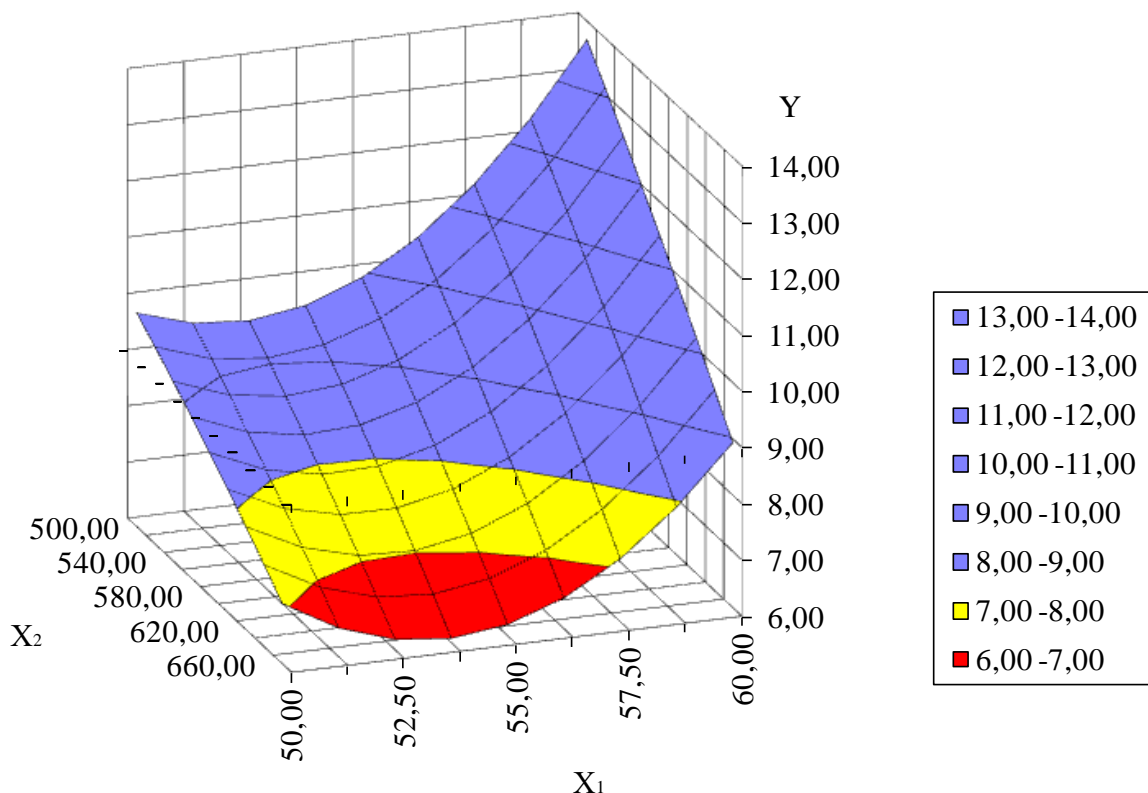


Рис. 4.20. Тернарні поверхні змін вихідного параметру в залежності від змін факторів варіювання кількості захисного покриття

Рівняння регресії:

$$Y=8,176+1,443X_1-1,867X_2+1,8X_1 \cdot X_1-0,1X_2 \cdot X_2-0,5X_1 \cdot X_2, \quad (2)$$

де X_1 – кодове значення, що відповідає кількості гідрофобізатора, X_2 – кодове значення, що відповідає кількості покриття.

На основі проведеного комп'ютерного моделювання визначено найкраще значення кількості захисного покриття, що забезпечує виконання поставленої задачі, а саме найменше значення втрати маси деревини захищеної від вогню, яке отримано при кількості антипірену у 589 г/м^2 та кількості гідрофобізатору

54 г/м². Статистична значущість отриманих результатів підтверджується комп'ютерним розрахунком критерію Фішера, який менше табличного значення, що свідчить про адекватність оптимізаційної моделі.

4.4 Визначення експлуатаційних властивостей захищеної деревини покриттям

Експлуатаційна надійність і ефективність вогнезахисту деревини залежить від якості та реакційної здатності вогнезахисного засобу, а також від класу умов експлуатації об'єкта, де застосовуються ці матеріали. Інколи при експлуатації захищеної деревини в умовах коливання температурно-вологісних полів у широких межах, водорозчинні композиції вимиваються, що приводить до займання горючих конструкцій при дії високотемпературного полум'я. Необхідність вогнезахисту необхідна і для об'єктів масового перебування людей, які виготовлені з дерев'яних конструкцій і експлуатуються без опалення, періодично, оскільки вогнезахист вимивається з деревини, та осипається під дією гравітаційних сил.



Рис. 4.21. Модельні зразки деревини для випробувань: *а* – сосна; *б* – смерека; *в* – бук

Дослідження протидії вимиванню захисного засобу з деревини, обробленою вогнезахисною композицією, проводили на зразках рівношарової деревини розміром 150×60×30 мм (рис. 4.21.).

Зразки обробляли органо-неорганічною композицією $270,2 \text{ г/м}^2$, при цьому товщина вогнезахисного покриття склала близько 100 мкм [144]. За для підвищення стійкості проти дії води зразки покривали полімерними сумішами на основі поліуретанових органічних покриттів виробництва України у кількості 100 г/м^2 [145]. Товщина відповідно склала близько 40 мкм .

Зразки оброблені вогнезахисною композицією та нанесеним захисним шаром з обробленими парафіном торцями (товщиною 2 мм), поміщали й закріплювали в кюветі з дистильованою водою об'ємом 100 см^3 (рис. 4.21). Через певний проміжок часу, перемішавши розчин скляною паличкою, за допомогою піпетки відбирали 5 см^3 води та визначали в ній концентрацію антипірену [9].

Дослідження з визначення горючості деревини після експозиції води проводили методом термічного впливу.

Вплив на гальмування процесу вимивання антипіренів з вогнезахищеної деревини за наявності полімерної оболонки ґрунтувалось на проведенні дослідження (рис. 4.22.).



Рис. 4.22. Процес вимивання антипіренів водою із зразка деревини

Результати досліджень з визначення тривалості індукційного часу виходу антипірена з захищеної деревини через шар полімерної оболонки наведено в табл. 4.16.

Результати досліджень з визначення кількості вимитого антипірену у воді

Час експозиції, діб	Кількість вимитого антипірену у воді, мг		
	Деревина		
	Сосна	Смерека	Бук
0,5	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено
1	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено
6	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено
12	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено
18	Сліди	Сліди	Сліди
24	0,01	0,03	0,02
30	0,18	0,16	0,15

Як видно з табл. 4.16, при дії води на зразки деревини полімерна оболонка витримала вплив вологи, а незначну кількість вимитого антипірену зафіксували після 30 доби експозиції водою деревини, що не перевищує 3,0 %.

Для більш повного підтвердження стійкості до вимивання водорозчинних солей даної композиції проведені дослідження по визначенню групи горючості захищеної деревини після експозиції водою.

Після експозиції у воді зразки були висушені і піддані термічній дії на визначення групи горючості. На рис. 4.23 показано результати дії високотемпературного полум'я, на рис. 4.24 наведено втрату маси зразків після випробувань, а на рис. 4.25 – температура димових газів.

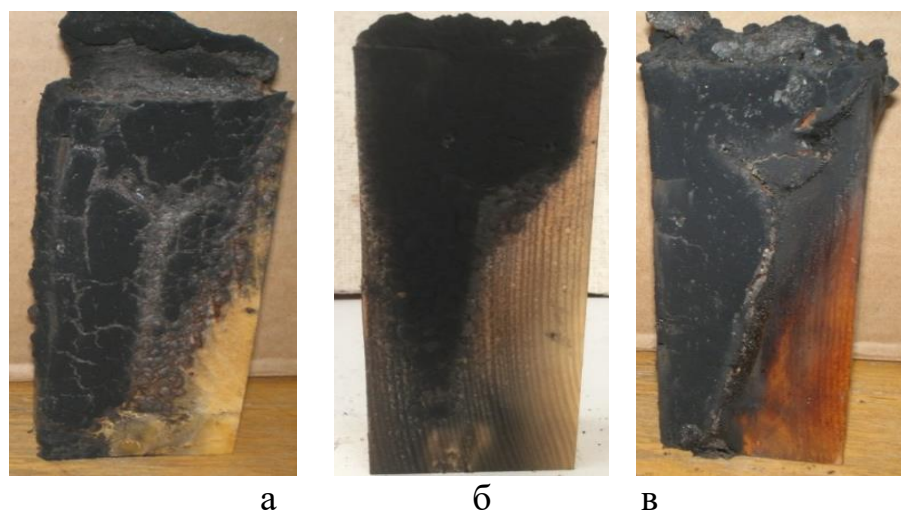


Рис. 4.23. Зразки після вогневих випробувань виготовлених з деревини: *а* – сосна; *б* – смерека; *в* – бук

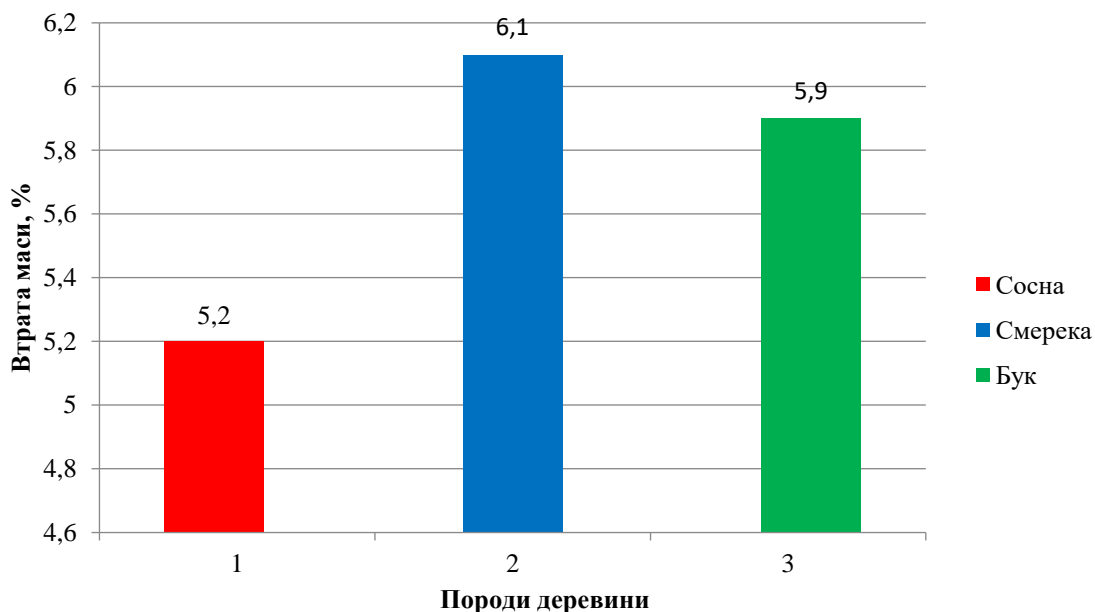


Рис. 4.24. Результати втрати маси зразків Δm , % захищеної від вогню деревини: 1 – сосна; 2 – смерека; 3 – бук

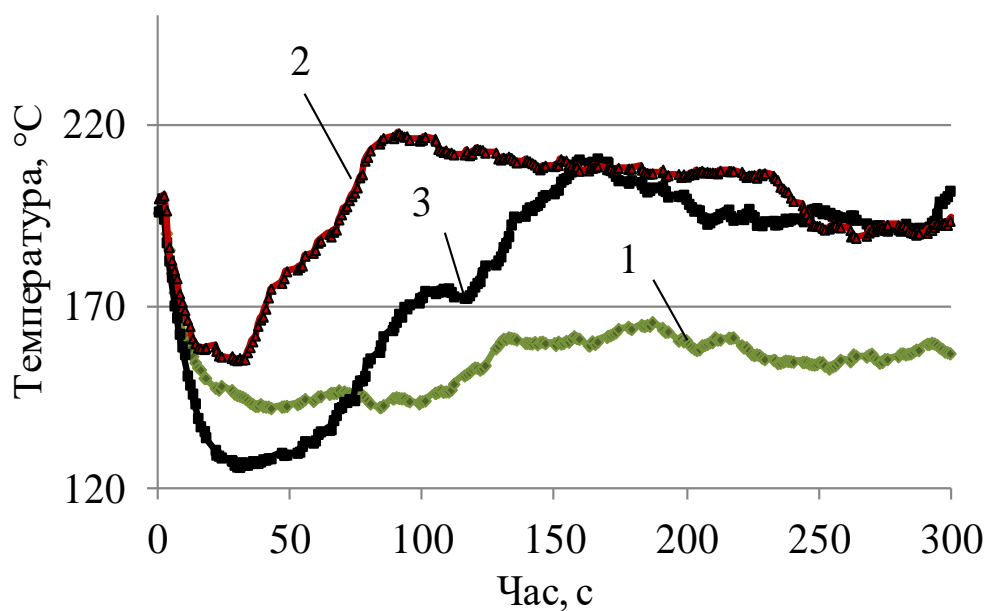


Рис. 4.25. Динаміка наростання температури димових газів при випробуваннях захищеної від вогню деревини: 1 – сосна; 2 – смерека; 3 – бук

У результаті досліджень встановлено, що зразки, які пройшли експозицію води протягом 30 діб, після термічної дії втратили масу не більше 6,2 %, а температура димових газів при горінні склала не більше 220 °C. За цими результатами захищені зразки деревини відносяться до важко горючих матеріалів.

Таким чином, отримані дослідження з визначення групи горючості захищеної деревини відповідають властивостям утворення теплостійкого шару піно коксу під дією високотемпературного полум'я, а значить показують стійкість полімерної оболонки до вимивання водорозчинних антипіренів під впливом води, що підтверджують результати теоретичних досліджень

4.4.1 Визначення атмосферо стійкості захищеної деревини

Час експлуатації захищеної деревини багато в чому залежить від стійкості захисних засобів до вимивання, що визначається фізичними і фізико-хімічними властивостями системи капілярно-пористої структури деревини заповнюваної вогнезахисним засобом. Відповідальним процесом цього явища є процес масо переносу води. Керувати таким процесом можна створенням різного роду перешкод, які б перешкождали адсорбції пари води. Однією з таких перешкод може бути полімерна плівка на поверхні захищеної деревини. При наявності такої перешкоди зміниться механізм процесу масо передачі [146]. Процес ускладнюється тим, що додається стадія дифузії молекул води через полімерну плівку покриття в капіляри деревини, далі йде стадія дифузії води і компонентів через полімерну плівку назовні деревини в навколишнє середовище. Ці дві стадії створюють індукційний період у процесі втрати адгезійної здатності деревини. Чим більше індукційний період, тим ефективніше перешкода.

Для оцінки ступеня гідрофобізації деревини спочатку були проведені випробування необроблених зразків. При дії гідростатичного стовпа води на поверхню (площею $S = 0,00423 \text{ м}^2$) на необроблені зразки, за короткий проміжок часу відбувалось їх просочення водою та інтенсивне витікання через випробувальний зразок. Потім були проведені випробування зразків, які були оброблені гідрофобізуючими засобами. Під час випробувань зразків деревини захищеного полімерною плівкою препарату «Гембар» (ДСА-1) було встановлено незначне просочення за час що значно перевищує значення ніж необробленої понад 2 разів, натомість для зразків оброблених алкід-поліуретановим лаком це значення підвищується більш ніж у 9 разів (табл. 4.17).

Оцінка ступеня гідрофобізації деревини

Зразок	Час замикання контакта при дії води τ , с	Кількість поглинутої води, кг	Коефіцієнт ефективності, K
Деревини сосни без гідрофобізатора	306	0,009	-
Деревини сосни оброблений ДСА-1	2122	0,008	8.71819
Деревини сосни оброблений гідрофобізатором на основі алкід- поліуретанового лаку	12600	0,001	9.975714

Як було встановлено при розрахунку для зразків целюлозовмісних матеріалів з недостатнім захистом гідрофобізатора коефіцієнт ефективності знаходиться в межах $6 \div 9$, а для необхідного захисту він повинен бути не менше 9,5.

Відповідно до поставленої задачі, була розроблена експрес-методика та проведенні дослідження з визначення тривалості вогнезахисту деревини, обробленої покриттями на основі сумішей органічних та неорганічних речовин, так і нових вогнезахисних композицій.

Випробування проводили на фоні створення циклічних умов для прискореної (штучної) дифузії води шляхом витримування зразків за перемінних значень температури та вологості (4 цикли прирівнюють до одного умовного року застосування засобу за умов реальної експлуатації) в камері холоду (рис. 4.26).

Для проведення випробувань зразки відповідно до ГОСТ 16363 [132] перед обробленням вогнезахисним засобом висушували в сушильній шафі при температурі 50 ± 3 °C до постійної маси. Підготовлені зразки деревини обробляли органо-неорганічним покриттям. З цих зразків довільно відбирали необхідну кількість контрольних, які кондиціонували, інші зразки випробували на визначення терміну експлуатації.



Рис. 4.26. Холодильна камера

Після закінчення чотирьох циклів прискореної дифузії води з деревини ” (або одного умовного року зберігання захищеної деревини) визначають вогнезахисну ефективність зразків після випробувань, а також контрольних.

Ефективність вогнезахисту деревини після випробувань за експрес-методикою проводили згідно з ГОСТ 16363 [132]. Після випробувань проводять оцінку величини втрати вогнезахисних властивостей в порівнянні з контрольними зразками. Результати досліджень наведено в табл. 4.18.

Якщо втрата маси зразка не більше 9 %, для засобу захисту деревини встановлюють I групу (першу) вогнезахисної ефективності. При втраті маси зразка більше 9 %, але не більше 25 %, для засобу захисту деревини встановлюють II групу вогнезахисної ефективності.

При втраті маси зразка більше 25 % вважають, що даний засіб не забезпечує вогнезахисту деревини.

Для визначення здатності гідрофобізаторів зберігати експлуатаційні властивості деревини упродовж терміну експлуатації проведено дослідження водо поглинання захищеною деревиною згідно з [139].

Результати визначення ефективності захисту для деревини, залежно від кількості циклів на «прискорену дифузію»

Зразок деревини	Кількість циклів випробувань	Середня маса зразка, г		Втрата маси зразка, %	Група ефективності
		До	Після		
		Випробувань			
Оброблений органо-неорганічним покриттям	Контрольний	144,3	133,9	7,2	I
	4	145,9	134,1	8,1	I
	16	152,3	138,8	8,8	I
	28	138,1	126,1	8,7	I
	42	136,7	125,6	8,1	I
	60	138	126,4	8,4	I
	68	145,6	131,2	9,8	II
	72	148,1	134,2	9,4	II
Органо-неорганічним покриттям з гідрофобізатором на основі алкід-поліуретанового лаку	контрольний	144,2	131,9	8,5	I
	20	139,7	127,5	8,7	I
	40	147,5	135,1	8,4	I
	80	142,1	129,6	8,7	I
	120	143,2	128,5	10,2	II

Всі зразки поміщали в ексікатор (рис. 4.27) і періодично їх зважували для визначення маси поглинутої води. Дослідження проводили на зразках деревини обробленої органо-неорганічним покриттям поверхневим нанесенням. Результати дослідження наведено в табл. 4.19.

