

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
ННІ Лісового і садово-паркового господарства

УДК 674.1

ПОГОДЖЕНО  
Директор ННІ  
Лісового і садово-паркового  
господарства  
Роман  
ВАСИЛИШИН  
(підпис)

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ  
В.о. завідувача кафедри  
технологій та дизайну виробів з  
деревини  
Андрій СПРОЧКІН  
(підпис)

« » 20 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
на тему: «Обґрунтування доцільності застосування атмосферостійкого  
вогнезахисного покриття для зовнішніх поверхонь модульних будинків»

Спеціальність: 187 «Деревообробні та меблеві технології»

Магістерська програма: «Деревообробні та меблеві технології»  
Програма підготовки: освітньо-професійна

Гарант освітньої програми

Д.Т.Н., проф.  
(науковий ступінь та вчене звання)

Олена ПИЧЕВСЬКА  
(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

К.Т.Н., доц.  
(науковий ступінь та вчене звання)

Сергій МАЗУРЧУК  
(ПІБ)

Виконав  
(підпис)

Ігор СЕМЕНОВ  
(ПІБ студента)

Київ – 2023 рік

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

ІННІ Лісового і садово-паркового господарства

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри технологій та дизайну

виробів з деревини

д.т.н., проф. Олена ПІНЧЕВСЬКА

«    » 20 р.

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Семенову Ігорю Костянтиновичу

Спеціальність: 187 «Деревообробні та меблеві технології»

Магістерська програма: «Деревообробні та меблеві технології»

Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна

Тема магістерської кваліфікаційної роботи «Обґрунтування доцільності застосування атмосферостійкого вогнезахисного покриття для зовнішніх поверхонь модульних будинків» затверджена наказом ректора НУБіП України від «15» грудня 2022 р. № 1853 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру: 07.11.2023 року

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи звіти роботи базового підприємства, звіти з виробничої, переддипломної практики, методики виконання експериментальних досліджень, державні, міждержавні стандарти.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Характеристика вогнезахисних засобів.
2. Проаналізувати сучасний стан ринку вогнезахисних засобів для дерев'яних будівельних конструкцій.
3. Розробити технологічний процес опорядження фасадної дошки для обшиття модульних будинків.
4. Провести експериментальні дослідження з горючості деревини. Визначити індекс горючості деревини, вогнезахисної просочувальними засобами.
5. Визначити аспекти застосування атмосферостійкого вогнезахисного покриття для зовнішніх поверхонь модульних будинків.

Дата видачі завдання «    » 20 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи Сергій МАЗУРЧУК

Завдання прийняв до виконання Ігор СЕМЕНОВ

## РЕФЕРАТ

НУБІП України  
Пояснювальна записка МР містить 66 с., 11 рис., 14 табл., 31 джерело, 2 додатки.

НУБІП України  
У першому розділі описано загальні питання, що стосуються вогнезахисту дерев'яних конструкцій, процесу утворення пористої коксоподібної структури на поверхні деревини від дії вогню. Розглянено основні види та компоненти вогнезахисних матеріалів. Проведений глибокий аналіз наукових досліджень та праць що стосуються теми роботи.

НУБІП України  
У другому розділі приведений опис конструкцій та матеріалів, що використовуються для будівництва модульних будинків. За методом аналізу ієрархій вибрано пріоритетну породу деревини для фасадної дошки, зовнішнього обшиття модульного будинку. Зазначено основні особливості процесу формування зовнішнього атмосферостійкого вогнезахисного покриття будинку.

НУБІП України  
У третьому розділі розглянуто методики проведення експериментальних досліджень вогнезахисної ефективності покриттів для дерев'яних конструкцій. Опрацьовано результати досліджень. Встановлено, що необроблений досліджувальний зразок деревини зайнявся на 52 с, полум'я поширилося по всьому зразку протягом 100 с. Окрім цього, зразки деревини, що були вогнезахиснені різними просочувальним розчинами показали задовільні результати вогнезахисту. Так, найбільш ефективним засобом для вогнезахисту дерев'яних конструкцій, фасадів будинків із деревини є фарба «ФАЄРВОЛ-ВУД». Під час експерименту, загорання зразка обробленого зазначеною фарбою не відбулося, оскільки на поверхні утворився захисний шар пінококсу, індекс горючості становив 0. Проаналізовано та визначено цінну політику вогнезахисних засобів.

НУБІП України  
У четвертому розділі описано основні аспекти застосування атмосферостійкого вогнезахисного покриття. Наведено основні вимоги, що висуваються до антипіренів. Зазначені основні етапи застосування вогнезахисних засобів, їх склад. Приведено заходи з охорони праці при

виконанні робіт з оброблення деревини, просочувальними, вогнезахисними та лакофарбовими матеріалами.