Таблиця 4.19

Результати дослідження гігроскопічності вогнезахисної деревини

Зразок деревини сосни	Середня маса зразка, г		Поглинання води, %
	До	Після	
	випробувань		
Необроблений	133,71	149,06	10,7
Оброблений органо-неорганічним покриттям з гідрофобізатором на основі алкід-поліуретанового лаку	169,22	171,53	1,2

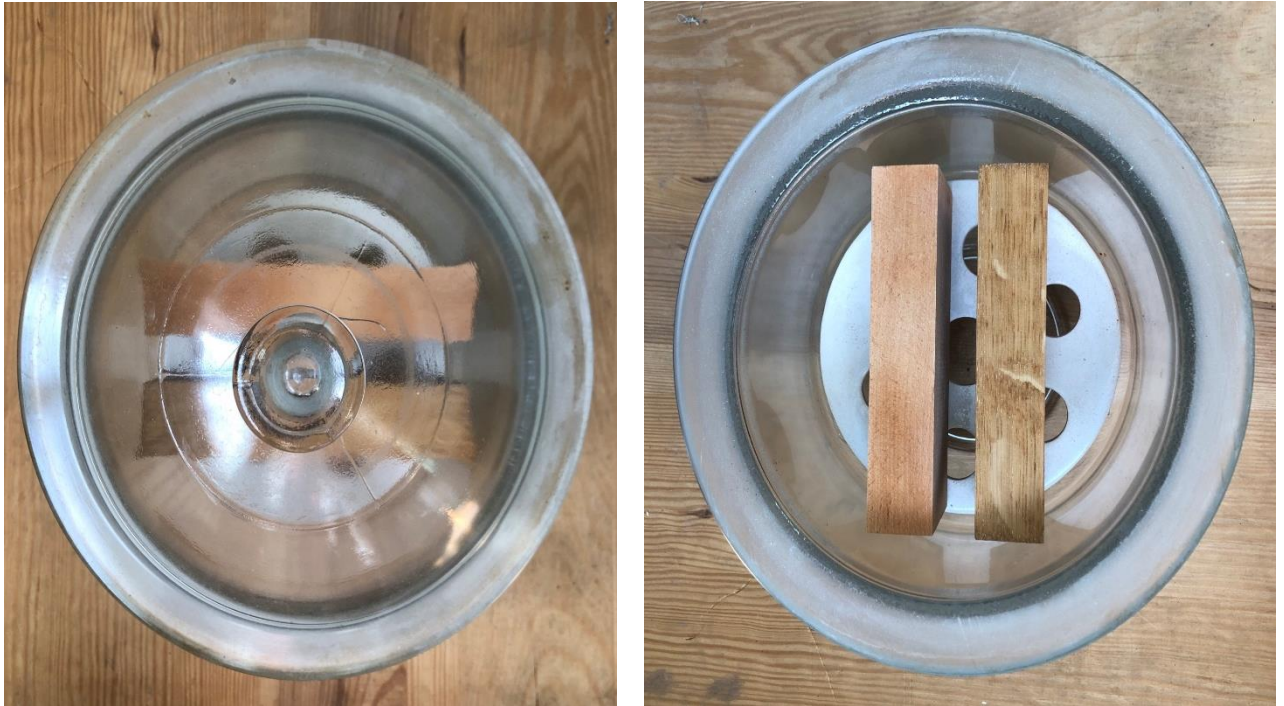


Рис. 4.27. Ексикатори зі зразками для випробувань

Таким чином, матеріали з захищеної деревини в результаті поверхневого оброблення з гідрофобізатором на основі алкід-поліуренітанового лаку втрачають здатність змочуватися водою та її поглинати, що забезпечує їм стійкість до дії атмосферних факторів.

4.4.2 Корозійна дія захищеної покриттям деревини на кольорові метали

Вибір способу захисту деревини, захисного засобу проводять з урахуванням конструктивних та технологічних вимог, що пред'являються до модифікованої деревини та у відповідності до умов експлуатації.

Елементи з деревини перебувають у контакті з металами (сталь, мідь, алюміній, магній та їх сплави), тому необхідно під час вибору захисного засобу враховувати корозійну активність на ці метали, оскільки покриття деревини може спричинювати їх корозію. Для визначення корозійної дії захищеної від вогню деревини на метали взято за основу методику (п. 5.12 ГОСТ 30219 [139]).

Результати визначення корозійної дії захисних засобів для деревини, що нанесено на зразок, наведено в табл. 4.20.

Результати визначення розвитку процесу корозійного руйнування металів при контакті з захищеною деревиною

Деревина	Середня питома швидкість втрати маси металевої пластини, г/м ² ·год			
	Сталь	Мідь	Оцинкована жерсть	Алюміній
Деревина сосни захищена органо-неорганічним покриттям	0,022	0,146	0,034	0,0025
Та ж деревина з гідрофобізатором на основі алкід-поліуретанового лаку	Корозію не зафіксовано			

Як видно з отриманих даних, більшу корозію при контакті з деревиною, захищеною органо-неорганічним покриттям з гідрофобізатором на основі алкід-поліуретанового лаку, має мідь але в межах нормованих за ГОСТ 30219 [139]. Оскільки за рахунок полімерної плівки гідрофобізатора у декілька разів зменшується проникність компонентів антипірену, що викликають корозію, та виключає вихід солей, які взаємодіють з металами.

4.5. Оцінювання ефективності захисту деревини органо-неорганічною композицією при її застосуванні в якості тари для зберігання вибухонебезпечних речовин.

На сьогоднішній день одним із високоефективних військових способів запалювання різних речовин і матеріалів є рідкі запалювальні суміші, зокрема, бензин та інш. Тому проведені дослідження ставили за мету визначити особливості вогнезахисту дерев'яної тари під час дії полум'я бензину.

Для дослідження горючості дерев'яної тари, використовували зразки деревини захищеної від вогню покриттям на основі суміші органічних та неорганічних речовин (наповнених інертним наповнювачем зеленого кольору) з витратою 260 г/м².

У якості пального використовували бензин, при горінні якої виділяється температура понад 800 °С, що достатня для запалювання деревини [147].

Визначення вогнезахисної ефективності тари, виготовленої з деревини проводили за робочою методикою, суть якої полягала у експериментальному визначенні ефективності вогнезахисту дерев'яної конструкції, обробленої засобами для деревини під час впливу на зразок полум'я бензину та реєструванні втрати маси зразка після випробування.

Критерієм визначення ефективності вогнезахисту тари є відповідність значення показника втрати маси тари, яка повинна становити не більше 15 %, а також остаточне горіння після вигорання пального, прогорання матеріалу та час спрацювання піропатронів.

На рис. 4.28 показано результати випробувань необробленого зразка, на рис. 4.29 – зразка обробленого спучуючим покриттям. В таблиці 4.21 приведено результати втрати маси та час спрацювання піропатронів.



Рис. 4.28. Результати випробувань необробленого модельного зразка.



Рис. 4.29. Результати випробувань модельного зразка обробленого покриттям.

За результатами натурних випробувань, встановлено повне вигорання необробленого зразка тари, натомість для захищеної від вогню зразка зафіксовано спучення захисного покриття, зниження вигорання понад 7,5 разів.

Таблиця 4.21.

Результати випробувань тари для зберігання боєприпасів

Модельний зразок тари для випробувань	Маса зразка, кг		Час спрацювання піропатронів, с	Втрата маси зразка після випробувань Δm , %
	До випробувань	Після випробувань		
необроблений	1,780	0,652	Перший – 820 Другий – 890 Третій – 920 Четвертий – 930 П'ятий – 990	63,4
оброблений покриттям	1,916	1,751	відсутній	8,6

За результатами натурних випробувань, встановлено повне вигорання необробленого зразка тари, натомість для вогнезахисного зразка зафіксовано спучення захисного покриття, зниження вигорання понад 7,5 разів (Додаток Ж).

Таким чином, застосування вогнезахисних засобів для деревини передбачає визначення їх пожежобезпечних властивостей, тобто спроможність деревину до важко горючих матеріалів протягом певного проміжку часу. Однак, при розробленні вогнезахисних покриттів для деревини, виникає необхідність визначення гарантійного терміну на атмосферо стійкість, взаємодію як з деревиною, так і з металевими конструкціями. Крім того, окремі складові покриттів можуть взаємодіяти з компонентами деревини, знижуючи при цьому адгезійні властивості покриттів і, з часом, осипатися (такі як, неорганічні покриття на рідкому склі).

Вище наведені питання спонукають до розроблення багатofакторного підходу до визначення властивостей вогнезахисних покриттів для деревини під час розроблення, у тому числі пожежобезпечних і експлуатаційних.

4.6. Висновки до розділу 4

1. Виявлено механізм вогнезахисту деревини при застосування органо-неорганічної композиції який полягає в утворенні на поверхні деревини спученого шару піно коксу. При цьому збільшується залишок деревини при термогравітичному аналізі майже в 3 рази, знижується кількість горючих газів в летких залишках термодеструкції а енергія активації розкладу деревини збільшується в понад 2,3 рази. Наявність вогнезахисного органо-неорганічного покриття на деревині змінює процес термодеструкції, зменшує кількість горючих газів, які флегматизуються великою кількістю азоту та діоксиду вуглецю, що відповідно підтверджується результатами визначення індексу горючості

2. Встановлено відповідність вогнезахисних властивостей деревини обробленої органо-неорганічною композицією проведено експериментальні дослідження, що характеризується втратою маси до 2,5%, температурою

димових газів менше 180°C а також знижує теплоту згорання матеріалу в 1,5 рази та переводить деревину до групи важкогорючих матеріалів.

3. Експериментально встановлено, що швидкість вигорання зразків деревини, оброблених просочувальними засобами та покриттями порівняно з необробленими зменшується в 7,1 рази та характеризується розкладом антипіренів під дією температури з поглинанням тепла та виділенням негорючих газів, гальмування окислення в газовій і конденсованій фазі, при цьому композиція спучується, що сприяє утворенню тепло ізолювального шару коксу, який і запобігає вигоранню деревини та проходженню високої температури до матеріалу.

4. В результаті практичних та теоретичних досліджень отримано новий тип покриттів на основі органо-неорганічних речовин, який здатний утворювати на поверхні деревини спучений тепло ізолювальний шар піно коксу та запобігати проникненню високої температури.

5. Розроблено багатофакторний метод оцінювання експлуатаційних, зокрема, вимивання, гігроскопічність, корозійна дія на метали, та вогнестійких властивостей за показниками горючості, поширення полум'я та димоутворювальної здатності. Результати визначення властивостей захищеної від вогню деревини показали, що оброблені матеріали з деревини при застосуванні гідрофобізатора відносяться до атмосферостійких та важкогорючих. На основі випробувань на модельних зразках захищеної від вогню деревини показали, що покриття при дії високої температури утворює спучений шар піно коксу, сприяє тепло ізолювальні поверхні деревини, та запобігає проходженню високої температури до матеріалу і вигоранню деревини. При цьому знижується димоутворюваність і горіння матеріалу. Загалом ефективність вогнезахисту деревини, отримана при багатофакторному визначенні пожеже небезпечних властивостей, показала, що вироби належать до важкогорючих матеріалів, які повільно поширюють полум'я та з низькою димоутворювальною здатністю.

6. Підтверджено правомірність спільного застосування гідрофобізаторів з вогнезахисним покриттям деревини на конкретних моделях впливу зміни

вологості і температури. Проведені дослідження з визначення ступеня гідрофобізації деревини, корозійної дії захисних засобів на метали та тривалості вогнезахисту деревини шляхом їх витримування при перемінних значеннях температури та вологості показали, що застосування гідрофобізатора суттєво захищає деревину від дії вологи та масопереносуантипіренів, а саме, проникаючи в пори деревини, гідрофобізують капіляри та мікротріщини поверхні, утворюючи захисну полімерну плівку, що підвищує експлуатаційні показники.

7. Досліджена ефективність вогнезахисту дерев'яної тари для зберігання вибухонебезпечних виробів та встановлено, що необроблений зразок здатний до займання та поширення полум'я поверхнею, що призводить до спрацювання піропатронів та руйнування конструкції, натомість модельний зразок дерев'яної конструкції оброблений захисним покриттям від вогню після вигорання пального не горів, при цьому зафіксовано спучення захисного покриття на окремих ділянках під час дії полум'я, зокрема у нижній частині.

Розділ 5

ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ЗАСТОСУВАННЯ ПОКРИТТЯ НА ОСНОВІ СУМІШІ ОРГАНІЧНИХ ТА НЕОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН ДЛЯ ДЕРЕВИНИ

Захист дерев'яних конструкцій повинен здійснюватися відповідно до вимог відомчих та Державних будівельних норм [133]. Пошкодження захисних покриттів (оброблення, спеціальних фарб, лаків, обмазок тощо) будівельних конструкцій, оздоблювальних і теплоізоляційних матеріалів, перегородок та інші повинні негайно усуватись.

Нормативна документація на засоби захисту деревини повинна включати в обов'язковому порядку відомості про її захисну ефективність, визначеної у відповідності з Державних будівельних норм, а також нормативними документами на проведення робіт.

5.1. Проект регламенту робіт з вогнезахисту дерев'яних конструкцій і елементів інтер'єрного спорядження будівель і споруд

На основі проведених досліджень було розроблено, впроваджено та сертифіковано вогнезахисний засіб на основі органо-неорганічних речовин під назвою «Фаєрвол-лак». Засіб вогнезахисний для дерев'яних конструкцій «ФАЄРВОЛ-ЛАК» (далі – засіб) виготовляється у відповідності до ТУ У 20.5-34384974-001:2019 (Додаток Б, В, Г, Д).

Засіб являє собою спучувану (терморозширюючу) систему для дерев'яних конструкцій і елементів інтер'єрного спорядження будівель і споруд, шляхів евакуацій, дерев'яних конструкцій мансардних приміщень.

Під час дії полум'я на покриття на основі вогнезахисного засобу утворюється тепло ізолюючий спучений коксовий шар, що знижує тепло перенесення, який ускладнює потрапляння горючих газоутворюючих продуктів в зону полум'я та обмежуючий потрапляння кисню. Спінений коксовий шар

уповільнює розповсюдження полум'я по поверхні деревини та уповільнює зменшення робочого перерізу дерев'яних конструкцій.

Матеріал має антисептичні властивості та здатен захистити деревину від біологічного руйнування в умовах експлуатації деревини класів служб з I по VII включно.

Засіб не утворює корозію при контакті з металевими елементами конструкції.

5.1.1. Характеристики засобу.

Засіб на водній основі, прозорий, в густому у вигляді, містить в собі антипірени, коксо та газоутворюючі добавки. Засіб не містить прекурсорів. Характеристика органо-неорганічного засобу наведена в табл. 5.1.

Таблиця 5.1.

Характеристика органо-неорганічного засобу

Основа	Водорозчинна
Масова частка нелетких речовин, не менше, % мас	65
Зовнішній вигляд покриття	Суцільне без відшарувань, здуття і включень, безкольорове, відтінок не нормується
Зовнішній вигляд засобу	Однорідна маса без грудок, згустків і сторонніх включень
Час висихання покриття до ступеню 3, не більше, год.	6

Дерев'яні елементи та конструкції, які оброблені засобом «ФАЄРВОЛ-ЛАК», мають наступні показники вогнезахисту табл. 5.2.

Показники вогнезахисту органо-неорганічної композиції

Група горючості	Г1
Група займистості	В1
Показник димоутворювальної здатності	Д2, помірне димоутворення
Показник токсичності продуктів горіння	Т1, малонебезпечний матеріал
Група поширення полум'я по підлозі	РП1

Можливе колірування засобу «ФАЄРВОЛ-ЛАК» пігментами та пігментними пастами на водній основі.

Умови застосування:

- Діапазон температур при нанесенні засобу, °С +5 °С...+35 °С
- Діапазон температур при експлуатації покриття, °С -25 °С...+50 °С
- Відносна вологість при експлуатації, % не більше 75
- Строк експлуатації покриття (не менше), років 5*

** строк експлуатації вогнезахисного покриття залежить від умов його експлуатації, від застосованого захисного лакофарбового матеріалу, та, при дотриманні всіх умов цього Регламенту (в частині транспортування, зберігання, нанесення та експлуатації), може становити не менше 5 років.*

Розрахунок витрати засобу.

Розрахунок витрати засобу згідно з сертифікатом відповідності № UA.032.CC.0147-20 від 17.07.2020 р., (Додаток Г) без урахування технологічних втрат, для забезпечення нижченаведених показників пожежної безпеки (не менше):

- 0,579 кг/м² – засіб вогнезахисний «ФАЄРВОЛ-ЛАК»;
- 0,057 кг/м² – захисний фінішний лак.

В реальних умовах, при розрахунку витрати вогнезахисного засобу, необхідно враховувати технологічні втрати, а також шорсткість дерев'яних конструкцій, що захищаються. Ці показники мають вплив на витрату вогнезахисного засобу.

Для досягнення групи горючості Г1 (В1, Д2, Т1, РП1) при товщині покриття не менше 0,3 мм:

$$N=(0,579+0,057) \cdot S \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3, \quad (5.1)$$

де, S – площа поверхні, що оброблюється, м²;

A_1 – втрати, що залежать від способу нанесення;

A_2 – втрати, що залежать від розмірів та профілю конструкції;

A_3 – втрати, що залежать від стану поверхні деревини.

У сертифікатах відповідності на засіб «ФАЄРВОЛ-ЛАК» витрата вказана під час нанесення на гладку стругану поверхню без урахування технологічних втрат.

Технологічні втрати, при вогнезахисній обробці деревини, включають наступні складові:

- Втрати, що залежать від способу нанесення (A_1) табл. 5.3.

Таблиця 5.3.

Коефіцієнти втрат при різних способах нанесення

Метод нанесення	Коефіцієнт втрат
безповітряне розпилення	5...30 %
повітряне розпилення	20...60 %

При розпиленні (механізованому нанесенні) додаються втрати, які залежать від умов нанесення. Якщо роботи виконуються на відкритому повітрі або в незакритих приміщеннях, з'являються втрати, які викликані дією повітря або протягів. При повітряному розпиленні, під дією повітря на відкритому просторі, такі втрати можуть досягати 100 %.

- Втрати, які залежать від розмірів та профілю конструкції (A_2) (2÷16 %) табл. 5.4. Ці втрати визначаються, як співвідношення площі частини плями

факелу засобу, яка накриває конструкцію в процесі нанесення до повної площі самої плями факелу.

Таблиця 5.4.

Значення коефіцієнта A_2 для різних дерев'яних конструкцій

№	Тип конструкції	Значення коефіцієнту
1	Брус	
	Висота конструкції ≥ 200 мм	0,13
	Висота конструкції < 200 мм	0,15
2	Складні різноплощинні конфігурації	
	Висота (середній розмір) ≥ 300 мм	0,13
	Висота (середній розмір) < 300 мм	0,16
3	Об'ємні коробчасті конструкції з прямолінійними та обтічними поверхнями	
	Розмір перетину $\geq 300 \times 300$ мм	0,10
	Розмір перетину $< 300 \times 300$ мм	0,14

- Втрати, які залежать від стану поверхні деревини (A_3). Ці втрати залежать від породи деревини, сторони оброблення, віку дерев'яної конструкції, вологості деревини, якості оброблення поверхні (стругана чи не стругана, шліфована). Вони можуть складати від 5 % до 40 %.

Порядок застосування засобу:

- Підготовка поверхні перед нанесенням. Поверхня конструкції, на яку буде наноситись вогнезахисний засіб, необхідно очистити від пилу, бруду, жирних забруднень та старих лакофарбових покриттів. Поверхня деревини, що підготовлена під оброблення, повинна бути сухою. При наявності на деревині старого покриття, його необхідно видалити будь-яким доступним способом. Вологість деревини повинна відповідати значенням, встановленим вимогам нормативних документів для дерев'яних конструкцій, але не повинна перевищувати 20 %.

- Підготовка засобу перед нанесенням. Засіб «ФАЄРВОЛ-ЛАК» поставляється в готовому до застосування вигляді у каністрах по 5 кг, 10 кг, 20 кг, 25 кг, євро барабанах 50 – 60 кг; захисний фінішний лак у відрах 1 кг, 3 кг, 5 кг, 10 кг. Маркування, що характеризує продукцію, здійснюється за допомогою етикетки, чітким друкарським способом і приклеєної до тари на видному місці.

Перед початком вогнезахисних робіт проводиться вхідний контроль продукції, який включає в себе перевірку супровідної документації, огляд упаковки і встановлення відповідності властивостей засобу вимогам, зазначеним в Робочому проекті проведення робіт з вогнезахисту.

Засіб має однорідну консистенцію. Після тривалого зберігання можливе невелике розшарування засобу. Перед застосуванням засіб необхідно ретельно перемішати за допомогою електричного міксера або дреля з гвинтовою насадкою на низьких обертах в заводській тарі, переміщаючи насадку по всьому об'єму тари. Після перемішування засіб повинен бути однорідним без розшарувань. Розбавляти вогнезахисний засіб не рекомендується. За необхідності допускається додати під час перемішування не більше 5 % води від загальної кількості засобу.

- Нанесення засобу. Засіб наноситься механізовано за допомогою розпилювачів та агрегатів безповітряного розпилення за температур від 5 °С до 35 °С та відносній вологості повітря до 75 %.

Витрата засобу «ФАЄРВОЛ-ЛАК» повинна бути не менше витрат, вказаних у Сертифікаті відповідності (без урахування коефіцієнтів, що враховують технологічні втрати). Ця кількість засобу наноситься механізовано в 4 – 5 шарів; захисного фінішного лаку – в 2 шари (тільки механізовано розпилювачами за допомогою фарбопультів).

Міжшарове сушіння вогнезахисного покриття повинно становити не менше 6 годин за температури повітря не нижче +20 °С і вологості повітря не більше 70 %. За більш низької температури і підвищеної вологості час міжшарового сушіння збільшується, для забезпечення якісного нанесення необхідно дотримуватись оптимальних параметрів нанесення табл. 5.5. Не рекомендується проводити обробляння в запиленому приміщенні.

Повне висихання покриття настає через 3 доби після нанесення захисного фінішного засобу.

Таблиця 5.5.

Оптимальні параметри нанесення для безповітряного розпилення

Показник	Значення
Тиск повітря на привід (для установок з пневмоприводом), МПа	0,3 – 0,8
Тиск на матеріал, не менше МПа	15
Пневмогідрозусилля (для установок з пневмоприводом)	40:1
Внутрішній діаметр шлангів, не менше мм	10
Діаметр сопла, не менше мм	0,6
Промивка обладнання:	
- після нанесення засобу «ФАЄРВОЛ-ЛАК»	вода
- після нанесення захисного лаку	розчинник

- Нанесення захисного шару. Для підвищення вологостійкості та стійкості покриття до дії агресивних середовищ після повного висихання (в залежності від температури навколишнього середовища термін 10 може становити до 21 діб) необхідно нанести захисні лакофарбові матеріали: Поліуретановий паркетний лак ТМ Kompozit (ТОВ «АДВЕНТ ІНВЕСТ»); будь-який інший поліуретановий лак зі схожими характеристиками.

Після нанесенням необхідно провести візуальний огляд вогнезахисного покриття (засіб вогнезахисний + захисний фінішний лак) – покриття повинне бути сухим, поверхня чистою, без тріщин і пошкоджень.

Для встановлення водо проникнення зразка захищеної від вогню деревини при дії води на гідрофобне покриття були проведені відповідні дослідження [148, 149], рис. 5.1.



Рис. 5.1. Випробування зразка деревини на водопроникнення

Результати досліджень із водо проникнення необробленого та обробленого зразка деревини, проведеними у лабораторних умовах, наведено в табл. 5.6.

Таблиця 5.6

Результати визначення часу водо проникнення при дії води на деревину

Деревина сосни	Час замикання контакту при дії води τ , с	Кількість поглинутої води, кг	Коефіцієнт ефективності, K
без гідрофобізатора	306	0,009	-
оброблена препаратом «Гембар»	2122	0,008	8.71819
оброблена гідрофобізатором на основі алкідно-поліуританового лаку	12600	0,001	9.975714

Таким чином час водо проникнення захищеної від вогню зразка деревини обробленого гідрофобізатором перевищує необроблений понад 30 разів.

Нанесення захисного шару проводиться згідно з інструкцією по нанесенню на застосований матеріал із середньою витратою не менше 57 г/м², якщо інші витрати не передбачені в супровідній документації або в Робочому проекті проведення робіт з вогнезахисту.

Проміжне сушіння становить не менше 6 годин.

У місцях, передбачених Проектом проведення робіт з вогнезахисту, розміщуються таблички рис. 5.2. із зазначенням засобу, який був використаний, найменуванням підрядника, а також датою проведення вогнезахисних робіт.

<p>ВОГНЕЗАХИСТ ВИКОНАНО Фірмовий знак підприємства (за наявності)</p> <hr style="width: 80%; margin: 5px auto;"/> <p>(назва та місцезнаходження суб'єкта господарювання)</p> <hr style="width: 80%; margin: 5px auto;"/> <p>(код за ЄДРПОУ, контактні телефони)</p> <hr style="width: 80%; margin: 5px auto;"/> <p>(серія, номер та термін дії Ліцензії або наказу)</p> <hr style="width: 80%; margin: 5px auto;"/> <p>(перелік виконаних робіт з вогнезахисту та назва вогнезахисного матеріалу)</p> <hr style="width: 80%; margin: 5px auto;"/> <p>(дата закінчення робіт з вогнезахисного оброблення)</p> <hr style="width: 80%; margin: 5px auto;"/> <p>(дата заміни або повторного вогнезахисного оброблення)</p>

Рис. 5.2. Зразок таблички згідно п. 6 «Правил з вогнезахисту»

Примітка: 1. Мінімальні розміри таблички повинні бути 210 × 148 мм (формат А5). 2. Таблички виготовляються з паперу, пластику, фанери, металу або інших матеріалів, які мають щільну структуру. У випадку, якщо використовується папір, то її щільність повинна бути не менше 0,2 кг/м², а лицьова сторона таблички повинна бути захищена ламінуванням. 3. Нанесення інформації виконується тільки з одного боку. Спосіб нанесення залежить від матеріалу, з якого виготовлена табличка, і повинен забезпечувати збереження

нанесеною інформації в період усього терміну експлуатації вогнезахисного покриття.

5.1.2. Контроль якості робіт з вогнезахисту.

Контроль якості покриття в літній період (температура навколишнього середовища 15 – 30 °С) здійснюється не менше ніж через 4 доби, а в зимовий період (температура навколишнього середовища 5 – 10 °С) не менше, ніж через 7 діб після нанесення останнього шару.

Оцінка відповідності виконаних робіт з вогнезахисту конструкцій проводиться в три етапи:

1. вивчення технічної документації з метою отримання вихідних даних для проведення оцінки відповідності виконаних вогнезахисних робіт;

2. візуальний контроль;

3. контроль із застосуванням контрольних-вимірювальних приладів.

При оцінці відповідності перевіряється наявність наступних документів:

- акти проміжного приймання конструкцій і акти прихованих робіт;
- підготовка поверхні;
- супровідні документи на засіб, що включають в себе дані, необхідні для його ідентифікації (накладні, паспорти якості, копії сертифікатів відповідності, Регламент робіт з вогнезахисту (Додаток Д));
- журнал вхідного контролю, де реєструються факти надходження засобу на об'єкт і результати їх вхідного контролю (за необхідності);
- журнал проведення робіт з вогнезахисту, що містить записи про виконавців і виконані роботи, із зареєстрованими результатами між операційного контролю для своєчасного виявлення дефектів і вжиття заходів щодо їх усунення (за необхідності).

Візуальний контроль полягає в оцінці зовнішнього вигляду покриття шляхом огляду. При огляді конструкцій, які захищені засобом, встановлюється відповідність поверхні покриття вимогам технічної документації на застосування засобу і визначається наявність недоліків вогнезахисної обробки:

- необроблених місць;
- тріщин, відшарувань, здуття, осипання;
- сторонніх плям, порушення цілісності покриття або інших пошкоджень.

Особливу увагу при контролі слід звертати на місця з'єднань елементів конструкцій, закриті від огляду або важкодоступні місця для нанесення вогнезахисного покриття.

Товщина покриття для переведення деревини у групу важкогорючих матеріалів повинна бути не менше 0,3 мм.

Вимірювання товщини вогнезахисного покриття проводиться таким чином. Гострим ріжучим інструментом зрізується шар покриття розміром 1 см² і штангенциркулем або мікрометром вимірюється товщина сухого шару. Заміри товщини вогнезахисного покриття проводяться через кожні 15 – 20 метрів довжини об'єкта вогнезахисту, але не менше ніж в 10 рівномірно розташованих точках. При цьому середнє квадратичне відхилення між результатами 10 вимірювань не повинно перевищувати 10 %.

Право контролю виконання робіт з вогнезахисту мають представники замовника робіт, пожежного нагляду, експертної організації, розробника Робочого проекту проведення робіт і виробника вогнезахисного засобу. При виявленні порушень Робочого проекту проведення робіт або цього Регламенту складається відповідний Акт (довільної форми), в якому вказуються всі виявлені порушення.

Результати роботи комісії оформляються відповідним Актом оцінки відповідності вогнезахисту, а при включенні до складу комісії експертів органу з оцінки відповідності, додатково документами зі встановленим цим органом порядком.

5.1.3. Порядок утримання вогнезахисного покриття.

Експлуатація покриття повинна відбуватись за умов, які визначені в даному Регламенті. Стан поверхні вогнезахисного покриття контролюється організацією, що експлуатує об'єкт на конструкціях, до яких є доступ не рідше

ніж 1 раз на рік. Покриття, що не мають відшарувань, тріщин, здуття та інших дефектів, та якщо при цьому не допускалися відхилення від умов експлуатації, зберігає свої вогнезахисні властивості.

Стан поверхні вогнезахисного покриття конструкцій, які у відповідності з проектною документацією закриваються, та в процесі експлуатації доступ до них неможливий, перевіряється по закінченню терміну його експлуатації або при капітальному ремонті.

У випадку виявлення пошкоджень вогнезахисного покриття, необхідно відремонтувати пошкоджені ділянки. Видалення зруйнованих ділянок покриття слід проводити механічним способом. На очищені та підготовлені ділянки поверхні наноситься шар вогнезахисного засобу у відповідності до п.п. 3 та 4 дійсного Регламенту.

Строк експлуатації покриття залежить від умов експлуатації, а саме: дії атмосферних опадів, агресивних чинників, сонячної радіації, зміни температур.

Виробник засобу гарантує відповідність засобу і покриття вимогам технічних умов та цього Регламенту при дотриманні умов застосування, транспортування, зберігання, нанесення засобу та експлуатації покриття.

5.1.4. Заміна вогнезахисного покриття.

Вогнезахисне покриття потребує заміни в наступних випадках:

- закінчення терміну експлуатації покриття;
- при досягненні ступеню руйнування по одному з наступних типів руйнування табл. 5.7.

Таблиця 5.7.

Етапи руйнування вогнезахисного покриття

Тип руйнування	Характеристика руйнування
Тріщини	Займають більше 25 % поверхні
Створення кульок	1. Займають більше 25 %, з розміром кульки до 1 мм
	2. Займають більше 25 %, з розміром кульки до 3 мм
Відшарування	Займають більше 25 % поверхні

Розчинення (вимивання)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Займають більше 40 % поверхні, з глибиною розчинення до 0,2 мм. 2. Займають більше 25 % поверхні, з глибиною розчинення до 0,3 мм. 3. Займають більше 5 % поверхні, з глибиною розчинення до поверхні конструкції.
---------------------------	---

Для заміни вогнезахисного покриття поверхонь дерев'яних конструкцій необхідно очистити від старого покриття механічним способом. На очищені та підготовленні ділянки поверхні наноситься шар вогнезахисного покриття у відповідності до дійсного Регламенту.

5.1.5. Умови зберігання та транспортування.

Засіб упаковується в пластикові ємності, які маркуються етикеткою, виконаною друкарським способом із зазначенням:

- підприємства-виробника та його товарний знак;
- найменування і марки матеріалу;
- дати виготовлення;
- номер партії;
- позначення ТУ;
- маси або обсягу;
- призначення та способу застосування;
- умов зберігання та гарантійного терміну зберігання;
- знаків, що підтверджують сертифікацію продукції і позначають умови зберігання за ГОСТ 14192.

Транспортування засобу здійснюється усіма видами критого транспорту відповідно до правил перевезення вантажів, що діють на даному виді транспорту в умовах, що забезпечують збереження упаковки від пошкоджень.

Умови транспортування та зберігання засобу повинні відповідати умовам 2 з ГОСТ 15150 (зберігання в закритих або інших приміщеннях з природною вентиляцією при температурі від 5 °С до 30 °С та середньомісячній відносній вологості повітря не більше 70 %

Термін зберігання засобу «ФАЄРВОЛ-ЛАК» та захисного фінішного лаку в цілісних заводських упаковках – 18 місяців з дня виготовлення.

5.1.6. Охорона праці та техніка безпеки.

Засіб відноситься до 3-го класу небезпеки згідно з ГОСТ 12.1.007.

При застосуванні та випробуваннях вогнезахисного засобу повинні виконуватись загальні вимоги безпеки та гігієнічні вимоги до організації технологічних процесів у відповідності з СП 1042.

Вогнезахисний засіб для дерев'яних конструкцій «ФАЄРВОЛ-ЛАК» відповідає санітарному законодавству України відповідно до результатів санітарно-епідеміологічної експертизи (Висновок державної санітарно-епідеміологічної експертизи № 602-123-20-1/6717 від 02.04.2019 р.). (Додаток В)

Роботи, що пов'язані із застосуванням засобу, повинні проводитись за наявності природної чи штучної вентиляції або на відкритому повітрі.

Особи, які працюють з вогнезахисним засобом та з фінішним лаком, повинні бути забезпечені комплектом спецодягу та засобами індивідуального захисту у відповідності до ДСТУ EN 340-2001 та ДСТУ ISO 13688-2001, гумовими рукавицями за ДСТУ EN 374-1:2005, дотримуватись правил особистої гігієни, а також не допускати потрапляння засобу всередину організму.

Для захисту органів дихання необхідно застосовувати засоби індивідуального захисту за ДСТУ EN 132:2004; для захисту очей – ДСТУ EN 166-2001. В аварійних ситуаціях захист органів дихання здійснюється за допомогою протигазів з коробкою марки БКФ за діючою нормативною документацією.

Після висихання покриття не чинить шкідливої дії на організм людини.

Безпека праці повинна здійснюватись у відповідності до ДБН А.3.2-2-2009.

Роботи з обладнанням, що призначене для нанесення вогнезахисного складу, слід вести у відповідності з вимогами інструкцій та вказівок з техніки безпеки для даного обладнання. Місце проведення робіт має бути забезпечено первинними засобами пожежної безпеки. Джерела штучного освітлення мають бути розташовані таким чином, щоб на поверхні, що забарвлюються, не падали тіні від робочих. Обладнання, що працює під надлишковим тиском, повинно відповідати НПАОП 0.00-1.07-94.

Вогнезахисне покриття на основі «ФАЄРВОЛ- ЛАК» є стабільним. При проведенні робіт та експлуатації, в заявленій формі застосування вогнезахисного засобу «ФАЄРВОЛ-ЛАК», рівень концентрації шкідливих речовин в повітрі не перевищує ПДК: вінілацетат 10,0 мг/м³, формальдегід – 0,5 мг/м³, інтенсивність запаху – не більше 2-х балів.

При роботі із засобом вогнезахисним «ФАЄРВОЛ- ЛАК» та захисним фінішним лаком необхідно керуватись положеннями нормативних документів щодо запобігання забрудненню стічних вод і повітря, а також утилізації відходів. Вміст шкідливих речовин у викидах вентиляційних установок в атмосферне повітря не повинен перевищувати гранично допустимих значень. Для захисту атмосферного повітря від забруднень шкідливими речовинами повинні бути передбачені заходи щодо герметизації ємностей при зберіганні, а також герметичне виконання використовуваного обладнання.

Знищення виробничих відходів здійснюють відповідно до існуючих норм. Допускається ємності із залишками висохлих матеріалів утилізувати зі звичайними побутовими відходами і будівельним сміттям.

Засіб необхідно використовувати тільки у відповідності до інструкції з використання в заданій галузі призначення.

5.2. Дослідження придатності захищеної від вогню деревини для використання її на об'єктах будівництва

Придатність речовин і матеріалів, які використовуються на об'єктах будівництва, визначається вимогами нормативно-технічної документації з

пожежної безпеки державного та відомчого рівнів. На таких об'єктах повинні використовуватися негорючі або важкогорючі матеріали. А також, захищені від вогню матеріали повинні пройти випробування в системі УкрСЕПРО і мати сертифікат відповідності.

Вогнезахист дерев'яних конструкцій зобов'язані здійснювати відповідно до вимог Державних будівельних норм ДБН В.1.1-7, зокрема, п. 4.21: “У будинках, крім будинків V ступеня вогнестійкості, дерев'яні елементи горищних покриттів (крокви, лати) повинні оброблятися засобами вогнезахисту, які забезпечують I групу вогнезахисної ефективності згідно з ГОСТ 16363, а правилами пожежної безпеки в Україні передбачається (п. 4.2) утримання будівель, приміщень та споруд, а саме: (п. 4.2.6): “Дерев'яні конструкції в будинках усіх ступенів вогнестійкості, крім V, повинні піддаватися вогнезахисній обробці, за винятком вікон, дверей, воріт, підлоги, вбудованих меблів, стелажів, якщо в будівельних нормах не зазначені інші вимоги”.

Придатність захищеної від вогню деревини насамперед визначали шляхом проведення сертифікаційних випробувань. Випробування здійснювали відповідно до вимог ДСТУ та ТУ У 20.5-34384974-001:2019 Засіб вогнезахисний для дерев'яних конструкцій «ФАЄРВОЛ-ЛАК» (далі – засіб) виготовляється у відповідності до ТУ У 20.5-34384974-001:2019 щодо групи горючості, індексу поширення полум'я, коефіцієнта димоутворення та показника токсичності продуктів горіння. Випробування проводили в у випробувальному центрі Тест і лабораторії промислової та екологічної токсикології УкрНДІ медицини транспорту МОЗ України. За відповідними протоколами вогнезахисна деревина має такі показники: за групою горючості – важкогорючий матеріал, за індексом поширення полум'я – повільно поширює полум'я поверхнею, за коефіцієнтом димоутворення – помірна димоутворювальна здатність, за показником токсичності продуктів горіння – помірно небезпечний. Отримані показники відповідають вимогам зазначених документів. На підставі вказаних протоколів випробувань

При використанні захищеної деревини за призначенням, концентрація шкідливих хімічних речовин у навколишньому середовищі (повітрі) не більше

ГДК а.п. (середньодобової): аміаку – 0,04 мг/м³; формальдегіду – 0,003 мг/м³ згідно з ДСП 201-97 “Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними і біологічними речовинами)”.

За результатами державної санітарно-епідеміологічної експертизи “Деревина захищена від вогню”, за наданими заявником зразками відповідають вимогам діючого санітарного законодавства України і за умови дотримання вимог цього висновку можуть використовуватися в заявленій сфері застосування, а саме для виготовлення перегородок, підлоги, підвісних стель у ремонтно-оздоблювальних роботах.

На підставі такого висновку Головний державний санітарний лікар дав дозвіл на застосування цієї продукції на будівництві та в ремонті (реконструкції) будівельних конструкцій.

5.3. Техніко-економічне обґрунтування вогнезахисного поверхневого оброблення деревини

Захист дерев'яних конструкцій від термічного та біологічного розкладу повинен базуватися як на технічних, технологічних так і економічних аспектах застосування на рівні функціонально-цінового аналізу. Для його оцінки запропоновано використовувати критерії: технічний та економічний. Порівняльний аналіз різних видів захисту конструкцій побудований на тому, що необхідно враховувати вартість захисних засобів та час їхньої експлуатації.

Під час виконання робіт з вогнезахисного оброблення захисним покриттям від вогню дерев'яних поверхонь основних несучих будівельних конструкцій споруд, виробничих та складських приміщень, приміщень для зберігання хімічних речовин встановлюють його економічну доцільність.

Розрахунок виконано за формулою [125]:

$$\mathcal{E} = (C_1 - C_2) \cdot \varphi \cdot A \quad (5.1)$$

де C_1 , C_2 – собівартість 1 кг виготовлення, відповідно, вогнезахисним лаком Lussolac Fire Resistant (базовий варіант) та покриттям на органо-неорганічній основі (розроблений варіант);

ϕ – коефіцієнт зміни терміну експлуатації покриттям на органо-неорганічній основі в порівнянні з базовим варіантом (Додаток 2 СН 509–78);

A – обсяг виробництва, кг.

Собівартість дослідної партії визначали виходячи із прийнятих на виробництві норм витрат сировини та діючих оптових цін на матеріали за станом на квітень 2022 р.