# НУБІП України

Ключові слова: дерев'яні конструкції, модульні будинки, вогнезахисне покриття, оброблення поверхні, температура горіння, втрата маси,

теплопровідність, індекс горючості, пожежостійкість

# НУБІП України

# НУБІП України

# НУБІП України

# НУБІП України

# НУБІП України

# НУБІП України

ВСТУП.....	ЗМІСТ	6
РОЗДІЛ 1	ВОГНЕЗАХИСТ	1
МАТЕРІАЛИ.....	ВОГНЕЗАХИСНІ	8

1.1. Вогнезахист	дерев'яних	Конструкцій	8		
1.2. Види	та	призначення	вогнезахисних	матеріалів	14

1.3. Аналіз наукових досліджень та праць щодо вогнезахисту

дерев'яних	Конструкцій	14
РОЗДІЛ 2	МОДУЛЬНІ БУДИНКИ. ПРИЙНЯТТЯ ПРОЕКТНИХ	20
РІШЕНЬ...		

Модульні будинки, матеріали та конструкції

2.1.		20		
2.2. Вибір пріоритетної породи деревини для обшиття модульного будинку	за	методом	аналізу	23
ієрархій.....				

2.3. Технологічний процес формування атмосферостійкого

вогнезахисного	покривтя	Зовнішніх	37
поверхонь.....			
РОЗДІЛ 3	МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ	39	
ДОСЛІДЖЕНЬ.....			

3.1. Методика проведення експериментальних досліджень

вогнезахисної	ефективності	покривтів	для	дерев'яних	конструкцій	39
3.2. Аналіз	результатів	експериментальних	досліджень	44		

РОЗДІЛ 4 АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ АТМОСФЕРОСТІЙКОГО

ВОГНЕЗАХИСНОГО	49
ПОКРИТТЯ.....	

4.1.	Антипірени та вогнезахисні фарби.....	49
4.2.	Охорона праці та захист оточуючого середовища.....	53

ВИСНОВКИ

57

Н	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	59
---	---------------------------------	----

ДОДАТКИ.....

63

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## ВСТУП

Деревина, як будівельний матеріал, все частіше використовується у будівництві й архітектурі, оскільки має значні позитивні експлуатаційні властивості. Однак, враховуючи високу горючість, є пожежонебезпечним матеріалом, що обмежує сферу її застосування, особливо у багатоповерховому дерев'яному будівництві. Збільшити ступінь безпечної експлуатації об'єктів, де використовуються матеріали і вироби з деревини, можливо за допомогою її захисного оброблення від вогню. Суть захисту деревини полягає в наданні їй здатності протистояти дії полум'я, поширенню полум'я поверхнею, в протидії термоокислюванню, деструкції та гальмуванню процесу займання. Відомо, що деревина не здатна до полуменевого горіння сама по собі, а горять продукти її розкладу, які утворюються під дією температури. Введення в матеріал антипіренів збільшує кількість виникнення інертних летких продуктів, що флегматизують газозфазні реакції полум'я, усувають тління карбонізованого залишку та зменшують інтенсивність втрати маси [1, 2]. Просочувальні вогнезахисні композиції не завжди забезпечують стійкість деревини до впливу високотемпературного розкладу, оскільки не витримують температурно вологісних коливань та втрачають захисні властивості. Застосування спучуючих покриттів дозволяє теплоізулювати матеріал за рахунок утворення термостійкого шару та зберегти несучу здатність конструкції при дії вогню певного періоду часу [3, 4].

**Об'єкт дослідження:** технологічний процес горючості деревини.

**Предмет дослідження:** визначення індексу горючості деревини, вогнезахисної просочувальними засобами.

**Мета роботи:** обґрунтування доцільності застосування атмосферостійкого вогнезахисного покриття для зовнішніх поверхонь модульних будинків.

**Методи досліджень:** експериментальний – визначення індексу горючості деревини, вогнезахисної просочувальними засобами; статистичні обчислення для обробки експериментальних даних.

**Завдання дослідження:**

Характеристика вогнезахисних засобів;  
 Проаналізувати сучасний стан ринку вогнезахисних засобів для дерев'яних будівельних конструкцій;

Розробити технологічний процес опорядження фасадної дошки для обшиття модульних будинків;

Провести експериментальні дослідження з горючості деревини. Визначити індекс горючості деревини, вогнезахисленої просочувальними засобами;

Визначити аспекти застосування атмосферостійкого вогнезахисного покриття для зовнішніх поверхонь модульних будинків.

Тому обґрунтування та встановлення параметрів пригнічення горіння деревини при підвищеній температурі й впливу покриття зовнішніх поверхонь модульних будинків має значення й відповідно визначає необхідність проведення таких досліджень.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## РОЗДІЛ 1

## ВОГНЕЗАХИСТ І ВОГНЕЗАХИСНІ МАТЕРІАЛИ

# НУВБІП України

## 1.1. Вогнезахист дерев'яних конструкцій

Вогнезахист призначений для підвищення фактичної межі вогнестійкості конструкцій до необхідних значень і обмеження межі поширення вогню з них, при цьому звертається увага на зниження побічних ефектів (димотворення, виділення газоподібних токсичних речовин). Це завдання виконують шляхом використання теплозахисних та теплопоглинаючих «екранів», спеціальних конструктивних рішень, технологічних прийомів та операцій, а також застосуванням сумішей зниженої горючості, які мають загальну назву вогнезахисні матеріали.