Термін експлуатації покриттів, які забезпечують I групу вогнезахисної ефективності (по результатам випробувань після штучного старіння) для базового (лак Lussolac Fire Resistant) складає 4 роки, для розробленого – 6 років; коефіцієнт зміни терміну експлуатації становить 4,0 (Додаток 2 СН 509–78).

Собівартість 1 кг вогнезахисного засобу лак Lussolac Fire Resistant складає $C_1 = 460,00$ грн.

Собівартість оброблення 1 м^2 запропонованим покриттям, складає $C_2 = 5,25$ грн.

Економічний ефект при виготовленні 1 кг вогнезахисного засобу:

$$\Xi = (460,00 \cdot 4,0 - 51,20) \cdot 1 = 1788,8 \text{ грн.}$$

Економічний ефект при виготовленні 600 кг вогнезахисного засобу:

$$\Xi = (460,00 \cdot 4,0 - 51,20) \cdot 600 = 1073280,00 \text{ грн.}$$

Фактичний економічний ефект від впровадження розробленого покриття становить 1073280,00 грн. при обробленні площі $1018,7 \text{ м}^2$ (при цьому використано 600 кг покриття), або 1,70 грн. за 1 м^2 (витрата покриття становить 0,589 кг на 1 м^2); базового покриття – 276000,00 грн. при обробленні площі 1333 м^2 , або 207,0 грн. за 1 м^2 .

Таким чином, економія від застосування розробленого органо-неорганічного покриття в порівнянні з базовим, складає 351,44 грн. на 1 м^2 і дозволяє збільшити площу оброблення в 1,3 рази (Додаток Д).

5.4 Висновки до розділу 5

1. З урахуванням результатів аналітичних досліджень та вимог щодо охорони довкілля розроблено технологічний регламент на виготовлення захищеної від вогню деревини, які відповідають сучасним екологічним вимогам.

2. Розроблено практичні рекомендації отримання будівельних матеріалів захищених від вогню, а саме оброблення покриттями існуючих конструкцій, вимоги до застосування захисних засобів, виконання робіт та утримання захищених матеріалів, контроль якості робіт з захисного оброблення та в процесі експлуатації.

3. Розроблено спосіб визначення ефективності гідрофобізації деревини захищеної від вогню та малогабаритний пристрій для його реалізації.

4. Проведено дослідження придатності захищеної від вогню деревини для її використання на різних об'єктах будівництва і встановлено, що продукція відповідає вимогам ДБН В.1.1-7 "пожежна безпека об'єктів будівництва" та отримано сертифікат відповідності. (Додаток Г)

6. Інститутом екогігієни і токсикології ім. Л. І. Медведя МОЗ України проведено випробування продукції, отримано висновок Державної санітарно-епідеміологічної експертизи на захищену від вогню деревину, Головним санітарним лікарем надано Дозвіл на застосування захищеної від вогню деревини на будівництві та в ремонті.

7. Проведено техніко-економічне обґрунтування доцільності застосування вогнезахисного оброблення будівельних матеріалів та виробів. За даними техніко-економічних розрахунків, реалізація розроблених рішень при вогнезахисті конструкцій, дозволяє отримати економічний ефект при обробці запропонованим покриттям становить 1073280,00 грн. при обробленні площі 1018,7 м² (при цьому використано 600 кг покриття), або 1,70 грн. за 1 м² (витрата покриття становить 0,589 кг на 1 м²); базового покриття – 276000,00 грн. при обробленні площі 1333 м², або 207,0 грн. за 1 м².

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі подано науково-технічну задачу з підвищення вогнестійкості деревини в будівельних конструкціях шляхом застосування органо-неорганічного покриття.

Основні наукові і практичні результати за дисертаційною роботою такі:

1. Доведено, що при нагріванні деревини до критичної температури починається інтенсивний розклад матеріалу з виділенням необхідної кількості горючих газів та їх займання. Визначено закономірності процесу займання та пригнічення горіння, при розкладі вогнезахисного покриття. Розраховано час займання деревини при дії теплового потоку в 20 кВт/м^2 , що становить близько 233 с, натомість для вогнезахищеної від вогню незахищеної деревини за рахунок утворення тепло ізолюючого шару піно коксу час займання зміщується у великі часові терміни.

2. Проведено моделювання процесу передавання тепла деревиною при її захисту покриттям, визначено коефіцієнт теплопровідності та отримані залежності, що дозволяють одержувати зміну динаміки теплопередачі при спучуванні покриття. За отриманими залежностями розраховано коефіцієнт теплопровідності деревини, за рахунок утворення тепло ізолювального шару піно коксу, і становить відповідно $0,36 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. Встановлено особливості гальмування процесу передавання тепла до матеріалу, що оброблений органо-неорганічним покриттям який полягає в утворенні на поверхні деревини теплозахисного шару коксу.

3. Виявлено механізм вогнезахисту деревини при застосування органо-неорганічної композиції який полягає в утворенні на поверхні деревини спученого шару піно коксу. При цьому збільшується залишок деревини при термогравітичному аналізі майже в 3 рази, знижується кількість горючих газів в летких залишках термодеструкції а енергія активації розкладу деревини збільшується в понад 2,3 рази.

4. Розроблена математична модель вимивання антипіренів, при

застосуванні полімерної оболонки з органічного матеріалу в якості покриття, що дозволяє оцінити ефективність полімерної оболонки за кількістю вимитого антипірену. Визначено вплив оболонки на стійкість до дії води та отримані критеріальні співвідношення, що дозволяють одержувати зміну антипіренів на поверхні деревини, що характеризується критерієм Fo . При цьому обґрунтовано критерій Nu , який характеризує масо перенос за рахунок віддачі концентрації до міжфазної поверхні, що утримує антипірен. Розраховано динаміку виходу антипіренів з шару покриття деревини захищеної від вогню, що не перевищує 3,0 % та підтверджується експериментально та відповідно забезпечує вогнезахист деревини.

5. Встановлено відповідність вогнезахисних властивостей деревини обробленої органо-неорганічною композицією шляхом проведення експериментальних досліджень, що характеризується втратою маси до 2,5%, температурою димових газів менше 180°C а також знижує теплоту згорання матеріалу в 1,5 рази та переводить деревину до групи важкогорючих матеріалів.

6. Розроблено багатофакторний метод оцінювання експлуатаційних властивостей, зокрема, вимивання, гігроскопічність, корозійна дія на метали, та вогнестійких властивостей за показниками горючості, поширення полум'я та димоутворювальної здатності. Результати визначення властивостей захищеної від вогню деревини показали, що оброблені матеріали з деревини при застосуванні гідрофобізатора відносяться до атмосферостійких та важкогорючих. На основі випробувань на модельних зразках захищеної від вогню деревини встановлено, що покриття при дії високої температури утворює спучений шар піно коксу, сприяє теплоізолювальній поверхні деревини, та запобігає проходженню високої температури до матеріалу і вигоранню деревини. Визначенні вогнезахисні властивості, показали, що вироби з деревини належать до важко горючих матеріалів (Г1), які повільно поширюють полум'я поверхнею (РП1) та з низькою димоутворювальною здатністю (Д2).

7. Підтверджено правомірність спільного застосування гідрофобізаторів з вогнезахисним покриттям деревини на конкретних моделях впливу зміни вологості і температури. Проведені дослідження з визначення ступеня

гідрофобізації деревини, корозійної дії захисних засобів на метали та тривалості вогнезахисту деревини шляхом їх витримування при перемінних значеннях температури та вологості показали, що застосування гідрофобізатора суттєво захищає деревину від дії вологи та масопереносуантипіренів, а саме, проникаючи в пори деревини, гідрофобізують капіляри та мікротріщини поверхні, утворюючи захисну полімерну плівку, що підвищує експлуатаційні показники.

8. Розроблено технічні умови ТУ У 20.5-34384974-001:2019 «Засоби вогнезахисні для дерев'яних конструкцій, які відповідають сучасним екологічним вимогам, та технологічний регламент на виготовлення вогнезахисного органо-неорганічного покриття. Результати досліджень впровадженні при розробленні заходів з виготовлення вогнезахисної деревини для будівельних конструкцій на ПП «Пожтехнозахист», а також при проведенні натурних випробувань з визначення ефективності захищеної від вогню тари для зберігання вибухонебезпечних виробів.

Загальний економічний ефект від впровадження розроблених ефективних матеріалів та виробів становить 1073280,00 грн.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Перельгин Л. М., Уголев Б. Н. Древесиноведение. М.: Лесная промышленность, 1971. 286 с.
2. Уголев Б. Н. Древесиноведение и лесное товароведение : Учебник. - М. : ГОУ ВПО МГУ Л, 2007. 351 с
3. Дудкин М.С., Громов В.С., Ведерников Н.А. Гемицеллюлозы Рига: Зинатне, 1991. 488 с
4. Азаров В.И., Буров А.В., Оболенская А.В. Химия древесины и синтетических полимеров. С.-Петербург: СПбЛТА, 1999. 628 с
5. Новый справочник химика и технолога. Сырье и продукты промышленности органических и неорганических веществ. 4. П. СПб.: АНО НПО «Профессионал», 2005. 1142 с.
6. Никитин Н.И. Химия древесины и целлюлозы. М-Л.: АН СССР, 1962.711с.
7. Демидов П.Г., Шандыба В.А., Щеглов П.П. Горение и свойства горючих веществ, 2-е изд., перераб. М.: Химия, 1981. – 272 с.
8. Babrauskas V. The historical basis of fire resistance testing [Text]. Fire Technology, Part I. 1980. P. 184-194.
9. Babrauskas V., Williamson R.B. The historical basis of fire resistance testing[Text]. Fire Technology, Part II. 1981/1982. P. 304-316.
10. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость (ГОСТ 30247.0-94. [Чинний від 1996-01-01]. - М.: МНТКС, 1996. – 11 с
11. Тычино Н.А. Средства огне- и биозащиты древесины: задачи качества. Пожаровзрывобезопасность. М.: Ассоциация «Пожнаука». 2003. Т.12. № 6. – С. 23-25.
12. Тычино Н.А. Современное состояние проблемы огнезащиты древесных материалов. Пожаровзрывобезопасность. М.: Ассоциация «Пожнаука». 2001. Т.10. № 2. С. 6-21.

13. Цапко Ю.В. Вплив модифікування на вогнестійкість деревини. Наук.-техн. збірник “Енергоефективність в будівництві та архітектурі”. Вип. 6, К: КНУБА. 2014. С. 304–309.

14. Зубкова Н.С., Стрекалова Ю.В., Бутылкина Н.Г. Константинова Н.И. Снижение пожарной опасности текстильных материалов различного химического состава . Полимерные материалы пониженной горючести: Сб. матер. V Междунар. Конф. Волгоград, 2003. С. 68-69.

15. Асеева Р.М., Серков Б.Б., Сивенков А.Б. Горение древесины и ее пожароопасные свойства: монография. М.: Академия ГПС МЧС России, 2010. – 262 с.

16. Молчадский И. С. Пожар в помещении. М.: ФГУ ВНИИПО, 2005. – 456 с.

17. Киселев Я.С., Хорошилов О.А., Демехин Ф.В. Физические модели горения в системе пожарной безопасности: монография. СПб.: СПб ун-т, 2009. 339 с.

18. Романенков И.Г., Левитес Ф. А. Огнезащита строительных конструкций М.: Стройиздат, 1991. - 320 с.

19. Орлова А. М., Петрова Е. А. Огнезащита древесины, Пожаровзрывобезопасность. 2002. Т. 11, № 2. С. 8-17.

20. Предводителей Д. А., Нифантьев Е. Е., Роговин С. А. Новый метод синтеза фосфорсодержащих эфиров целлюлозы. Высокомолекулярные соединения. 1966. Т. 8, № 1. С . 76-79.

21. Баратов А.Н., Андианов А. А., Корольченко А. Я., Баратова А. Н. Пожарная опасность строительных материалов М. Стройиздат, 1988. - 380 с.

22. Покровская Е. Н. Химико-физические основы увеличения долговечности древесины. Сохранение памятников деревянного зодчества с помощью элементоорганических соединений. М. Изд-во АСВ, 2003. 104 с.

23. Петрова Е. А. Снижение горючести материалов на основе древесины: Дис. канд. техн.наук. М. 2003. 132 с.

24. Леонович А. А. Шалун Г. Б. Огнезащита деревянных плит слоистых пластиков. М.: Лесная промышленность, 1974. 128 с.

25. Покровская Е. Н. Механизм огнезащитного действия фосфорсодержащих соединений относительно древесно-целлюлозной материалами. Химия древесины. 1991. № 4. С. 91-94.

26. Литвинец Ю. И. Основы физико-химической модификации древесных плит. Курс лекций для студентов специальности "Технология древесных плит и пластиков". Екатеринбург: УГЛТУ. 2003. 115 с.

27. Сарсембинова Б. Т. фосфор и азотсодержащие антипирены в подавлении горения полимеров. Тракаты института хим. наук АН КазССР. 1990. Т. 73. С. 175-192.

28. Сарсембинова Б. Т., Никитин И., Гибов К. М. О механизме действия фосфорсодержащих замедлителей горения полимеров. Изв. АН КазССР. 1986. - Т. 66. С. 158-190.

29. Сарсембинова Б. Т., Гибов К. М., Никитина И. Термическое превращение фосфата гексаметилентетрамина. Изв. АН КазССР. Серия химическая. 1988. № 6. С. 80-85.

30. Weil E.D. Enciclopedia of chemical technology [Text]. Wiley-Interscience: New York, 1980. V. 10. P. 348-419.

31. Мишляковский А. Н., Лыков А. Д., Рэнкин В. Н. Органические покрытия пониженной горючести. Л.: Химия, 1989. 184 с.

32. Сивенко А. Б., Серков Б. Б., Асеева Р. Н. Огнезащитные покрытия на основе модифицированных полисахаридов. Часть 1. Исследование горючести и воспламеняемости Пожаровзрывобезопасность. 2002. Т. 11, № 1. С. 39-44.

33. Dyer J. A. Fire retardant treatment [Text]. Wood. 1963. Vol. 28 № 2. - P. 71.

34. Vintila E., Gheorghe M., Nichitus C. Ignifugaria in profunzime a lamnului [Text]. And. Lemn. 1962. Vol. 13 № 6. P. 216-221.

35. Тичино Н. А. Высокоэффективные огнезащитные средства комбинированного действия для обработки древесины: Дис. д-ра техн. наук. М., 2006.

36. Таубкина С. И. Основы огнезащиты целлюлозных материалов. М.: Изд-во МКХ РСФСР, 1960. 346 с.

37. Способы и средства огнезащиты древесины Руководство. Перераб. и доп. М.: ВНИИПО, 1994. - 31 с.
38. Жартовский В.М., Цапко Ю.В. Профілактика горіння целюлозовмісних матеріалів. Теорія та практика. Київ: УкрНДПБ МНС України, 2006.- 248 с.
39. Цапко Ю.В. Дослідження аспектів вогнезахисту деревини просочувальними засобами. Зб. наук. праць. Львів: ЛДУ БЖД. 2006. Вип.9. С. 159-164.
40. Зубков Н. С., Бутилкина Н. Г., Константинова Н. И. Сравнительная оценка эффективности фосфорсодержащих замедлителей горения для текстильных материалов. Крупные пожары: предупреждение и тушение . Материалы 16-й научно-практической конференции. Часть 1. М.: Изд-во ВНИИПО, 2001. С. 214-216.
41. Балакин В. М., Полищук Е. Ю., Литвинец Ю. И. Изучение огнезащитной эффективности азот-фосфорсодержащих соединений для древесины. Пожаровзрывобезопасность. 2007. Т. 16, № 5. С. 39-40.
42. Николаев Н. Е., Рыжкова Г. А., Шалашов А. П.. Патент 1833398 СССР. Масса для изготовления огнезащитных плитных материалов способом оттока ковра Оpubлікований 07.08.93.
43. Pearson G.A. Патент 3990977 США. Fire proofing shampoo composition and method. Оpubлікований 09.11.76.
44. Vandersall H. L. Intumescent coating systems. Their development and chemistry [Text]. Fire & Flammability. Vol. 2, April 1971. P. 97-140.
45. Tramm H., Clar C., Kuhnel P., Schuff W. Патент 2106938 США. Fireproof of wood Оpubлікований 01.02.38.
46. Леонович А. А. Теория и практика изготовления огнезащищенных древесных плит. Л.: Ленинградский университет, 1978. - 175 с.
47. Леонович А. А. Современные способы изготовления огнезащищенных древесных плит. М.: ВНИПИИИ леспром, 1978. 36 с.
48. Леонович А. А., Васильев В. В. Обеспечение огнезащищенная древесно-стружечных плит с помощью амидофосфата КМ. Деревообрабатывающая промышленность. 1997. № 5. С. 6-7.

49. Тичино Н. А. Пленкообразующий антипирен - соединительная для древесностружечных плит. Древесные плиты: теория и практика. Материалы научно-технической конференции Санкт-Петербургской лесотехнической академии, Санкт-Петербург, 17-18 марта 1999 года - С. 46-48.

50. Балакин В. С. Синтез свойства водорастворимых полимерных и олигомерных аминотриэтилфосфоновых кислот: Дис. канд. хим. наук. - Свердловск, 1987.

51. Балакин В. М., Таланкин В. С., Литвинец Ю. И. Исследование аминотриэтилфосфонатов как антипиренов для древесных плит. Технология древесных плит и пластиков: Межвузовский сборник. - Свердловск: УПИ, 1983. С. 76-79.

52. Балакин В. М., Литвинец Ю. И., Таланкин В. С. Возможность использования алкиламинотриэтилфосфонатов как антипиренов для древесных плит. Технология древесных плит и пластиков: Межвузовский сборник. Свердловск: УПИ, 1985. - С. 75-79.

53. Афанасьев С. В., Махлай В. Н., Михайлин М. П., Коротков Р. В. Патент 2277046 РФ. Способ получения огнезащитного состава. Оpubл. 27.05.06.

54. Асеева Г. М., Заика А. Е. Горение полимерных материалов. М.: Наука, 1981. - С. 272-274.

55. Антонов А. В., Решетников И. С. Холтуринский Н. А. Горение коксообразующих полимерных систем. Успехи химии. 1999. Т. 68, № 7. С. 663-673.

56. ГОСТ 25130-82. Покрытие по древесине вспучивается огнезащитное ВПД. Технические требования.

57. Способы и средства огнезащиты древесины. М.: ГУПОМВД СССР, ВНИИПО, 1985.-57 с.

58. Jones G., Juda W., Soll S. Патент 2452054 США. Fire-retardant composition and process. Опубликований 26.11.48

59. Jones G., Juda W., Soll S. Патент 2542055 США. Amylaceous fire-retardant composition. Опубликований 26.11.48.

60. Jones G. Патент 2523626 США. Fire-retardant composition and process. Опубликовано 26.09.50.
61. Pearson G.A. Патент 3883462 США. Novel resinous compositions comprising sequential reaction product of formaldehyde, inorganic acid, trietanolamine and urea. Опубликовано 13.05.75.
62. Pearson G.A. Патент 4427745 США. Novel fire retardant composition and methods. Опубликовано 24.01.84.
63. Алексюк Г. А., Ковтун Г. И. Патент 2219208 РФ. Способ получения воднодисперсионных огнезащитных вспучивающихся красок. Опубликовано 20.12.03.
64. Махлай В. Н., Афанасьев С. В., Михайлин М. П., Коротков Р. В. Патент 2270752 РФ. Способ получения антипирена. Опубликовано 27.02.06.
65. Афанасьев С. В., Махлай В. Н., Михайлин М. П. Патент 2270751 РФ. Способ получения антипирена. Опубликовано 27.02.06.
66. Афанасьев С. В., Махлай В. Н., Коротков Р. В. Патент 2284263 РФ. Способ получения антипирена. Опубликовано 27.09.06.
67. Афанасьев С. В., Махлай В. Н. Патент 2290299 РФ. Способ получения антипирена. Опубликовано 27.05.06.
68. Dr. Simone Krüger. Neue Wege: Reaktive Brandschutzbeschichtungen für Extrembedingungen. Dr. Simone Krüger, Dr.-Ing. Gregor J. G. Gluth, Marie-Bernadette Watolla, Michael Morys, Dustin Häßler and Dr. Bernhard Schartel. [Text]. Berlin, Bautechnik. 2016. Volume 93, Issue 8. pp. 531–542.
69. Xiao Na. Effects of Complex Flame Retardant on the Thermal Decomposition of Natural Fiber [Text]. United States: Bio Resources. 2014. Vol 9, No 3 pp. 4924-4933.
70. Nine Md J. Graphene-Borate as an Efficient Fire Retardant for Cellulosic Materials with Multiple and Synergetic Modes of Action [Text]. School of Chemical Engineering, The University of Adelaide, ACS Appl. Mater. Interfaces, Australia. 2017. 9 (11). pp. 10160–10168.
71. Ciripi B. K., Wang Y. C., Rogers B. . Assessment of the thermal conductivity of intumescent coatings in fire [Text]. Fire Safety Journal. 2016, Vol. 81. P. 74-84.