Вогнезахисна дія екранів ґрунтується або на їх високому опорі тепловим впливам при пожежі, збереженні протягом заданого часу теплофізичних характеристик при високих температурах, або на їх здатності зазнавати структурних змін при теплових впливах з утворенням пористих коксоподібних структур, для яких характерна висока ізолююча здатність.

Окрім цього, вогнезахист передбачає застосування конструктивних методів, використання теплозахисних екранів із полегшених складів, що наносяться на поверхню конструкцій високопродуктивними індустріальними методами, розробку матеріалів, що володіють властивостями зниженої пожежної небезпеки.

Конструктивні методи вогнезахисту включають бетонування, обкладку цеглою, оштукатурювання поверхні елементів конструкцій, використання великорозмірних листових і плитних вогнезахисних облицювань, застосування вогнезахисних конструктивних елементів (наприклад, вогнезахисних підвісних стель), заповнення внутрішніх порожнин стійкості конструкцій, розробку конструктивних рішень вузлів примикань, сполучення та з'єднань конструкцій та ін. При збільшенні перерізів елементів використовують ті ж марки бетону, цегли та інших матеріалів, що і при виготовленні конструкції, що захищається.

Між приміщеннями, а також при вході та виході з будівель необхідно встановлювати протипожежні двері, інакше комплекс вогнезахисних заходів можна вважати неповним.

Вогнезахисні фарби, лаки, емалі затримують займання матеріалів, зменшують поширення полум'я на поверхні матеріалів. Вони виконують такі функції: являються захисним шаром на поверхні матеріалів, поглинають тепло в результаті розкладання, виділяють інгредієнтні гази, вивільняють воду, прискорюють утворення коксового шару на поверхні матеріалу.

Вогнезахисні фарби поділяються на дві групи :

- ❖ фарби, що не спучуються при нагріванні не збільшують товщину свого шару;

- ❖ фарби, що спучуються, при нагріванні збільшують товщину шару в 10-40 разів.

Як правило, фарби, що спучуються, більш ефективні, так як при теплових впливах відбувається утворення спіненого шару, що представляє собою закоксований розплав негорючих речовин (мінеральний залишок) (рис. 1.1)

Утворення цього шару відбувається за рахунок газо- і пароподібних речовин, що виділяються при нагріванні. Окрім цього, коксовий шар має високі теплоізоляційні якості.



Рис. 1.1. Процес утворення пористої коксоподібної структури на поверхні деревини

Створення матеріалів зниженої горючості досягається шляхом поверхневого та глибокого просочення матеріалів спеціальними сумішами, введення антипіренів до складу вихідних композицій, використання різних мінеральних наповнювачів, а також шляхом використання різноманітних технологічних прийомів. Так, до конструктивних елементів з фанери та деревних пластиків можуть використовуватися такі методи вогнезахисту:

- ❖ просочування листів шпону перед склеюванням;
- ❖ просочення готових клеєних виробів антипіренами різними методами;

- ❖ просочування листів шпону феноло-, крезолосформальдегідними методами (бакелізована фанера);

- ❖ фарбування фанери спеціальними вогнезахисними фарбами;

- ❖ облицювання фанери матеріалами на основі азбесту, металу та ін;

- ❖ створення покриттів на основі термореактивних смол з використанням різних вогнезахисних наповнювачів у процесі гарячого пресування під час виробництва фанери.

Так, слід зазначити, що в останнє десятиліття досягнуто суттєвого прогресу в розробці сумішей для конструкцій, які дозволяють підвищувати до необхідних значень вогнестійкість металевих конструкцій, обмежити поширення вогню по дерев'яних конструкціях, а також вирішувати різні питання пожежної безпеки легких панелей з ефективними утеплювачами.

Конструкції будівель та споруд у звичайних умовах експлуатації можуть зберігати необхідні робочі якості протягом десятків років. В умовах пожежі ці ж конструкції досить швидко втрачають свої експлуатаційні властивості, втрачають несучу, теплоізолюючу здатність та цілісність. Вплив високих температур під час пожежі та навантаження, що додаються на конструкції, інтенсивно розвивають температурні деформації та деформації повзучості, що призводить до їх швидкого обвалення. Дерев'яні будівельні конструкції при пожежі зменшуються у своєму перерізі в результаті обуглювання, відбувається різка втрата межі міцності, що, у свою чергу, призводить до їх обвалення.

В умовах пожеж, що розвинулися, температура в зоні горіння, як правило, перевищує 1000 °С. У цих умовах елементи несучих конструкцій зазнають значної термічної напруги, а локальна температура елементів конструкцій може перевищити критичну межу вогнестійкості і призвести до їх руйнування.