72. Carosio F., Kochumalayil J., Cuttica F., Camino G., Berglund L. Oriented Clay Nanopaper from Biobased Components Mechanisms for Superior Fire Protection Properties [Text]. Washington: ACS Appl. Mater. Interfaces. 2015. 7 (10). pp. 5847–5856.

73. Qandeel F.G., Ahmada F., Mutalib M. I. A., Melora P. S. Effect of Dolomite Clay on Thermal Performance and Char Morphology of Expandable Graphite Based Intumescent Fire Retardant Coatings [Text]. Sami Ullahc, Adiat Arogundadea Procedia Engineering. 2016. 148. pp. 146 150.

74. Nasir K. Md., Ramli N.H., Sulong M.R. Johan, A.M. An investigation into waterborne intumescent coating with different fillers for steel application [Text]. Pigment & Resin Technology, 2018, Volume: 47 Issue: 2, pp.142-153.

75. Carosio F., Alongi J. Ultra-Fast Layer-by-Layer Approach for Depositing Flame Retardant Coatings on Flexible PU Foams within Seconds [Text]. In: Acs applied materials & Interfaces. - Elettronico. 8:10(2016), pp. 6315-6319.

76. Fan Z.-B., Xia Li Q-Y, Li Z. Effects of inorganic fillers on the shear viscosity and fire retardant performance of waterborne intumescent coatings [Text]. Progress in Organic Coatings. 2013 Vol. 76, Issue 5. P.844-851.

77. Krüger, S., Gregor, J., Gluth, G., Watolla M-B., Morys, M., Häßler D., Schartel B. Neue Wege: Reaktive Brandschutzbeschichtungen für Extrembedingungen[Text]. Berlin, Bautechnik, 2016. 93/8. p. 531-542. DOI: 10.1002/bate.201600032

78. Wang Y., Zhao J., Chen J. Effect of polydimet hylsiloxane viscosity on silica fume-based geopolymer hybrid coating for flame-retarding plywood [Text]. Construction and Building Materials. 2020. 239, 117814. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2019.117814

79. Zhan W., Chen L., Cui F., Gu Z., Jiang J. Effects of carbon materials on fire protection and smoke suppression of waterborne intumescent coating [Text]. Progress in Organic Coatings. 2020. 140, 105491. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2019.105491>

80. Shi X.-H., Chen L., Zhao Q., Li Y.-M., Wang Y.-Z. Epoxy resin composites reinforced and fire-retarded by surficially-treated carbon fibers via a tunable and facile

process [Text]. *Composites Science and Technology*. 2020. 187, 107945. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2019.107945>

81. Lu J., Li L., Jiang P., Yu G., Bourbigot S. Flammability properties of intumescent vinyl acetate–ethylene copolymer emulsion including natural carbonization agent [Text]. 2020. *Polymer*, 245, 124709. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2022.124709>

82. Tiansheng Wang, Tao Liu, Tongtong Ma, Liping Li. Study on degradation of phosphorus and nitrogen composite UV-cured flame retardant coating on wood surface [Text]. *Progress in Organic Coatings*. 2018. 124. doi:10.1016/j.porgcoat.2018.08.017

83. Ma G., Wang X., Cai W., Xing W., Hu Y. Preparation and Study on Nitrogen- and Phosphorus- Containing Fire Resistant Coatings for Wood by UV-Cured Methods [Text]. *Frontiers in Materials*. 2022. 9, 851754. doi:10.1016/j.porgcoat.2018.08.017

84. Zhang T., Huang H., Ge X., Zhang Z., Li P. Experimental study on hygrothermal accelerated aging effects of transparent fire resistive wood structure coatings [Text]. *Journal of Physics: Conference Series*. 2022. 2194(1), 012038. doi:10.1088/1742-6596/2194/1/012038

85. Son D.W., Kang M.R., Hwang W.J., Lee H.M., Park S.B.. Hygroscopic property, leaching resistance and metal corrosive efficacy of wood treated with fire retardants [Text]. *Journal of the Korean. Wood Science and Technology*. 2014. 42(2), c. 157-162. <https://doi.org/10.5658/WOOD.2014.42.2.157>

86. 10. Chu T., Gao Y., Yi L., Huang Q., Wang Z. Highly fire-retardant optical wood enabled by transparent fireproof coatings [Text]. *Advanced Composites and Hybrid Materials*. 2022. DOI:10.1007/s42114-022-00440-3

87. Krüger S., Gregor J., Gluth G., Watolla M-B., Morys M., Häbeler D., Schartel, B. Reaktive Brandschutzbeschichtungen für Extrembedingungen [Text]. Berlin, Bautechnik. 2016. Vol. 93, Issue 8. pp. 531–542.

88. Xiao Na, Zheng Xue, Shuping Song, Junwen Pu. Effects of Complex Flame Retardant on the Thermal Decomposition of Natural Fiber. United States [Text]. *Bio Resources*. 2014. Vol. 9, №3. pp. 4924-4933.

89. Gaff M. Kačík F., Gašparík M., Čekovská H. The effect of synthetic and natural fire-retardants on burning and chemical characteristics of thermally modified teak (*Tectona grandis* L. f.) wood [Text]. *Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 200. pp. 551-558.
90. Zhao P., Guo C., Li L. Flame retardancy and thermal degradation properties of polypropylene/wood flour composite modified with aluminum hypophosphite/melamine cyanurate [Text]. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2018. pp. 1-9.
91. Ciripi B. K., Wang Y. C., Rogers B. Assessment of the thermal conductivity of intumescent coatings in fire. *Fire Safety Journal*. 2016. Vol. 81. P. 74-84.
92. Nine Md J., Diana N. H., Tran T. T., Dusan L. Graphene-Borate as an Efficient Fire Retardant for Cellulosic Materials with Multiple and Synergetic Modes of Action. School of Chemical Engineering [Text]. The University of Adelaide, ACS Appl. Mater. Interfaces, Australia. 2017. 9 (11). pp. 10160–10168.
93. Carosio F., Alongi J. Ultra-Fast Layer-by-Layer Approach for Depositing Flame Retardant Coatings on Flexible PU Foams within Seconds [Text]. In: *Acs applied materials & Interfaces. Elettronico*, 2016. 8:10. pp. 6315-6319.
94. Shi X.-H., Chen L., Zhao Q., Li Y.-M., Wang Y.-Z. Epoxy resin composites reinforced and fire-retarded by surficially-treated carbon fibers via a tunable and facile process [Text]. *Composites Science and Technology*, 2020, 187, art. no. 107945.
95. Nasir K. Md., Ramli Sulong N.H., Johan M.R., Afifi A.M. An investigation into waterborne intumescent coating with different fillers for steel application [Text]. *Pigment & Resin Technology*, 2018. Vol. 47, Issue 2. pp.142-153.
96. Erdoğan Y. Production of an insulation material from carpet and boron wastes [Text]. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*. 2016. №152. pp. 197-202.
97. Krüger S., Gregor J., Gluth G., Watolla M-B., Morys M., Häßler D., Schartel B. Neue Wege: Reaktive Brandschutzbeschichtungen für Extrembedingungen [Text]. Berlin, Bautechnik, 2016. 93/8. p. 531-542. DOI: 10.1002/bate.201600032
98. Zhou Z., Du C., Yu H., Yao X., Huang, Q. Promotion effect of nano-SiO₂ on hygroscopicity, leaching resistance and thermal stability of bamboo strips treated by

nitrogen-phosphorus-boron fire retardants[Text]. *Wood Research*. 2020. 65(5), p. 693-704. DOI: 10.37763 / wr.1336-4561 / 65.5.693704

99. Lin C.-F., Karlsson O., Mantanis G.I., Sandberg D. Fire performance and leach resistance of pine wood impregnated with guanyl-urea phosphate/boric acid and a melamine-formaldehyde resin [Text]. *European Journal of Wood and Wood Products*. 2020. 78(1), p. 107-111. DOI: 10.1007/s00107-019-01483-y

100. Nakamura M., Nishio Y., Hagihara S., Sugita T., Noguchi T. Evaluation of durability of reaction-to-fire performance of fire-retardant treated wooden facades by accelerated weathering test [Text]. *AIJ Journal of Technology and Design*. 2019. 25(60), p. 709-714. <https://doi.org/10.3130/aijt.25.709>

101. Chu D., Mu J., Zhang L., Li Y. Promotion effect of NP fire retardant pre-treatment on heat-treated poplar wood. Part 2: Hygroscopicity, leaching resistance, and thermal stability [Text]. *Holzforschung*. 2017. 71(3), p. 217-223 <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b03518>

102. Donmez Cavdar A., Mengeloğlu F., Karakus K. Effect of boric acid and borax on mechanical, fire and thermal properties of wood flour filled high density polyethylene composites [Text]. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*. 2015. 60, p. 6-12. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2014.09.078>

103. Son D.W., Kang M.R., Hwang W.J., Lee H.M., Park S.B. Hygroscopic property, leaching resistance and metal corrosive efficacy of wood treated with fire retardants [Text]. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 42(2), c. 157-162. <https://doi.org/10.5658/WOOD.2014.42.2.157>

104. Zhao P., Guo C., Li L. Flame retardancy and thermal degradation properties of polypropylene/wood flour composite modified with aluminum hypophosphite/melamine cyanurate [Text]. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2018. p. 1-9. DOI: 10.1007/s10973-018-7544-9

105. Nasir K., Ramli Sulong N.H., Johan M.R., Afifi A.M. An investigation into waterborne intumescent coating with different fillers for steel application [Text]. *Pigment & Resin Technology*, 2018. Vol. 47, Issue 2. p.142-153. DOI: 10.1108/PRT-09-2016-0089

106. Kovalnogov V.N., Karpukhina T.V., Korotkov E.A. Mathematic modeling of the kinetics of heat-and-humidity state of capillary-porous bodies under convection drying [Text]. AIP Conference Proceedings. 2016. №1738,480005. <https://doi.org/10.1063/1.4952241>

107. Тычино Н. А. Высокоэффективные огнезащитные средства комбинированного действия для обработки древесины : диссертация доктора технических наук : 05.26.03.Минск, 2005.- 256 с.: ил. РГБ ОД, 71 05-5/658

108. Tsapko Yu., Bondarenko O., Tsapko A. Effect of a flame-retardant coating on the burning parameters of wood samples [Text]. Eastern European Journal of Enterprise Technologies. Vol. 2. №2/10 (98) 2019. pp. 49-54. ISSN 1729-3774.

109. Tsapko Yu.V., Sokolenko K.I., Hudovych O.D. Modelyuvannya protsesu utvorennya sharu modyfikovanoho koksu na poverkhni vohnezakhyshchenoyi derevyn, Naukovyy visnyk UkrNDIPB, 2 (12), 5-11.

110. Janna W.S. Engineering Heat Transfer [Text]. Boca Raton, Florida: CRC Press, 692.

111. Churikov V.A. Dopolnitel'nyye glavy analiza. Drobnoye integrirovaniye I drobnoye differentsirovaniye na osnove d-operatora: uchebnoye posobiye. 2010. Tomsk, Russia, 118.

112. Rubtsov N.M., Seplyarskiy B.S., Alymov M.I. Kriticheskiye yavleniya I razmernyye efekty v avtovolnovy khprotsessakh s ekzotermicheskim I reaktsiyami. Saratov, Russia, 338.

113. Цапко Ю.В. Дослідження кінетичних параметрів при піролізі деревини вогнезахисною просочувальними засобами. Зб. наук. праць. Львів: ЛДУ БЖД, 2011. Вип. 19. С. 163-169.

114. Tsapko Yu. V., Tsapko O. Yu. Influence of high temperature fillerson activation energy o fcoating for wood protection [Text]. Ukrainian journal of forest and woodscience, 10(3), с. 98-105.

115. Zhang H., Li Y., Tao W.-Q. . Theoretical accuracy of anisotropic thermal conductivity determined by transient plane source method. International [Text]. Journal of Heat and Mass Transfer. 2017. 108:1634-1644.

116. Potter M.C.. Engineering analysis [Text]. New York: Springer. 2018. p. - 444.
117. Tsapko Yu., Zavalov D., Bondarenko O., Marchenco N. Determination of thermal and physical characteristics of dead pine wood thermal insulation products [Text]. 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>.
118. Франк-Каменецкий Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. Изд. 3-е, пер. и доп. М.: Наука, 1987. – 502 с.
119. Ломага В. В., Цапко Ю. В. Умови застосування вогнезахисної деревини на об'єктах різного призначення Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2022) : матеріали тез доповідей XII Міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернігів, 26–27 травня 2022 р.) Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2022. Т. 1. 256 с.
120. Ортофосфорна кислота. URL: <https://bit.ly/3mPUq4j>
121. Оксietiлiдендiфосфoнoвa кiслoт. URL: <https://bit.ly/39v1Qt8> a
122. Сечовина. URL: <https://bit.ly/3MSYIP>
123. Гиoсeчoвини. URL: <https://bit.ly/3xooQ2k>
124. Крoхмaль. URL: <https://bit.ly/3tGuYC5>
125. Цапко Ю. В., Кравченко А. В., Цапко О. Ю. Аналіз методів та розроблення способу визначення ефективності вогнезахисту дерев'яних конструкцій [Електронний ресурс]. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. 2017. Вип. 66. С. 118–122.
126. Цапко Ю. В., Цапко О. Ю. Встановлення ефективності вогнезахисту деревини органо-неорганічною композицією [Електронний ресурс]. Науковий вісник НЛТУ України. 2018. Т. 28, № 5. С. 88–92.
127. Цапко О. Ю. Аспекти впливу органо-минеральних покриття на огнестійкість деревини. Annals Warsaw University of Life Sciences. SGGW Forestry and Wood Technology. 2016. № 96. С. 206–213.
128. Paulik F., Paulik K, Erdey L. Derivatografy. A complex method in thermal analysis [Text]. Jalanta, 1966. Vol. 13, № 10 pp. 1405–1430.

129. Broido A. A Simple sensitive graphical method of treating thermogravimetry analyse data [Text]. J. Polym. Sci.-Part A, 1969. Vol. 7. № 2. P. 1761–1773.

130. Откідач Д. М., Цапко Ю. В., Соколенко К. І. Флегматизування горючих газових середовищ. К.: Пожінформтехніка, 2005. 196 с.

131. Біленький Б. Г., Виленчик Л. З. Громатографія полімеров. М.: Химия, 1978. 344 с.

132. ГОСТ 16363–98. Средства огнезащитные для древесины. Методы, определения огнезащитных свойств. Межгосударственный стандарт [Чинний від 1989-01-01]. К.: Госстандарт України, 1997. 14 с.

133. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва.

134. ГОСТ 12.1.044–1989. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. Межгосударственный стандарт [Дата введения 1991–01–01]. М.: Издательство стандартов, 1990. 143 с. (З 27.02.2019 надано чинності ДСТУ 8829:2020 Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація).

135. Tsapko Y.V., Lomaha V.V., Vasylyshyn R.D., Melnyk O. Balanyuk V., Tsapko A., V., Bondarenko O., Karpuk A. Establishing regularities in the reduction of flammable properties of wood protected with two-component intumescent varnish [Text]. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2022.

136. ДСТУ Б EN ISO 1716:2011. Випробування виробів щодо реакції на вогонь. Визначення вищої (нижчої) теплоти згорання [Дата введення 2011–01–01]. К.: Мінрегіонбуд, 2012. 37 с.

137. Цапко Ю.В., Бондаренко О.П., Цапко О.Ю., Ломага В.В. Спосіб визначення ефективності гідрофобізації вогнезахищених целюлозовмісних матеріалів. Патент на корисну модель / Пат. 148756 Україна, МПК (2021.01), G01N 15/02 (2006.01), E04B 1/92 (2006.01). Заявл. 23.03.2021; Опубл. 15.09.2021; Бюл. №37, 2021. – 4 с. <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=search>.

138. Цапко Ю.В., Бондаренко О.П., Цапко О.Ю., Ломага В.В. Пристрій для визначення гідрофобності вогнезахищених целюлозовмісних матеріалів. Патент на корисну модель / Пат. 148757 Україна, МПК (2021.01), G01N 15/08 (2006.01), E04B 1/92 (2006.01). Заявл. 23.03.2021; Опубл. 15.09.2021; Бюл. №37, 2021. – 3 с. <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=search>.

139. ГОСТ 30219-95. Древесина огнезащитная. Общие технические требования. Методы испытаний. Транспортирование и хранение. Межгосударственный стандарт [Чинний від 1996-01-01]. К.: Госстандарт Украины, 1997. 44 с.

140. Рузинов Л. П. Статистические методы оптимизации химических процессов. М.: Химия, 1972. 200 с.

141. Бондарь А. Г., Статюха Г. А. Планирование эксперимента в химической технологии. К.: Высшая шк., 1976. 184 с.

142. Tsapko Yu., Tsapko A. Establishment of the mechanism and fireproof efficiency of wood treated with an impregnating solution and coatings [Text]. East European Journal Enterprise Technologies. Vol. 3, № 10 (87). 2017. P. 50–55. Режим доступу до статті: <http://journals.uran.ua/eejet/article/download/102393/102963>

143. Broido A. A., Polym J. simple sensitive graphical method of treating thermogravimetry analyse data [Text]. Sci.-Part A. 7 (2) (1969) 1761-1773.

144 Tsapko, Y., Tsapko, A., Bondarenko, O. P. (2020). Research of Conditions of Removal of Fire Protection from Building Construction [Text]. Key Engineering Materials, 864, 141–148. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.864.141>

145. Tsapko, Y., Lomaha, V., Bondarenko, O. P., Sukhanevych, M. (2020). Research of Mechanism of Fire Protection with Wood Lacquer [Text]. Materials Science Forum, 1006, 32–40. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.1006.32>

146. Жартовский В.М. Профілактика горіння целюлозовмісних матеріалів. Теорія та практика. – К.: ДП “Друкарня МВС України”, 2006. – 248 с.

147. . Цапко Ю.В. Дослідження механізму вогнестійкості деревини при модифікуванні просочувальними засобами. Технологический аудит и резервы производства. Научно-технический журнал. 2014. № 3(5).

С. 58-60, ISSN 2226-3780.

148. Цапко Ю.В., Бондаренко О.П., Цапко О.Ю., Ломага В.В. Патент на корисну модель: № 148756 Україна, МПК G01N 15/02 (2006.01), Спосіб визначення ефективності гідрофобізації вогнезахищених целюлозовмісних матеріалів; заявлено 23.03.2021; опубліковано 15.09.2021, Бюл. № 37. 4 с.

149. Цапко Ю.В., Бондаренко О.П., Цапко О.Ю., Ломага В.В. Патент на корисну модель: № 148757 Україна, МПК G01N 15/08 (2006.01). Пристрій для визначення гідрофобності вогнезахищених целюлозовмісних матеріалів; заявлено 23.03.2021; опубліковано 15.09.2021, Бюл. № 37. 3 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

Директор
ДП «ПОЖТЕХНОЗАХИСТ»
М.В. Кобрин
10 2019 р.

РОБОЧА МЕТОДИКА

випробувань з визначення терміну вогнезахисної дії
вогнезахисних засобів, нанесених на деревину

УЗГОДЖЕНО:

Директор НДІВМ КНУБА
д.т.н., проф.

П.В. Кривенко
«17» 10 2019 р.

2019

Зміст

	стор.	
1	Галузь застосування	3
2	Загальні положення	3
3	Методи випробувань	3
4	Засоби випробувань	4
5	Зразки для випробувань	5
6	Технологічні схеми випробувань зразків	6
7	Підготовка і проведення випробувань	8
8	Правила прийняття рішення за результатами випробувань	8
9	Протокол випробування	9
10	Вимоги безпеки	9
11	Нормативні посилання	11

1 ГАЛУЗЬ ЗАСТОСУВАННЯ

1.1 Випробування за даною методикою призначені для визначення терміну вогнезахисної дії засобів вогнезахисних, нанесених на деревину.

2 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

2.1 Вогнезахисні просочувальні засоби для деревини упродовж терміну експлуатації, який регламентується нормативною документацією на дані засоби, мають зберігати свої вогнезахисні та експлуатаційні властивості.

2.2 Статистичні характеристики кліматичних факторів, необхідних для встановлення режимів випробувань, які імітують умови зберігання в опалювальному або неопалювальному приміщенні встановлюють за ГОСТ 16350 [1], згідно якого, в середній смузі Східної Європи кількість переходів температури через 0°C протягом 1 року становить 7 разів, тобто 4 рази температура має додатні значення і 4 рази – від'ємні.

2.3 Випробування проводяться на фоні штучно створених циклічних умов для прискореної дифузії просочувальних засобів шляхом їх витримування при перемінних значеннях температури та вологості (8 циклів прирівнюють 1 умовному року застосування вогнезахисних засобів в умовах реальної експлуатації). Замовник випробувань може змінити це значення гарантійного терміну експлуатації засобу вогнезахисту. У цьому разі кількість зразків і періодичність випробувань будуть визначені в окремому договорі.

3 МЕТОДИ ВИПРОБУВАНЬ

3.1 Прискорена дифузія вогнезахисних з деревини.

3.1.1 Суть методу випробувань полягає у моделюванні процесів дифузії вогнезахисних просочувальних засобів штучним шляхом та визначенні зміни оціночних показників до і після “прискореної дифузії антипірену з деревини”.

3.2 Методика передбачає проведення декількох етапів лабораторних випробувань покриттів по оціночним показникам: зовнішній вигляд, наявність розтріскування, вивітрювання, відшарування, розчинення, утворення пухирів, вологопоглинання, висолоутворення.

4 ЗАСОБИ ВИПРОБУВАНЬ

4.1 Випробувальне обладнання, засоби виміральної техніки, що мають використовуватися під час випробувань, наведено в таблиці 1. Можуть бути використані аналогічні засоби виміральної техніки з метрологічними характеристиками, не нижче вказаних в табл. 1.

Таблиця 1 – Випробувальне обладнання та засоби виміральної техніки

Найменування і тип засобу вимірювання	Діапазон Вимірювання	Клас точності та/або похибка Вимірювання	Нормативна документація	Призначення під час випробувань
1	2	3	4	5
Психрометр аспіраційний	Температури: від 5 до +40 °С вологості: від 45 % до 75 %	Похибка вимірювання: температури $\pm 2,0$ °С; вологості ± 4 %	ТУ 25-1607. 54-85	Вимірювання температури та вологості навколишнього середовища
Секундомір	Від 0 до 60 с Від 60 до 3600 с Від 3600 до 7200 с Від 7200 до 10800 с	Клас точності 2. $\pm 0,4$ с $\pm 1,9$ с $\pm 3,8$ с $\pm 5,7$ с	ТУ 25.1894.003-90	Вимірювання тривалості випробування
Штангенциркуль	Від 0 до 125 мм	Клас точності 2 Похибка вимірювання $\pm 0,1$ мм	ГОСТ 166-89	Вимірювання відстаней під час встановлення термопар на зразку
Рулетка	Від 0 до 5 м	Клас точності 2. Ціна поділки – 1 мм	ГОСТ 7502-89	Вимірювання розмірів зразків
Ваги ВЛР-200	Від 0 до 200 г	Клас точності 2.	ГОСТ 21513-76	Вимірювання маси вогнезахисного покриття
Барометр	Від 600 до 800 мм рт.ст.	$\pm 1,0$ мм рт. ст.	Паспорт на барометр	Вимірювання атмосферного тиску
Камера холоду	Від 0 до мінус 17 °С	± 1 °С	Паспорт	Проведення випробувань на довговічність
Термошкаф	від 0 до 100 °С	± 1 °С	Паспорт	Проведення випробувань на

Найменування і тип засобу вимірювання	Діапазон Вимірювання	Клас точності та/або похибка Вимірювання	Нормативна документація	Призначення під час випробувань
				довговічність
Ексікатор	5 дм ³	-	-	Проведення випробувань
Прилад для вимірювання товщини вогнезахисного покриття	Від 0 до 2 мм від 2 до 10 мм більше 10 мм	± 0,01 мм ± 0,2 мм ± 1 мм	Паспорт на прилад	Вимірювання товщини вогнезахисного покриття

5 ЗРАЗКИ ДЛЯ ВИПРОБУВАНЬ

5.1 Прискорена дифузія антипірену з деревини

5.1.1 Зразки деревини виготовляють із прямошарової сухої деревини сосни вологістю не більше 15 % і густиною від 400 до 550 кг/м³ у вигляді 150 мм x 60 мм x 30 мм. Зразки деревини повинні бути без вад і відповідати ГОСТ 2140 [2]. Бокові поверхні повинні бути стругані, торцеві поверхні обпилені і оброблені наждаком.

5.1.2 Зразки деревини перед просоченням вогнезахисним засобом висушують в сушильній шафі за температури 50±3 °С до постійної маси (втрата маси повинна складати не більше 0,2 г протягом 24 години).

5.1.3 Для випробувань вогнезахисних покриттів деревини готують декілька видів зразків.

5.1.4 На просушені зразки деревини з усіх сторін наносять просочувальний засіб і висушують. Витрату, умови нанесення і сушки повинні відповідати нормативній документації на просочувальний засіб. Витрату вогнезахисного просочувального засобу, нанесеного на зразок, визначають ваговим методом по різниці мас зразка до і після однократного нанесення. Загальну витрату вогнезахисного просочувального засобу визначають шляхом підсумку витрат після кожної обробки (нанесення шару просочувального засобу) і відносять до об'єму прямокутного бруска деревини.

5.1.5 Перед випробуванням оброблені і висушені зразки деревини просушують в умовах, зазначених в п. 5.1.2 і зважують. Загальну кількість вогнезахисного просочувального засобу (R), кг/м³, визначають за рівнянням

$$R = \frac{m_1 - m_2}{V},$$

де m_1 – маса зразка після просочення, кг;

m_2 – маса зразка до просочення, кг;

V – об'єм зразка, м³.

5.1.6 Випробування проводять не менше, ніж на шести зразках. З цих зразків довільно відбирають три основних, інші три є контрольними.

5.1.7 На трьох контрольних зразках визначають вогнезахисні властивості згідно з ГОСТ 16363-98 [3].

6 ТЕХНОЛОГІЧНІ СХЕМИ ВИПРОБУВАНЬ ЗРАЗКІВ

6.1.1 Цикл випробувань на прискорену дифузію включає наступні етапи:

- *перший етап*: три основних зразки поміщують в камеру вологи і витримують при температурі (40 ± 2) °С і відносній вологості повітря (97 ± 3) % протягом 4 годин;

- *другий етап*: із камери вологи зразки переносять в камеру холоду і витримують при температурі мінус (17 ± 3) °С протягом 3 годин;

- *третій етап*: із холодильної камери зразки переносять в термокамеру і витримують при температурі (60 ± 2) °С протягом 2 годин;

- *четвертий етап*: зразки виймають із термокамери і витримують на повітрі при температурі $15 \div 30$ °С і відносній вологості повітря не більше 80 % протягом 15 годин.

Вісім циклів відповідають 1 року натурального зберігання.

Під час випробувань спостерігають за станом покриття.

6.1.2 Візуально проводиться оцінка зовнішнього виду деревини, яка оброблена вогнезахисними засобами: розтріскування, вивітрювання, відшарування, висолювання.

6.1.3 Визначають вогнезахисні властивості зразків деревини, що пройшли прискорену дифузію антипірену з деревини згідно з ГОСТ 16363 [3].

Вогнезахисний засіб витримає випробування з визначення здатності зберігати свої властивості упродовж гарантійного терміну експлуатації, якщо показники: зовнішній вигляд, наявність розтріскування, вивітрювання, відшарування, розчинення, утворення пухирів, вологопоглинання, висолоутворення, отриманого по закінченню усіх циклів випробувань відповідають значенню контрольних зразків.

7 ПІДГОТОВКА І ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ

7.1 Метод візуальної оцінки полягає в оцінці декоративних, захисних властивостей покриття, або декоративних і захисних разом.

До оцінки декоративних властивостей покриття відносять:

- зміна блиску покриття;
- зміна кольору покриття;
- брудоутримання;
- міління покриття.

До оцінки захисних властивостей покриття відносять:

- розтріскування, вивітрювання, відшарування, розчинення, утворення пухирів.

7.2 Метод визначення схильності вогнезахисних просочувальних засобів для деревини до висоловання реалізується шляхом візуального обстеження.

8 ПРАВИЛА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВИПРОБУВАНЬ

8.1 За результатами випробувань з визначення здатності зберігати свої властивості упродовж циклів випробувань прогнозується гарантійний термін експлуатації засобу.

8.2 Критерієм визначення прогнозованого терміну експлуатації є відповідність значення показника: зовнішній вигляд, наявність розтріскування, вивітрювання, відшарування, розчинення, утворення пухирів, вологопоглинання, висолоутворення, отриманого по закінченню усіх циклів випробувань, передбачених цією методикою, значенню, яке отримане на першому циклі випробувань, при збереженні експлуатаційних властивостей вогнезахисної деревини.

8.3. Після випробувань на прискорену дифузію вогнезахисного засобу з деревини зразки можуть передаватися на проведення випробувань з визначення вогнезахисної ефективності згідно з ГОСТ 16363-98 [3].

9 ПРОТОКОЛ ВИПРОБУВАННЯ

9.1 Результати випробувань оформляються протоколом або звітом.

9.2 Протокол випробувань (звіт про випробування) має містити відомості про зразки, що були випробувані, умови та результати випробувань, а саме:

- назву та адресу лабораторії, що проводила випробування;
- дату випробувань;
- назву та адресу замовника, а також назву виготовлювача зразків;
- тип і торгову марку вогнезахисного покриття, що випробувалось, з назвою їх виготовлювача, якщо виготовлювач вогнезахисного покриття невідомий, то це слід вказати;
- позначення нормативного документу, за яким проводилися випробування;
- випробувальне обладнання та засоби вимірювальної техніки, що використовувалися під час випробувань, та відомості про їх атестацію або повірку;
- результати вимірювань температури і вологості повітря у приміщенні, де проводились випробування;
- результати вимірювань параметрів зразків;

- оцінку результатів випробувань;
- висновки за результатами випробувань;
- підписи осіб, що проводили випробування.

10 ВИМОГИ БЕЗПЕКИ

10.1 Організація роботи з техніки безпеки та охорони праці, а також загальне керівництво покладається на керівника лабораторії в якій проводяться випробування, а по окремим ділянкам – на керівників ділянок цієї лабораторії.

10.2 До роботи в лабораторії допускаються особи, що пройшли інструктаж і навчання з безпеки праці та склали залік на допуск до самостійної роботи у відповідності з “Типовим положенням про навчання, інструктаж і перевірку знань працівників з питань охорони праці”.

10.3 Для закріплення знань співробітників проводять періодичні повторні інструктажі і перевірку знань.

10.4 Всі співробітники лабораторії повинні володіти прийомами надання долікарської медичної допомоги при нещасних випадках – вміти накладати пов’язки для зупинки кровотечі, робити штучне дихання, непрямий масаж серця.

10.5 В кожному робочому приміщенні повинна знаходитись повністю укомплектована аптечка першої медичної допомоги.

10.6 Лабораторія повинна бути обладнана приточно-витяжною вентиляцією, котра повинна включатись за 30 хв. до початку роботи і вимикатись після її закінчення.

10.7 Співробітники лабораторії повинні перед початком робіт надіти спецодяг і мати при собі індивідуальні засоби захисту, що передбачені в робочих інструкціях на проведення робіт.

10.8 В лабораторних приміщеннях повинні знаходитись вогнегасники, “кошма”. Кожний співробітник лабораторії повинен знати, де знаходяться засоби пожежогасіння і вміти користуватись ними.

10.9 Після закінчення робочого дня кожний співробітник повинен навести порядок на робочому місці, вимкнути крани, систему вентиляції та освітлювальні прилади.

11 НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ

1. ГОСТ 16350-80 Климат СССР. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей.

2. ГОСТ 2140-81 Видимые пороки древесины. Классификация, термины и определения, способы измерения.

3. ГОСТ 16363-98. Средства огнезащитные для древесины. Методы определения огнезащитных свойств.

Розробники:

Інженер-технолог з вогнезахисту

ПП «ПОЖТЕХНОЗАХИСТ»

Аспірант НУБіП

Цапкою О.Ю.

Ломага В.В.



**ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З ПИТАНЬ
БЕЗПЕЧНОСТІ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ ТА ЗАХИСТУ СПОЖИВАЧІВ**
вул. Б. Грінченка, 1, м. Київ, 01001, тел. 279-12-70, 279-75-58, факс 279-48-83,
e-mail: info@consumer.gov.ua

ЗАТВЕРДЖУЮ

Голова Держпродспоживслужби
Лапа В.І.



ВИСНОВОК

державної санітарно-епідеміологічної експертизи

від 02.04 2019 р.

№ 602-123-20-1/ 6717

Об'єкт експертизи: Засоби вогнезахисні для дерев'яних конструкцій «ФАСРВОЛ-ВУД» та «ФАСРВОЛ-ЛАК».

виготовлений у відповідності із: ТУ У 20.5-34384974-001:2019 «Засоби вогнезахисні для дерев'яних конструкцій. Технічні умови».

(ТУ, ДСТУ, ГОСТ)

Код за ДКПП 20.59.59-67.00

Сфера застосування та реалізації об'єкта експертизи: Будівництво, а саме вогнезахист дерев'яних конструкцій, що експлуатуються всередині житлових, промислових та громадських приміщень з неагресивним середовищем, шляхи евакуації, елементи рухомого складу транспорту, а також на відкритому повітрі під навісом.

Країна-виробник: ПП «ПОЖТЕХНОЗАХИСТ», Україна, 07300, Київська обл., м. Вишгород, вул. Набережна, буд. 7/1, тел. (093) 537 4706, E-mail: aleks_workingmail@ukr.net.
Код за ЄДРПОУ 34384974.

(адреса, місцезнаходження, телефон, факс, E-mail, веб-сайт)

Заявник експертизи: ПП «ПОЖТЕХНОЗАХИСТ», Україна, 07300, Київська обл., м. Вишгород, вул. Набережна, буд. 7/1, тел. (093) 537 4706, E-mail: aleks_workingmail@ukr.net.
Код за ЄДРПОУ 34384974.

(адреса, місцезнаходження, телефон, факс, E-mail, веб-сайт)

Дані про контракт на постачання об'єкта в Україну: Вітчизняна продукція

Об'єкт експертизи відповідає встановленим медичним критеріям безпеки/показникам:
Вінілацетат ГДКр.з. 10.0 мг/м³, меламін ГДКр.з. 0.5 мг/м³, титану діоксид ГДКр.з. 10.0 мг/м³, пентаерітрил ГДКр.з. 4.0 мг/м³, формальдегід ГДКр.з. 0.5 мг/м³, поліфосфати амонію ГДКр.з. 10.0 мг/м³, фосфатні сполуки ГДКр.з. 10.0 мг/м³, сульфатні сполуки ГДКр.з. 10.0 мг/м³

Вінілацетат ГДКс.д. 0.15 мг/м³, меламін ГДКс.д. 0.01 мг/м³, формальдегід ГДКс.д. 0.003 мг/м³ згідно з ДСанПіН «Полімерні та полімервмісні матеріали, вироби і конструкції, що застосовуються у будівництві та виробництві меблів. Гігієнічні вимоги», затверджені наказом МОЗ України 29.12.2012 р. № 1139, зареєстровані Міністерством юстиції України 09.01.2013 р. за № 87/22619.

Необхідними умовами використання/застосування, зберігання, транспортування, утилізації, знищення є: За умов додержання рекомендацій виробника та умов санітарного законодавства України. При виробництві та застосуванні необхідно додержуватись вимог безпеки, викладених в технічних умовах та інструкції по застосуванню. Працюючі повинні бути забезпечені робочим одягом, індивідуальними засобами захисту згідно галузевих норм. Роботи з застосуванням засобів повинні проводитись при наявності припливно-витяжної вентиляції, добре провітрюваних приміщеннях або на відкритому повітрі, обов'язковим являється захист шкіри, очей та органів дихання.

За результатами державної санітарно-епідеміологічної експертизи Засоби вогнезахисні для дерев'яних конструкцій «ФАЄРВОЛ-ВУД» та «ФАЄРВОЛ-ЛАК» за наданим заявником зразком відповідають вимогам діючого санітарного законодавства України і за умови дотримання вимог цього висновку можуть бути використані в заявленій сфері застосування.

Термін придатності згідно рекомендацій виробника

Інформація щодо етикетки, інструкції, правил тощо: повинна надаватись етикетка, інструкція по застосуванню

Висновок дійсний до: На термін дії ТУ У 20.5-34384974-001:2019 «Засоби вогнезахисні для дерев'яних конструкцій. Технічні умови».

Відповідальність за дотримання вимог цього висновку несе заявник.

Показники безпеки, які підлягають контролю на кордоні: контролю за показниками безпеки на кордоні не потребує

Показники безпеки, які підлягають контролю при митному оформленні: контролю за показниками безпеки при митному оформленні не потребує.

Поточний державний санітарно-епідеміологічний нагляд здійснюється згідно з вимогами цього висновку: Вінілацетат ГДКр.з. 10.0 мг/м³, ГДКс.д. 0.15 мг/м³; меламін ГДКр.з. 0.5 мг/м³, ГДКс.д. 0.01 мг/м³; титану діоксид ГДКр.з. 10.0 мг/м³; пентаерітрил ГДКр.з. 4.0 мг/м³; формальдегід ГДКр.з. 0.5 мг/м³, ГДКс.д. 0.003 мг/м³; поліфосфати амонію ГДКр.з. 10.0 мг/м³; кислота фосфорна ГДКр.з. 1.0 мг/м³; карбамід ГДКр.з. 10.0 мг/м³

Комісія з питань державної санітарно-епідеміологічної експертизи ДУ «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва НАМНУ» 02094, м. Київ, вул. Попудренка, 50, тел.: (044) 559-34-22.

Протокол експертизи № 262 від 22.07.2019 року.

(N протоколу дата його затвердження)

Голова експертної комісії

Носічка Н.С.

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)



ДКПШ 20.59.59-67.00

УКНД 71.100.50

ПОГОДЖЕНО

Висновок державної санітарно-
епідеміологічної експертизи
нормативної документації

№ _____

від "____" _____ 2019 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор
ПІІ "ПОЖТЕХНОЗАХИСТ"

 М.В. Кобрин
"____" _____ 2019 р.

ЗАСОБИ ВОГНЕЗАХИСНІ ДЛЯ ДЕРЕВ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Технічні умови

ТУ У 20.5-34384974-001:2019

Уведено вперше

Дата надання чинності 01 березня 2019 р.

Без обмеження строку чинності

РОЗРОБЛЕНО

Директор
ПІІ "ПОЖТЕХНОЗАХИСТ"

 М.В. Кобрин
"01" _____ 2019 р.

Копія вірна



**ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З ПИТАНЬ
БЕЗПЕЧНОСТІ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ ТА ЗАХИСТУ СПОЖИВАЧІВ**
вул. Б. Грінченка, 1, м. Київ, 01001, тел. 279-12-70, 279-75-58, факс 279-48-83,
e-mail: info@consumer.gov.ua

ЗАТВЕРДЖУЮ
Голова Держпродспоживслужби
Лана В.І.
(підпис)
М.П.

ВИСНОВОК
державної санітарно-епідеміологічної експертизи

від 02.07 2019 р. № 602-123-20-1/ 6717

Об'єкт експертизи: Засоби вогнезахисні для дерев'яних конструкцій «ФАЄРВОЛ-ВУД» та «ФАЄРВОЛ-ЛАК».