Необхідність проведення робіт з вогнезахисту будівельних конструкцій та матеріалів від небезпечних факторів пожежі є очевидною і є вимогою будівельних норм і правил.

Відповідно до вимог документа «Пожежна безпека будівель та споруд» різні металеві та дерев'яні будівельні конструкції, у т. ч. несучі елементи будівель, міжповерхові перекриття, повинні мати межу вогнестійкості, що відповідає їх призначенню.

## 1.2. Види та призначення вогнезахисних матеріалів

Вогнезахисні матеріали застосовуються для того, щоб збільшити час досягнення критичної температури металевими, дерев'яними, бетонними або іншими будівельними конструкціями при пожежі.

Для кожного матеріалу і типу поверхні, що захищається, існують свої різновиди вогнезахисних покриттів. Так, вогнезахисту піддають такі матеріали:

- ❖ дерев'яні конструкції – вогнезахист деревини є обов'язковою та законодавчо встановленою умовою при використанні її як несучих конструкцій будівель та споруд;

- ❖ дверні та віконні блоки – оскільки, при встановленні дверей та вікон дуже часто використовуються заповнювачі, такі як будівельна піна, яка не чинить опору поширенню вогню під час пожежі.

- ❖ покрівельні поверхні – оскільки при покрівлі дахів використовуються матеріали з бітуму, поліетилену, пресованої деревини, застосування вогнезахисту є обов'язковою умовою експлуатації;

❖ бетон та залізобетонні конструкції – незважаючи на те, що дані будматеріали практично не схильні до горіння, при інтенсивному і тривалому впливі вогню настає їх руйнування;

❖ несучі сталеві конструкції будівель при дії відкритого полум'я в межах від 5 до 15 хв. метал втрачає свої характеристики міцності, що неминуче призводить до руйнування конструкцій;

❖ повітропроводи та канали вентиляції – здебільшого саме за цими інженерними комунікаціями поширюється вогонь;

Слід зазначити, що вогнезахисні матеріали для сталевих конструкцій переважно забезпечують п'яту групу вогнезахисної ефективності металу, а вогнезахисні матеріали для деревини забезпечують першу групу вогнезахисту дерев'яних конструкцій. Цього цілком достатньо, так як в 90 % випадків пожежа в окремо взятому приміщенні триває не більше 45 хвилин: за цей час все, що може в ньому горіти, зазвичай вигоряє.

Як правило, вогнезахист деревини, металоконструкцій та інших матеріалів здійснюється за рахунок застосування спеціальних вогнетійких покриттів, які мають непрозору текстуру та зовні дуже схожі на фарбу. Вогнетривка поверхня, що утворюється таким чином, має незначну товщину, вагу і, відповідно, не створює будь-яких додаткових навантажень на будівельні конструкції. Крім того, сучасні вогнезахисні фарби виконують ще й декоративну функцію.

Сьогодні, при розробці вогнезахисту конструкцій є тенденція до використання полегшених матеріалів та легких заповнювачів, спученого перліту та вермікуліту, мінерального волокна. Високоєфективні фарби які при нагріванні до 170 °С спучуються і утворюють на поверхні матеріалу пористий термоізолюючий шар.

При застосуванні вогнезахисних просочувальних сумішей, антипіренів, фарб, лаків і емалей, що спучуються (рис. 1.2), може ставитися завдання деякого зниження поширення полум'я по поверхні дерев'яних конструкцій, або переведення деревини в групу важкозгоряючих матеріалів, що дає можливість різко обмежити поширення вогню по ній до нормованих.



Рис. 1.2. Вогнезахисні засоби для дерев'яних конструкцій

Основною відмінністю спучуючи засобів від не спучуючи є те, що при виникненні гранично високих температур вони збільшуються в десятки разів у своєму обсязі, призводячи до рівномірного розподілу температур і надаючи додатковий час, необхідний для евакуації людей і пожежогасіння. Залежно від конкретного виду суміші, при впливі вогню у структурі фарби починається перебіг хімічної реакції, внаслідок чого вона розкладається, поглинаючи значну частку тепла, і при цьому виділяє безліч негорючих сполук та газів, які створюють певний обсяг спеціальної вуглецевої піни. Саме ця «піна» зберігає конструкції та матеріали, що знаходяться під нею, від руйнування та деформації (рис. 1.3).



Рис. 1.3. Зразок деревини, що піддавався горінню: а – не оброблений; б – оброблений спучуючим вогнезахисним покриттям

Нанесення вогнезахисних сумішей виконується виключно за умов завершеного будівництва за відсутності прямих сонячних променів, атмосферних опадів та за позитивної температури навколишнього середовища.