виготовлений у відповідності із: ТУ У 20.5-34384974-001:2019 «Засоби вогнезахисні для дерев'яних конструкцій. Технічні умови».
(ТУ, ДСТУ, ГОСТ)

Код за ДКПП 20.59.59-67.00

Сфера застосування та реалізації об'єкта експертизи: Будівництво, а саме вогнезахист дерев'яних конструкцій, що експлуатуються всередині житлових, промислових та громадських приміщень з неагресивним середовищем, шляхи евакуації, елементи рухомого складу транспорту, а також на відкритому повітрі під навісом.

Країна-виробник: ПП «ПОЖТЕХНОЗАХИСТ», Україна, 07300, Київська обл., м. Вишгород, вул. Набережна, буд. 7/1, тел. (093) 537 4706, E-mail: aleks_workingmail@ukr.net.
Код за ЄДРПОУ 34384974.

(адреса, місцезнаходження, телефон, факс, E-mail, веб-сайт)

Заявник експертизи: ПП «ПОЖТЕХНОЗАХИСТ», Україна, 07300, Київська обл., м. Вишгород, вул. Набережна, буд. 7/1, тел. (093) 537 4706, E-mail: aleks_workingmail@ukr.net.
Код за ЄДРПОУ 34384974.

(адреса, місцезнаходження, телефон, факс, E-mail, веб-сайт)

Дані про контракт на постачання об'єкта в Україну: Вітчизняна продукція

Об'єкт експертизи відповідає встановленим медичним критеріям безпеки/показникам:
Вінілацетат ГДКр.з. 10.0 мг/м³, меламін ГДКр.з. 0.5 мг/м³, титану діоксид ГДКр.з. 10.0 мг/м³, пентаерітрил ГДКр.з. 4.0 мг/м³, формальдегід ГДКр.з. 0.5 мг/м³, поліфосфати амонію

Вінілацетат ГДКс.д. 0.15 мг/м³, меламін ГДКс.д. 0.01 мг/м³, формальдегід ГДКс.д. 0.003 мг/м³ згідно з ДСанПіН «Полімерні та полімервмісні матеріали, вироби і конструкції, що застосовуються у будівництві та виробництві меблів. Гігієнічні вимоги», затверджені наказом МОЗ України 29.12.2012 р. № 1139, зареєстровані Міністерством юстиції України 09.01.2013 р. за № 87/22619.

Необхідними умовами використання/застосування, зберігання, транспортування, утилізації, знищення є: За умов додержання рекомендацій виробника та умов санітарного законодавства України. При виробництві та застосуванні необхідно додержуватись вимог безпеки, викладених в технічних умовах та інструкції по застосуванню. Працюючі повинні бути забезпечені робочим одягом, індивідуальними засобами захисту згідно галузевих норм. Роботи з застосуванням засобів повинні проводитись при наявності припливно-витяжної вентиляції, добре провітрюваних приміщеннях або на відкритому повітрі, обов'язковим являється захист шкіри, очей та органів дихання.

За результатами державної санітарно-епідеміологічної експертизи Засоби вогнезахисні для дерев'яних конструкцій «ФАЄРВОЛ-ВУД» та «ФАЄРВОЛ-ЛАК» за наданим заявником зразком відповідають вимогам діючого санітарного законодавства України і за умови дотримання вимог цього висновку можуть бути використані в заявленій сфері застосування.

Термін придатності згідно рекомендацій виробника

Інформація щодо етикетки, інструкції, правил тощо: повинна надаватись етикетка, інструкція по застосуванню

Висновок дійсний до: На термін дії ТУ У 20.5-34384974-001:2019 «Засоби вогнезахисні для дерев'яних конструкцій. Технічні умови».

Відповідальність за дотримання вимог цього висновку несе заявник.

Показники безпеки, які підлягають контролю на кордоні: контролю за показниками безпеки на кордоні не потребує

Показники безпеки, які підлягають контролю при митному оформленні: контролю за показниками безпеки при митному оформленні не потребує.

Поточний державний санітарно-епідеміологічний нагляд здійснюється згідно з вимогами цього висновку: Вінілацетат ГДКр.з. 10.0 мг/м³, ГДКс.д. 0.15 мг/м³; меламін ГДКр.з. 0.5 мг/м³, ГДКс.д. 0.01 мг/м³; титану діоксид ГДКр.з. 10.0 мг/м³; пентаерітрил ГДКр.з. 4.0 мг/м³; формальдегід ГДКр.з. 0.5 мг/м³, ГДКс.д. 0.003 мг/м³; поліфосфати амонію ГДКр.з. 10.0 мг/м³; кислота фосфорна ГДКр.з. 1.0 мг/м³; карбамід ГДКр.з. 10.0 мг/м³

Комісія з питань державної санітарно-епідеміологічної експертизи ДУ «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєсва НАМНУ» 02094, м. Київ, вул. Попудренка, 50, тел.: (044) 559-34-22.

Протокол експертизи № 262 від 22.07.2019 року.

(№ протоколу, дата його затвердження)

Голова експертної комісії



(підпис)

ЗАТВЕРДЖЕНО
Директор,
ПІП «ПОЖТЕХІНІОЗАХИСТ»

М.В. Кобрин
«27» липня 2020 р.

РЕГЛАМЕНТ
РОБІТ З ВОГНЕЗАХИСТУ ДЕРЕВ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ І ЕЛЕМЕНТІВ
ІНТЕР'ЄРНОГО СПОРЯДЖЕННЯ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД*
Група горючості Г1

ЗАСІБ ВОГНЕЗАХИСНИЙ ДЛЯ ДЕРЕВ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ
«ФАЄРВОЛ-ЛАК»


ТУ У 20.5-34384974-001:2019

Дата введення: «27» липня 2020 р.

Дійсний до: «16» липня 2023 р.

РОЗРОБЛЕНО

Інженер-технолог


О.Ю. Цапко
«23» липня 2020 р.

* Згідно постанови КМУ № 166-р від 10.03.2017 р. не потребує погодження з Департаментом запобігання надзвичайним ситуаціям ДСНС України.

Київ-2020

ЗАТВЕРДЖУЮ

Заступник начальника Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України з питань розвитку та випробувань,

полковник,
докт. техн. наук, проф.



М.І. Васьківський
2021

ПРОТОКОЛ

натурних випробувань з визначення вогнезахисної ефективності засобів для захисту дерев'яної тари, виготовленої з меблевого щита, що може використовуватися для зберігання боєприпасів

УЗГОДЖЕНО

Директор Науково-дослідного інституту в'язучих речовин і матеріалів ім. В.Д. Глуховського Київського національного університету будівництва і архітектури,

докт. техн. наук, проф.

[Handwritten signature]

П.В. Кривенко
2021

Київ – 2021

Підстава для проведення випробувань Угода про співробітництво між Науково-дослідним інститутом в'язучих речовин і матеріалів ім. В.Д. Глуховського Київського національного університету будівництва і архітектури та Центральним науково-дослідним інститутом озброєння та військової техніки Збройних Сил України.

Місце проведення випробувань: випробувальна лабораторія, м. Чернігів.

14032, м. Чернігів, вул. Белова, 13.

Об'єкт випробувань: модельні зразки дерев'яної тари, виготовлених з меблевого щита з масиву деревини сосни, товщиною дошки 14 мм (фото 1, 2), які було оброблено вогнезахисними засобами:

- необроблений (експериментальний зразок №1);
- на органічній основі з додаванням полімерного в'язучого (експериментальний зразок №2).



а



б

Фото 1. Модельні зразки дерев'яної тари: а – необроблений; б – які було оброблено водостійким вогнезахисним засобом на органічній основі з додаванням полімерного в'язучого.

Пальне для випробувань: рідка запальвальна суміш (бензин).

Мета випробувань: Визначення вогнезахисної ефективності дерев'яної тари, виготовлених з меблевого щита, а саме:

- зовнішній вигляд,
- горіння матеріалу,
- час спрацювання піропатронів,
- вогнезахисна ефективність (втрата маси зразка після випробування).

Дата проведення випробувань: 28.06.2021 р.

Методика випробувань:

Визначення вогнезахисної ефективності проводили за тимчасовою робочою методикою.

Метод експериментального визначення ефективності вогнезахисту зразків дерев'яної тари, виготовлених з меблевого щита, які було оброблено вогнезахисними засобами полягає у впливі на зразок полум'я бензину (модель запалювальна речовина) з заданими параметрами та реєструванні часу до займання, спрацювання піропатронів і визначення втрати маси зразка після випробування.

Зразок тари, що виготовлений з меблевого щита встановлювали на підставку. Під зразок тари встановлювали ємність діаметром 80 мм і висотою 100 мм, в якій поміщали запалювальну суміш у кількості 100 мл. на 1 дм². На дно зразка по кутам та середині розміщали піропатрони. (фото 2).

Підпалювали пальне і зразок тари витримували у полум'ї пального протягом часу вигорання та до відсутності самостійного горіння і тління.

Критерієм визначення ефективності вогнезахисту зразка тари є відсутність займання та поширення полум'я поверхнею, значення показника втрати маси тари, яка повинна становити не більше 10%, а також остаточне горіння після вигорання пального та час спрацювання піропатронів.



Фото 2. Модельний осередок пожежі

Засоби випробувань:

Відомості про засоби вимірювальної техніки та випробувальне обладнання наведено в таблиці 1.

Табл. 1 – Засоби виміральної техніки та випробувальне обладнання, які використовувались для проведення випробувань.

Найменування і тип засобу вимірювання	Діапазон вимірювання	Клас точності та/або похибка вимірювання	Дата наступної повірки (атестації)	Призначення під час випробувань
Психрометр аспіраційний	Температури: від 5 до +40 °С вологості: від 45 % до 75 %	Похибка вимірювання: температури $\pm 2,0$ °С; вологості $\pm 4\%$	02.2022	Вимірювання температури та вологості навколишнього середовища
Секундомір	Від 0 до 60 с від 60 до 3600 с від 3600 до 7200 с від 7200 до 10800 с	Клас точності 2. $\pm 0,4$ с $\pm 1,9$ с $\pm 3,8$ с $\pm 5,7$ с	11.2021	Вимірювання тривалості випробування
Штангенциркуль	від 0 до 125 мм	Клас точності 2 Похибка вимірювання $\pm 0,1$ мм	11.2021	Вимірювання розмірів зразка
Рулетка	Від 0 до 5 м	Клас точності 2. Ціна поділки – 1 мм	12.2021	Вимірювання розмірів зразків
Прилад для вимірювання вологості деревини (Електроний вологомір ЄВ-2К)	Від 7 до 60%	$\pm 2\%$	-	Вимірювання вологості деревини
Ваги настільні електронні ВЛЭ 300	Від 0 до 300 кг	Клас точності 2.	07.2021	Вимірювання маси вогнезахисного засобу (покриття)
Барометр	Від 600 до 800 мм рт.ст.	$\pm 1,0$ мм рт. ст.	02.2022	Вимірювання атмосферного тиску

Хід та результати випробувань.

Випробування з визначення вогнезахисної ефективності дерев'яної тари проведено 28 червня 2021 р. за таких умов:

- температура повітря, °С+24;
- відносна вологість повітря, %70;
- атмосферний тиск, кПа99,9.

На фото 3 показано результати випробувань необробленого зразка тари, виготовленого з меблевого щита; на фото 4, 5 – зразка тари, виготовленого з меблевого щита, обробленого водостійким органічним вогнезахисним засобом з додаванням полімерного в'язучого.

В таблиці 2 приведено результати втрати маси та час спрацювання піропатронів.



а



б



в



г



д



е



ж



з

Фото 3. Результати випробувань необробленого модельного зразка тари, виготовлених з меблевого щита: а – запалювання модельного вогнища; б – початок термічного впливу; в – займання деревини; г – горіння деревини; д – вигорання деревини; е –руйнування конструкції; ж – вогнище після горіння; з – внутрішня частина тари



а



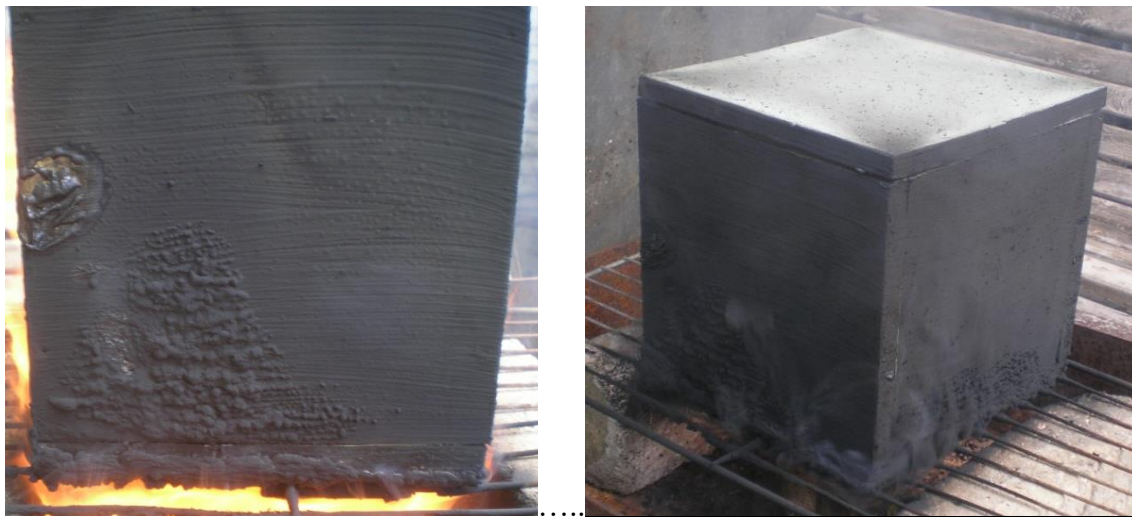
б



в



г



д

е

Фото 4. Результати випробувань вогнезахищеного модельного зразка тари, виготовлених з меблевого щита: а – запалювання модельного вогнища; б – початок термічного впливу; в – зниження інтенсивності горіння; г – спучення покриття; д – пригнічення горіння



Фото 5. Результати випробувань вогнезахищеного модельного зразка тари, виготовленого з меблевого щита: утворення спученого шару коксу при дії полум'я пожежі

Таблиця 2. Результати випробувань тари для зберігання боєприпасів

Модельний зразок тари для випробувань	Маса зразка, кг		Час спрацювання піропатронів, с	Втрата маси зразка після випробувань $\Delta m, \%$
	До випробувань	Після випробувань		
необроблений	1,780	0,652	Перший – 820 Другий – 890 Третій – 920 Четвертий – 930 П'ятий – 990	63,4
оброблений водостійким вогнезахисним засобом на органічній основі з додаванням полімерного в'язучого	1,916	1,751	відсутній	8,6

В результаті проведених випробувань встановлено:

– необроблений модельний зразок тари для зберігання озброєння і боєприпасів здатний до займання та поширення полум'я поверхнею після запалювання його модельною сумішшю, що призводить до спрацювання піропатронів та руйнування конструкції;

– модельний зразок тари для зберігання озброєння і боєприпасів оброблений водостійким вогнезахисним засобом на органічній основі з додаванням полімерного в'язучого після вигорання модельної суміші не горів, відповідно і не відбулося руйнування конструкції та спрацювання піропатронів, при цьому зафіксовано спучення захисного покриття на окремих ділянках під час дії полум'я, зокрема у нижній частині тари.

Висновки за результатами випробувань:

Проводити вогнезахисне оброблення конструкцій і виробів з деревини та деревинних матеріалів під час експлуатації як на об'єктах так і у польових умовах.

Примітка:

– результати випробувань відносяться виключно до зразків, що випробовувались;

– протокол є цілісним документом і може бути передрукований тільки в повному обсязі на підставі згоди виконавців.

Підготовлено 2 примірники протоколу.

Місце знаходження протоколу:

– екз. № 1 – Науково-дослідний інститут в'язучих речовин і матеріалів ім. В.Д. Глуховського Київського національного університету будівництва і архітектури.

– екз. № 2 – Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України.

Випробування провели:

Представник Науково-дослідного інституту в'язучих речовин і матеріалів ім. В.Д. Глуховського Київського національного університету будівництва і архітектури

Головний науковий співробітник
(професор кафедри технології
деревобробки НУБіП України),
докт. техн. наук, проф.



Ю.В. Цапко

Старший науковий співробітник,
канд. техн. наук, доцент



О.П. Бондаренко

Старший науковий співробітник, PhD



О.Ю. Цапко

Аспірант НУБіП України



В.В. Ломага

Представник Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України

Провідний науковий співробітник
2 науково-дослідного управління,
канд. хім. наук, ст. наук. співр.



М.С. Мошковський

Розрахунок собівартості 1 кг вогнезахисних засобів за порівняльними варіантами наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Розрахунок собівартості 1 кг компонентів вогнезахисного засобу за порівняльними варіантами

Статті витрат	Одиниця вимірювань	Ціна за од., грн.	Вогнезахисне покриття			
			Базове		Розроблене	
			Витрата на 1 м ²	Вартість, грн.	Витрата на 1 м ²	Вартість, грн.
Ортофосфорна кислота	кг	99	-	-	0,016	1,58
Карбамід	кг	75	-	-	0,012	0,9
Діціандіамід	кг	271	-	-	0,006	1,63
ентидронова кислота	кг	312	-	-	0,003	0,94
Крохмаль	кг	22			0,009	0,20
лак Lussolac Fire Resistant	кг	1021	0,450	460,00	0,589	5,25
Всього	кг			460,00		5,25

Собівартість 1 кг вогнезахисного засобу лак Lussolac Fire Resistant складає $C_1 = 460,00$ грн.

Собівартість оброблення 1 м² запропонованим покриттям, складає $C_2 = 5,25$ грн.

Економічний ефект при виготовленні 1 кг вогнезахисного засобу:

$$\Xi = (460,00 \cdot 4,0 - 51,20) \cdot 1 = 1788,8 \text{ грн.}$$

Економічний ефект при виготовленні 600 кг вогнезахисного засобу:

$$\Xi = (460,00 \cdot 4,0 - 51,20) \cdot 600 = 1073280,00 \text{ грн.}$$

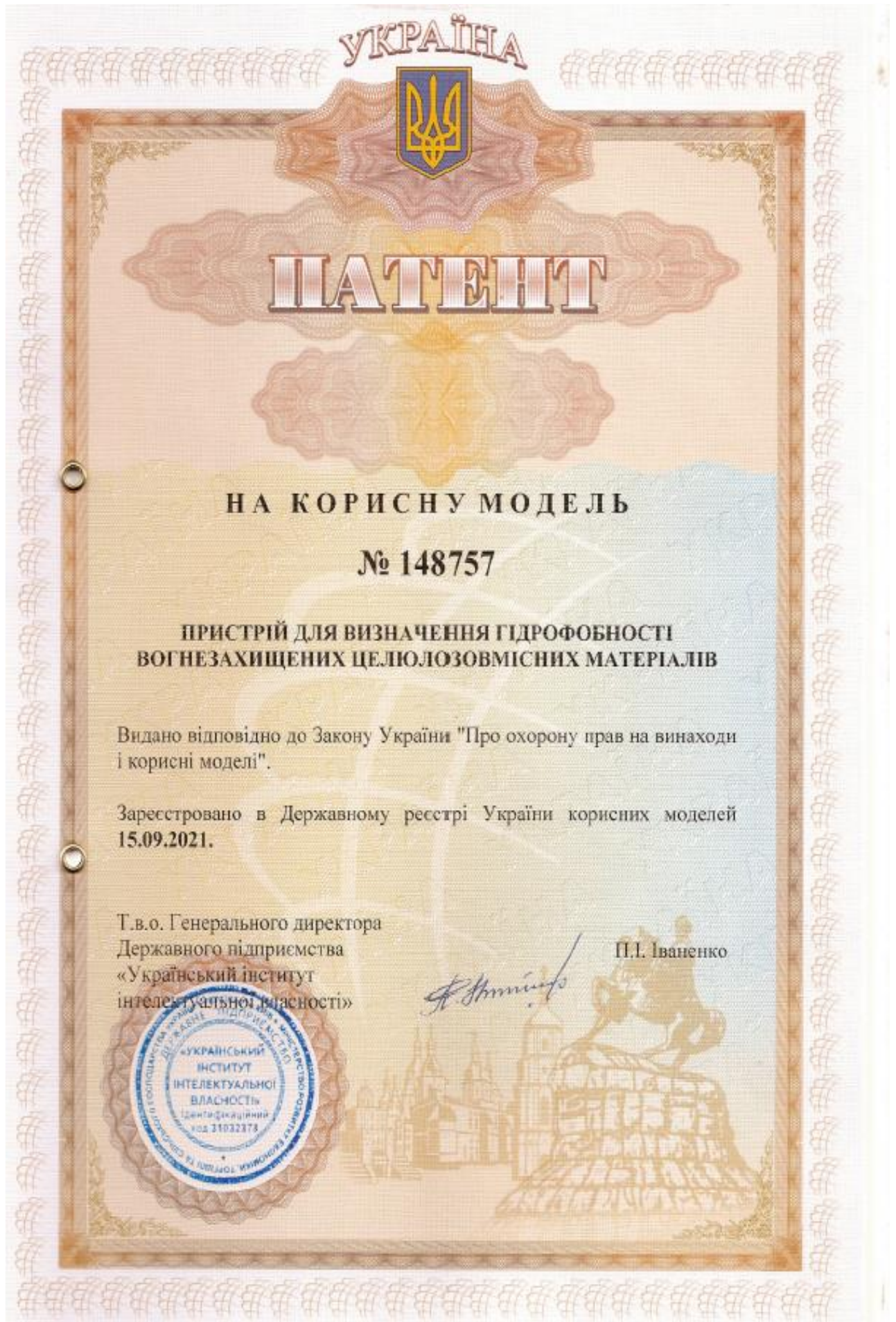
Фактичний економічний ефект від впровадження розробленого покриття становить 1073280,00 грн. при обробленні площі 1018,7 м² (при цьому використано 600 кг покриття), або 1,70 грн. за 1 м² (витрата покриття становить 0,589 кг на 1 м²); базового покриття – 276000,00 грн. при обробленні площі 1333 м², або 207,0 грн. за 1 м².

Таким чином, економія від застосування розробленого органічно-неорганічного покриття в порівнянні з базовим, складає 351,44 грн. на 1 м² і дозволяє збільшити площу оброблення в 1,3 рази.

Технолог
ПП "ПОЖТЕХНОЗАХИСТ"



О.Ю. Цапко



(11) 148757

(19) UA

(51) МПК (2021.01)
 G01N 15/08 (2006.01)
 G01N 15/02 (2006.01)
 G01N 13/00
 E04B 1/92 (2006.01)

(21) Номер заявки: u 2021 01527

(22) Дата подання заявки: 23.03.2021

(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 16.09.2021

(46) Дата публікації відомостей про державну реєстрацію та номер Бюлетеня: 15.09.2021, Бюл. № 37

(72) Винахідники:
 Цапко Юрій Володимирович,
 UA,
 Бондаренко Ольга Петрівна,
 UA,
 Цапко Олексій Юрійович,
 UA,
 Ломага Василь Васильович,
 UA

(73) Володілець:
 КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
 УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА
 ТА АРХІТЕКТУРИ,
 просп. Повітрофлотський, 31,
 м. Київ, 03037, UA

(54) Назва корисної моделі:

ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ГІДРОФОБНОСТІ ВОГНЕЗАХИЩЕНИХ ЦЕЛЮЛОЗОВІСНИХ МАТЕРІАЛІВ

(57) Формула корисної моделі:

Пристрій для визначення гідрофобності целюлозовісних будівельних матеріалів, що складається з герметизувальних фланців з гумовими прокладками для фіксації зразка та фторопластової труби, встановленої напроти випробувального зразка зі сторони, обробленої гідрофобізатором, в яку заливають воду, який відрізняється тим, що додатково у нижній частині пристрою розташовані два електроди, які під'єднані до зворотної частини випробувального зразка та з'єднані з реєструючим пристроєм.

(11) 148757

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
Державне підприємство
«Український інститут інтелектуальної власності»
(Укрпатент)

Цей паперовий документ ідентичний за документарною інформацією та реквізитами електронному документу з електронним підписом уповноваженої особи Державного підприємства «Український інститут інтелектуальної власності».

Паперовий документ містить 2 арк., які пронумеровані та прошиті металевими люверсами.

Для доступу до електронного примірника цього документа з ідентифікатором 0331130921 необхідно:

1. Перейти за посиланням <https://sis.ukrpatent.org>.
2. Обрати пункт меню Сервіси – Отримати оригінал документу.
3. Вказати ідентифікатор електронного примірника цього документа та натиснути «Завантажити».

Уповноважена особа Укрпатенту



І.Є. Матусевич

16.09.2021



(11) 148756

(19) UA

(51) МПК (2021.01)
 G01N 15/02 (2006.01)
 E04B 1/92 (2006.01)
 G01N 13/00
 G01N 15/08 (2006.01)

(21) Номер заявки: u 2021 01526

(22) Дата подання заявки: 23.03.2021

(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 16.09.2021

(46) Дата публікації відомостей про державну реєстрацію та номер Бюлетеня: 15.09.2021, Бюл. № 37

(72) Винахідники:
 Цапко Юрій Володимирович,
 UA,
 Бондаренко Ольга Петрівна,
 UA,
 Цапко Олексій Юрійович,
 UA,
 Ломага Василь Васильович,
 UA

(73) Володілець:
 КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
 УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА
 ТА АРХІТЕКТУРИ,
 пр. Повітрофлотський, 31, м.
 Київ, 03037, UA

(54) Назва корисної моделі:

СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГІДРОФОБІЗАЦІЇ ВОГНЕЗАХИЩЕНИХ ЦЕЛЮЛОЗОВІСНИХ МАТЕРІАЛІВ

(57) Формула корисної моделі:

Спосіб визначення ефективності гідрофобізації вогнезахисних целюлозовісних матеріалів, який включає визначення ефективності гідрофобізації за відношенням водопоглинання необробленого і обробленого зразків і визначають через кількість поглинутої води під час випробування, який відрізняється тим, що додатково вимірюють час проходження води на зворотній поверхні кожного зразка необробленого та обробленого матеріалу, а характеристики після випробування на гідрофобність покриття визначають по коефіцієнту:

$$K_{\theta} = 10 \left(1 - \frac{\tau_{\text{в.з.}} \cdot U_{\text{в.з.}}}{\tau_{\text{г.з.}} \cdot U_{\text{г.з.}}} \right),$$

де $\tau_{\text{в.з.}}$ - час водопроникнення вогнезахисного гідрофобізованого зразка; $\tau_{\text{г.з.}}$ - час водопроникнення вогнезахисного зразка; $U_{\text{в.з.}}$ - кількість поглинутої води гідрофобізованим вогнезахисним зразком, кг; $U_{\text{г.з.}}$ - кількість поглинутої води вогнезахисним зразком, кг.

(11) 148756

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
Державне підприємство
«Український інститут інтелектуальної власності»
(Укрпатент)

Цей паперовий документ ідентичний за документарною інформацією та реквізитами електронному документу з електронним підписом уповноваженої особи Державного підприємства «Український інститут інтелектуальної власності».

Паперовий документ містить 2 арк., які пронумеровані та прошиті металевими люверсами.

Для доступу до електронного примірника цього документа з ідентифікатором 0330130921 необхідно:

1. Перейти за посиланням <https://sis.ukrpatent.org>.
2. Обрати пункт меню Сервіси – Отримати оригінал документу.
3. Вказати ідентифікатор електронного примірника цього документа та натиснути «Завантажити».

Уповноважена особа Укрпатенту

16.09.2021



І.Є. Матусевич

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Директор

ПП “ПОЖТЕХНОЗАХИСТ”



Кобрин М.В.

Червень 2022 р.

Акт

впровадження результатів наукових досліджень Ломаги В.В.
щодо виготовлення вогнезахисного покриття для захисту деревини

Ми, що підписалися нижче, представник ПП “ПОЖТЕХНОЗАХИСТ” в особі директора Кобрин М.В. з однієї сторони та представника НУБіП України аспіранта Ломаги В.В. склали цей акт, що в період з жовтня 2020 року по квітень 2022 року проведено роботи по виготовленню вогнезахисного покриття для захисту деревини на основі органо-неорганічних речовин.

При реконструкції несучих дерев'яних конструкцій проведено поверхневе оброблення органо-неорганічним покриттям по технології у два етапи: на першому етапі наноситься шар покриття за 4 рази (методом пневматичного нанесення) з витратою 598 г на 1 м², на другому – сушіння і витримка.

Якість оброблення перевіряли згідно з ГОСТ 16363. Станом на квітень 2022 р. вогнезахиснена деревина не втратила якість оброблення.

Директор
ПП “ПОЖТЕХНОЗАХИСТ”

A large, stylized handwritten signature in blue ink, likely belonging to M. V. Kobrin.

Кобрин М.В.

Аспірант НУБіП України

A smaller handwritten signature in blue ink, likely belonging to V. V. Lomaga.

Ломага В.В.

Довідка

У період з жовтня 2020 року по квітень 2022 року на ПП “ПОЖТЕХНОЗАХИСТ” проведено роботи із захисту дерев’яних конструкцій від термічного руйнування органо-неорганічним покриттям: антипірени – ортофосфорна та ентидронова кислота, газоутворювач – карбамід, діціандіамід, коксоутворювач – крохмал, підбір та ефективність застосування яких визначив аспірант НУБіП України Ломага В.В. під час розроблення органо-неорганічного покриття для захисту деревини.

Фактичний економічний ефект від впровадження та захисту дерев’яних конструкцій становить 1073280,00 грн. при обробленні площі 1018,7 м² (при цьому використано 600 кг антипірену), або 1,7 грн. за 1 м² (витрата композиції становить 0,589 кг на 1 м²).

Станом на квітень 2022 р. вогнезахищена деревина не втратила якість оброблення.

Акт впровадження та розрахунок економічної ефективності прикладається.

Довідка видана для подання у результатах дисертаційних робіт.

Директор
ПП “ПОЖТЕХНОЗАХИСТ”



Кобрин М.В.

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Директор
 ДП «ПОЖТЕХНОЗАХИСТ»
 Кобрич М.В.
 2022 р.



РОЗРАХУНОК

економічної ефективності впровадження вогнезахисного засобу

При виконанні робіт по протипожежній обробці внутрішніх поверхонь основних несучих дерев'яних конструкцій органо-неорганічним покриттям (Акт від 28.06.2022 р.), було встановлено його економічну доцільність.

Розрахунок виконано у відповідності до СН 509–78 “Инструкция по определению экономической эффективности использования в строительстве новой техники, изобретений и рациональных” за формулою:

$$\Xi = (C_1 - C_2) \cdot \varphi \cdot A,$$

де C_1 , C_2 – собівартість 1 кг виготовлення, відповідно, вогнезахисним лаком Lussolac Fire Resistant (базовий варіант) та покриттям на органо-неорганічній основі (розроблений варіант);

φ – коефіцієнт зміни терміну експлуатації покриттям на органо-неорганічній основі в порівнянні з базовим варіантом (Додаток 2 СН 509–78);

A – обсяг виробництва, кг.

Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності наведені в табл. 1

Таблиця 1

Вихідні дані для розрахунку

№ з/п	Найменування показників	Позначення	Одиниця вимірювання	Вогнезахисне покриття	
				базове	розроблене
1	Об'єм виробництва	A	кг	600	600
2	Собівартість	C	грн./кг	1021	51,20
3	Термін експлуатації	T	рік	4	6
4	Коефіцієнт зміни терміну експлуатації	φ	—	1	4,0

Собівартість дослідної партії визначали виходячи із прийнятих на виробництві норм витрат сировини та діючих оптових цін на матеріали за станом на квітень 2022 р.

Термін експлуатації покриттів, які забезпечують I групу вогнезахисної ефективності (по результатам випробувань після штучного старіння) для базового (лак Lussolac Fire Resistant) складає 4 роки, для розробленого – 6 років; коефіцієнт зміни терміну експлуатації становить 4,0 (Додаток 2 СН 509–78).

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**Статті у наукових фахових виданнях України**

1. Цапко Ю. В., **Ломага В. В.**, Бондаренко О. П., Цапко О. Ю. Дослідження окремих аспектів вогнезахисту деревини спучуючим лаком. Науковий вісник будівництва. 2019. Вип. 4. С. 240–245. *(Здобувачем поставлено задачу та проведено дослідження).*

2. **Ломага В. В.**, Цапко О. Ю., Цапко Ю. В., Бондаренко О. П. Визначення часу запалювання рослинної сировини при дії високої температури радіаційної панелі. Ukrainian Journal of Forest and Wood Science. 2020. Т. 11. № 3. С. 77–84. *(Здобувачем опрацьовано аналітичні дані).*

3. Цапко Ю. В., Цапко О. Ю., Бондаренко О. П., **Ломага В. В.** Оптимізація неорганічних складових вогнезахисного лаку для деревини. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. 2021. Вип. 82. С. 123–132. *(Здобувачем виконано експериментальні дослідження).*

4. Цапко Ю. В., **Ломага В. В.**, Цапко О. Ю. Багатофакторний метод оцінювання ефективності вогнезахисту деревини. Ukrainian Journal of Forest and Wood Science. 2022. Т. 13. № 1. С. 72–80. *(Здобувачем проведено теоретичні, експериментальні дослідження та оброблено результати).*

**Статті у періодичному науковому виданні,
проіндексованому у базах даних****Web of Science Core Collection та/або Scopus**

5. Tsapko Yu., **Lomaha V.**, Tsapko O., Mazurchuk S., Horbachova O., Zavalov D. Determination of regularities of heat resistance under flame action on wood wall with fire-retardant varnish. East European Journal Enterprise Technologies. 2020. Vol. 4. № 10 (106). P. 55–60. *(Здобувачем виконано теоретичні дослідження та опрацьовано отримані дані).*

6. Tsapko Yu., Vasylyshyn R., Melnyk O., **Lomaha V.**, Tsapko A., Bondarenko O. Regularities in the washing out of water-soluble phosphorus-ammonium salts from the fire-protective coatings of timber through a polyurethane shell. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. Vol. 2. № 10 (110).

P. 51–58. *(Здобувачем обраховано результати досліджень та виконано їхній аналіз).*

7. Tsapko Yu., **Lomaha V.**, Vasylyshyn R., Melnyk O., Balanyuk V., Tsapko A., Bondarenko O., Karpuk A. Establishing regularities in the reduction of flammable properties of wood protected with two-component intumescent varnish. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2022. Vol. 3. № 10 (117). P. 63–71. *(Здобувачем виконано теоретичні дослідження та опрацьовано отримані дані).*

Статті у наукових виданнях інших держав

8. Tsapko Yu., **Lomaha V.**, Bondarenko O., Sukhaneych M. Research of Mechanism of Fire Protection with Wood Lacquer. Materials Science Forum. 2020. Vol. 1006. P. 32–40. *(Здобувачем проведено експериментальні дослідження).*

9. Tsapko Yu., **Lomaha V.**, Tsapko A., Bondarenko O. Research of mechanism of fire protection with wood lacquer. Materials Science Forum. 2021. Vol. 1038. P. 531–538. *(Здобувачем проведено теоретичні дослідження та опрацьовано отримані результати).*

Патенти України на корисні моделі

10. Цапко Ю. В., Бондаренко О. П., Цапко О. Ю., **Ломага В. В.** Спосіб визначення ефективності гідрофобізації вогнезахищених целюлозовмісних матеріалів: патент на корисну модель № 148756 Україна, МПК G01N 15/02 (2006.01); заявлено 23.03.2021; опубліковано 15.09.2021. Бюл. № 37. 4 с. *(Здобувачем запропоновано ідею та обґрунтовано спосіб).*

11. Цапко Ю. В., Бондаренко О. П., Цапко О. Ю., **Ломага В. В.** Пристрій для визначення гідрофобності вогнезахищених целюлозовмісних матеріалів: патент на корисну модель № 148757 Україна, МПК G01N 15/08 (2006.01); заявлено 23.03.2021; опубліковано 15.09.2021. Бюл. № 37. 3 с. *(Здобувачем проведено визначення істотних ознак винаходів, обґрунтовано спосіб).*

Тези наукових доповідей

12. Цапко Ю. В., Зав'ялов Д. Л., Бондаренко О. П., **Ломага В. В.** Дослідження вогнестійких властивостей теплоізоляційних плит з деревної шерсті. Розвиток цивільного захисту в сучасних безпекових умовах:

21 Всеукраїнська науково-практична конференція (за міжнародною участю), м. Київ, 08 жовтня 2019 року: тези доповіді. К., 2019. С. 289–292. *(Здобувачем опрацьовано та проаналізовано методи визначення властивостей деревини обробленої вогнезахисним засобом).*

13. **Ломага В. В.**, Цапко Ю. В. Запалювання рослинної сировини при дії високої температури радіаційної панелі. Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2020): X Міжнародна науково-практична конференція, м. Чернігів, 29–30 квітня 2020 року: тези доповіді. Чернігів, 2020. Т. 1. С. 272. *(Здобувачем досліджено застосування деревинних матеріалів).*

14. Цапко Ю. В., **Ломага В. В.**, Цапко О. Ю., Бондаренко О. П. Деякі аспекти вогнезахисту деревини просочувальними композиціями на основі неорганічних та органічних речовин. Проблеми надзвичайних ситуацій: Міжнародна науково-практична конференція, м. Харків, 20 травня 2020 року: тези доповіді. Харків, 2020. С. 315–317. *(Здобувачем поставлено задачу, проведено дослідження).*

15. Цапко Ю. В., Цапко О. Ю., Бондаренко О. П., **Ломага В. В.** Оптимізація складу вогнезахисного лаку для деревини. Моделювання та оптимізація будівельних композитів: Міжнародний семінар, м. Одеса, 19–20 листопада 2020 року: тези доповіді. Одеса, 2020. С. 151–154. *(Здобувачем зібрано дані та проведено аналіз компонентів).*

16. Цапко Ю. В., **Ломага В. В.**, Цапко О. Ю., Бондаренко О. П. Деякі аспекти вогнезахисту деревини просочувальними композиціями на основі неорганічних та органічних речовин. Проблеми надзвичайних ситуацій: Міжнародна науково-практична конференція, м. Харків, 20 травня 2021 року: тези доповіді. Харків, 2021. С. 224–225. *(Здобувачем запропоновано комплекс складів органічних речовин).*

17. **Ломага В. В.**, Цапко Ю. В., Цапко О. Ю. Стійкість на вимивання з деревини водорозчинних фосфоро-амонійних солей вогнезахисного покриття з поліуритановою оболонкою. Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2021): XI Міжнародна науково-практична

конференція, м. Чернігів, 26–27 травня 2021 року: тези доповіді. Чернігів, 2021. Т. 1. С. 240. *(Здобувачем проаналізовано методи визначення основних властивостей вогнезахищеної деревини).*

18. **Ломага В. В.**, Цапко Ю. В. Окремі аспекти вимивання водорозчинних антипіренів з деревини через поліуретанову оболонку. Теперішнє та майбутнє лісів екотону середніх широт: Міжнародна науково-практична конференція, присвячена 180-річчю навчально-наукового інституту лісового і садово-паркового господарства та 95-річчю ВП НУБіП України «Боярська лісова дослідна станція», м. Київ, 11 червня 2021 року: тези доповіді. Київ, 2021. С. 80. *(Здобувачем зібрано та проаналізовано дані, проведено аналіз впливу вологи).*

19. **Ломага В. В.**, Цапко Ю. В. Умови застосування вогнезахищеної деревини на об'єктах різного призначення. Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2022): XII Міжнародна науково-практична конференція, м. Чернігів, 26–27 травня 2022 року: тези доповіді. Чернігів, 2022. Т. 1. С. 256. *(Здобувачем проаналізовано проблему, проведено дослідження матеріалів на основі деревини).*

Навчальний посібник

20. Цапко Ю. В., Цапко О. Ю., **Ломага В. В.** Модифікація деревини та деревинних матеріалів: навчальний посібник. Київ, 2019. 199 с. *(Здобувачем запропоновано методи вогнезахисного оброблення деревини та порядок утримання захисного оброблення дерев'яних конструкцій).*