### 1.3. Аналіз наукових досліджень та праць щодо вогнезахисту дерев'яних конструкцій

Вогнезахист дерев'яних будівельних конструкцій полягає в створенні на поверхні теплоізолюючих екранів, що витримують безпосередню дію вогню і дозволяють деревині зберігати свої функції протягом заданого періоду часу. В роботі [4] було виявлено, що проби кокосового волокна середньої щільності, оброблені вогнезахисними (FR) розчинами, є ефективними у протистоянні пожежам. Це дослідження показало найбільш сприятливе поєднання BR розчину для подання вогнестійкості кокосовим волокнам. Зразки крізно обробляли розчинами FR різних комбінацій бури і борної кислоти. Оброблені зразки показали істотне поліпшення їх стійкості до горючості й часу проникнення

полум'я, знижену швидкість горіння і більш високу стійкість до поширення полум'я. Було проведено регресійний аналіз для визначення співвідношення між ваговим процентним вмістом бору FR, присутнього в розчині, й характеристиками стійкості до полум'я оброблених волокнистих плит кокосового волокна, в яких передбачалося, що прогнози є точними в межах  $\pm 3\%$ .

У висновку встановлено, що будь-яка різниця у ваговій частці бору FR у розчині впливає на стійкість до полум'я і розчин, який містив 35% бору, надав максимальну вогнестійкість зразків кокосового волокна. В роботі [5] розглянуто вплив зв'язуючого з рослинної сировини на створення гнучких теплоізоляційних

матеріалів, але як вирішується питання, що пов'язано з горючістю, не вказано. В роботі [6] розглядається вплив різних температур термічної модифікації та антипіренів на вибрані характеристики горіння та хімічні компоненти деревини тика (*Tectona grandis* L. f.). Термічну модифікацію проводили при температурах 160 °C, 180 °C і 210 °C. Згодом термомодифікована деревина була оброблена

натуральними (арабіногалактан) і синтетичними (фосфат амонію) антипіренами. Вплив термічної модифікації, а також антипірену було виявлено за такими характеристиками горіння, як втрата ваги, швидкість горіння, максимальна швидкість горіння, співвідношення максимальної швидкості горіння та часу

досягнення максимальної швидкості горіння. Хімічні зміни, викликані впливом цих факторів, визначалися зміною вмісту целюлози, геміцелюлоз, голоцелюлози, лігніну та екстрактивних речовин. Зв'язок між характеристиками горіння та хімічними змінами в термічномодифікованій деревині аналізували за допомогою

кореляції Спірмена. Результати показали, що термічна модифікація тикового дерева негативно вплинула на його властивості займання та горіння. Синтетичний антипірен мав найвищий ефект уповільнення у всіх випадках. Природний антипірен спричинив кращий ефект уповільнення термічномодифікованої деревини при температурі 180 і 210 °C. Але

збільшувався відносний вміст лігніну, екстрактивних речовин і целюлози, а зменшувалася кількість голоцелюлози і особливо геміцелюлози.

Якість використання інтумесцентних покриттів на основі неорганічних та органічних речовин показана в роботі [7], де за рахунок дії антипіренів на основі поліфосфату амонію та газотворювачів і каталізаторів можливо впливати на утворення теплоізолювального шару пінококсу. Однак, постає необхідність дослідження що саме створює бар'єр для теплопровідності та забезпечення ефективної дії покриття з утворенням шару коксу. У роботі [8] повідомляється про новий вогнезахисний підхід із застосуванням синергетичних дій, що поєднують унікальні властивості відновленого оксиду графену (rGO) і гідратованого натрію метаборати (SMB). Розроблено одноетапну обробку целюлозних матеріалів композиційним розчином, який створює бар'єрний шар rGO/SMB на поверхні тирси, що забезпечує високоефективний вогнезахисний захист з різними способами дії. Ці характеристики розроблено з урахуванням синергії між властивостями гідратованих кристалів SMB, які працюють як хімічний радіатор для уповільнення термічної деградації целюлозних частинок і газонепроникних шарів rGO, що запобігає доступу кисню та вивільненню токсичних летючих речовин. Зовнішній шар rGO також створює термічний і фізичний бар'єр, переміщуючи вуглець між полум'ям і незгорілими частинками деревини. Вогнезахисні характеристики розробленого графен-боратного композиту та механізм їх режимів вогнезахисту продемонстровано шляхом тестування кількох різних форм целюлозних матеріалів з використанням соснової тирси, ДСП та структур на основі волокна. Результати показали їхню видатну самозатухаючу поведінку зі значною стійкістю до вивільнення токсичних і легкозаймистих летких речовин, що свідчить про те, що вони є прийнятною альтернативою для заміни звичайних токсичних галогенованих вогнезахисних матеріалів. В роботі [9] сказано, що значне підвищення стійкості до атмосферних коливань, механічних характеристик захисного шару отримується внаслідок високотемпературних сполук при застосуванні тих чи інших добавок. Однак, для цього процесу необхідно навести відповідні речовини та фізико-хімічні розрахунки. В роботі [10] показано, що значна кількість захисних покриттів має цілу низку недолків, в тому числі таких, як нанесення

окремих компонентів, їх експлуатація при зміні температурно-вологісних полів. При термічній дії вони втрачають свої функціональні властивості та не здатні захистити матеріали і вироби з деревини. Це означає, що не встановлено, як саме проходить процес розкладання вогнезахисного при експлуатації при підвищених температурах. В роботі [11] наведено дослідження захисних матеріалів, створених із органічних речовин з розчином із кодеманітової руди. Показано, що завдяки встановленим співвідношенням є допустимим зміна вмісту складових для обумовлення процесу теплостійкості. В роботі [12] досліджено вплив натурального волокна (NF), поліфосфату амонію (APP), тригідрату оксиду алюмінію (ATH) та гібриду ATH/APP на горючість, термічні й механічні властивості композитів. Введення натурального волокна (NF) в чисту епоксидну матрицю зменшило загальну теплоту згоряння і забезпечило покращені властивості термічної деградації. Додавання APP підвищило вогнестійкі властивості композиту зі значно зменшеним загальним часом полум'я та нульовою крапелькою. Гібрид 10 мас.% тригідрату оксиду алюмінію (ATH) і 5 мас. % поліфосфату амонію (APP) продемонстрував найбільш багатобічну вогнестійкість із властивістю самозагасання, а також найнижчу валову теплоту та найбільший залишок обуглення серед різних досліджених складів. Загалом склади, що містять лише ATH, не можуть забезпечити ефективний питомий опір полум'ю, порівняно з композиціями, наповненими APP. Композиції, наповнені ATH, знижували міцність на розрив, подовження при розриві та властивості при згині, тоді як спостерігалось збільшення міцності на згин композицій, навантажених APP. В роботі [13] показано, що графеновий наноліст (GNS) в поєднанні з традиційним шаруватим подвійним гідроксидом (LDH), шаруватим гідроксидом рідкоземельних металів (LRH) і антипіреном на основі фосфору (DOPO) використано для підвищення вогнестійкості епоксидної смоли. Синергічний ефект затримки полум'я досягається в системах GNS/LDH і GNS/DOPO, де комбіновані GNS і LDH підвищують в'язкість розливу епоксиду та обмежують поширення полум'я через інгібування крапель. Гранічний кисневий індекс епоксиду підвищувався з 15,9 до 23,6 при додаванні 0,5 мас. %

кожного з GNS і LDH. З додаванням 2,5 мас. % GNS і LDH, загальне тепловиділення епоксидної смоли також зменшилося від 33,4 МДж/м<sup>2</sup> до 24,6 МДж/м<sup>2</sup>. Синергічний ефект GNS і DOPO отримав інший механізм. Додавання 2,5 мас. % GNS і DOPO зменшили пікову швидкість тепловиділення від 1194 кВт/м<sup>2</sup> до 396 кВт/м<sup>2</sup>, а загальну швидкість тепловиділення від 72,5 МДж/м<sup>2</sup> до 48,1 МДж/м<sup>2</sup>. Синергічні механізми вогнезахисних засобів були ретельно проаналізовані та співвіднесені з вогнезахисними властивостями. Розробка екологічно чистого та високоефективного антипірену для застосування в тонкому полімерному покритті все ще залишається серйозною проблемою. В роботі [14] розроблено композиційний антипірен з графену для скляних листів за допомогою нового рідкофазного процесу ексофоліації на місці. Коли антипірен додається до полімерного покриття, він демонструє високу вогнестійкість для горючого пластику, дерева та негорючої сталі. Граничний кисневий індекс (приблизно 32,3 %) і рейтинг UL-94 V-0 ультратонкого полімерного покриття (приблизно 65 мкм) можна отримати для вогнезахисту деревини. Також спостерігається тривалий час вогнезахисна дія (55,0 хв.), яка набагато довше, ніж у звичайного полімерного покриття (1,0 хв.) для вогнезахисту сталі. Ця робота пропонує нову стратегію створення економічно ефективних тонких вогнезахисних полімерних покриттів для різного промислового застосування. В роботі [15] досліджено, як органічні консерванти для деревини, що використовуються для її захисту від грибків і комах-шкідників, впливають на вогнестійкість і горючі властивості деревних матеріалів, які зазвичай використовуються у вітчизняній деревообробній та будівельній промисловості. З точки зору втрати несучої здатності деревини має значення лише глибина обуглювання, оскільки її зменшення буде визначатися зменшенням поперечного перерізу деревини. Було перевірено вплив консервантів для деревини, застосованих для непошкоджених зразків сосни звичайної та ялини звичайної, кондиціонованих у нормальних кліматичних умовах. Тестові зразки пройшли повторну обробку, після чого перевірено дію різних комбінацій консервантів. З наявних на вітчизняному ринку засобів захисту деревини на

основі органічних розчинників і водних засобів було вибрано сім сумішей для обробки. Експерименти з замочуванням показали, що консервуюче просочення ялини звичайної суттєво відрізняється від сосни звичайної, що вплинуло на порівняння результатів тесту. Експериментально досліджено вміст вологи, втрата маси та розраховано глибину обвуглювання. Вплив різних матеріалів для обробки було встановлено при аналізі розміру поверхневих опіків. Зразки сосни звичайної зазнали значно більшого опіку поверхні, ніж зразки ялини звичайної, незалежно від типу використаного консерванта. Більша щільність тіла, вміст смоли (1...10 %) і більша початкова вологість сосни звичайної спричинили її згинання, а отже, й краще горіння. Таким чином, дослідження впливу компонентів, які входять до складу покриттів, на процес теплоізолювання є невирішеною складовою забезпечення вогнестійкості дерев'яних будівельних конструкцій, що і передувало умовам проведення досліджень.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## РОЗДІЛ 2

## МОДУЛЬНІ БУДИНКИ. ПРИЙНЯТТЯ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ

# НУБІП України

## 2.1. Модульні будинки, матеріали та конструкції

У сучасному світі, де технології продовжують удосконалюватися, будівельна індустрія також перебуває на шляху до інновацій. Однією з найпомітніших і найперспективніших тенденцій у цій галузі є модульні будинки. Модульні будинки – це тип житлових конструкцій, які виготовляються на заводах чи виробничих центрах у вигляді окремих модулів чи секцій. Потім ці модулі транспортуються на будівельний майданчик і збираються в один об'єкт (будинок) (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Модульний будинок обшитий дерев'яною фасадною дошкою [16]

За видом, модульні будинки можуть бути [16]:

❖ збірні – це найбільш поширений тип модульних будинків. Будинок складається з окремих модулів, які виготовляються на заводі, а потім збираються на місці будівництва;

❖ контейнерні – у цьому випадку стандартні вантажні контейнери перетворюються на житлові модулі. Вони можуть бути використані як окремі будинки або об'єднані у більші конструкції;

❖ панельні – будинки виготовляються із панелей, які заздалегідь виготовляються на заводі. Ці панелі можуть включати стіни, дахи, підлогу та інші елементи;

❖ модульні будинки на колесах – це будинки, які можна перевозити на причепі;

❖ екологічні модульні будинки – це будинки, що будуються з акцентом на стійкість та екологічну дружність. Вони можуть включати використання альтернативних джерел енергії, перероблених матеріалів та інших екологічних рішень;

❖ багатоповерхові модульні будівлі – на основі модульного будівництва створюються багатоповерхові будинки, включаючи житлові комплекси, студентські гуртожитки та офісні будівлі;

❖ будинки-плавучі – це модульні будинки, здатні плавати. Вони можуть бути використані як будинки для відпочинку на воді, або як постійне житло у водних районах;


❖ солярні – будинки включають інтегровані сонячні панелі для виробництва електроенергії та забезпечення будинку чистою енергією.

Конструкція модульних будинків може відрізнятися залежно від виробника, дизайну та типу будинку, але в загальному вигляді вона включає такі основні аспекти [16]:


❖ модулі: основний будівельний блок модульного будинку. Він може включати стіни, стелі, підлогу, віконні та дверні блоки, системи опалення, вентиляції, кондиціонування повітря, електропроводку та сантехнічні системи.

Модулі виготовляються на заводі і зазвичай мають стандартні розміри, щоб забезпечити зручність транспортування та складання;


❖ фундамент: модульні будинки можуть мати різні типи фундаментів, включаючи кам'яні або бетонні блоки, палі або плити. Фундамент забезпечує


 стійку базу для розміщення модулів та підтримує вагу будинку;  
 з'єднання: можуть бути виконані з використанням болтів, зварювання або інших кріпильних елементів, щоб забезпечити надійність та міцність з'єднань між модулями;


➤ ізоляція та утеплення: використовується у стінах, стелі та підлозі.


 Допомагає знизити споживання енергії на опалення та кондиціювання повітря;  
 електрика та сантехніка: системи зазвичай прокладаються всередині стін та підлог модулів;


➤ оздоблення та облицювання: зовнішнє та внутрішнє оздоблення


 може передбачати облицювальні матеріали, фарбування, настил підлог, установку вікон і дверей;  
 дах: може бути плоский або скатний. Дах виконує функцію захисту від опадів та забезпечує вентиляцію та теплоізоляцію.


До основних переваг модульних будинків можна віднести [16]:


 швидке будівництво, адже модулі виготовляються на заводі, процес складання на місці будівництва займає набагато менше часу, ніж традиційне цегляне або дерев'яне будівництво;


❖ екологічна ефективність: раціональне використання


 екологічно чистих та стійких матеріалів;  
 архітектурна гнучкість: модульні будинки не обмежені традиційними архітектурними обмеженнями. Вони можуть бути розроблені в різноманітних стилях та розмірах, що дозволяє адаптувати їх під різні потреби

клієнтів;


 ефективність у використанні ресурсів: завдяки промислому складання та використанню передових технологій, модульні будинки часто виявляються більш енергоефективними, ніж традиційні будинки.

Під час виготовлення модульних будинків використовується хвойна і


 листяна деревина. Так, з урахуванням подальшого розвитку технологій та зростаючого інтересу до сталого способу життя, модульні будинки є актуальними зараз і у майбутньому будівництві. Не менш важливим є

необхідність проведення робіт з вогнезахисту таких будівельних конструкцій та матеріалів від небезпечних факторів пожежі.

# НУВБІП УКРАЇНИ

## 2.2. Вибір пріоритетної породи деревини для обшиття модульного будинку

за методом аналізу ієрархій

Метод аналізу ієрархій (МАІ) – це метод структурований, використовується для організації та аналізу складних рішень. Цей метод заснований на основі математики та психології. МАІ був розроблений Томасом Л. Сааті в 1970-х роках. Л. Сааті у 1983 році також співпрацював з Ернестом Форманом в плані

розробки методу вибору експертів. МАІ з часу створення широко вивчався та вдосконалювався [17].

Даний метод дозволяє виконати кількісну оцінку ваги кожного критерію прийняття рішень. В МАІ використовується досвід експертів для оцінки

відносного значення фактору при парному порівнянні. Необхідно з допомогою

спеціальної анкети порівняти відносну важливість між двома критеріями. З допомогою МАІ особа, яка несе відповідальність за прийняття рішення, може знайти необхідне рішення, яке найкраще задовольнить всі цілі для вирішення

проблеми. Даний метод структурує проблему прийняття рішення, що дає

можливість здійснити кількісну оцінку елементів проблеми, для їх зв'язку із цілями, та оцінити альтернативи.

Механізм застосування МАІ складається із наступних основних етапів [17]:

- ❖ моделювання проблеми як ієрархію, яка включає мету прийняття рішення, альтернативи для досягнення мети та критерії за якими оцінюються альтернативи;

- ❖ встановлення пріоритетів серед критеріїв альтернатив ієрархії з допомогою їх попарного порівняння. Наприклад, порівнюючи потенційне використання обладнання, технолог, віддає перевагу технічним даним верстата перед його розмірами;

- ❖ об'єднати результати порівняння для отримання набору загальних пріоритетів для ієрархії. Наприклад поєднати міркування технолога про технічні

характеристики, розмір, ціну та виробника для верстату А, В, С та D у загальних пріоритетах для кожного верстату;

❖ перевірити узгодженість міркувань з допомогою математичних розрахунків;

❖ прийняти остаточне рішення за результатами всього процесу аналізу.

Для прийняття рішення з допомогою МАІ використовується шкала Сааті [17], яка представлена у вигляді табл. 2.1.

Таблиця 2.1

### Шкала Сааті

Ступінь переваги	Визначення	Коментарі
1	Рівна перевага	Дві альтернативи однаково кращі з точки зору мети
2	Слабка ступінь переваги	Проміжна градація між рівною і середньою перевагою
3	Середня ступінь переваги	Досвід експерта дозволяє вважати одну з альтернатив трохи краще іншої
4	Перевага вище середнього	Перевага вище середнього
5	Помірно сильна перевага	Досвід експерта дозволяє вважати одну з альтернатив явно краще іншої
6	Сильна перевага	Проміжна градація між помірно сильною і дуже сильною перевагою
7	Дуже сильна (очевидна) перевага	Досвід експерта дозволяє вважати одну з альтернатив набагато кращою іншої; домінування альтернативи Підтверджено практикою
8	Дуже, дуже сильна перевага	Проміжна градація між дуже сильною і абсолютною перевагою
9	Абсолютна перевага	Очевидність переваги однієї альтернативи над іншою має незаперечну підтвердженість

#### 2.2.1. Мета розрахунків, критерії та альтернативи

*Мета* – вибір пріоритетної породи деревини для виготовлення фасадної дошки, яка призначена для обшиття модульних будників.

*Критерії*: міцність на статичний згин, твердість, щільність, стабільність, ціна.

Альтернативи: дуб, ясен, сосна, бук, граб.

Для оптимізації записів позначено критерії та альтернативи скороченими назвами (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Скорочені назви критеріїв та альтернатив

Критерій	Скорочена назва	Альтернатива	Скорочена назва
Міцність на статичний згин	Kp1	Дуб	Ад
Твердість	Kp2	Ясен	Ая
Щільність	Kp3	Сосна	Ас
Стабільність	Kp4	Бук	Аб
Ціна	Kp5	Граб	Аг

Наступний крок це формування матриць парних порівнянь (МПП) з допомогою шкали Сааті [17].

Заповнення МПП критеріїв відносно мети. Виходячи з досвіду на основі шкали Сааті був проведений аналіз ступеня пріоритетності та значимості вибраних критеріїв.

На нашу думку першим і основним критерієм є вартість, оскільки для успішного завоювання ринку є адекватна ринкова ціна, яка досягається оптимізацією витрат. Основну частку собівартості товару складають затрати на сировину. Фізико-механічні характеристики можна покращити додатковими видами обробки, вартість яких буде менша за різницю ціни між вибраними альтернативами. У деяких випадках різниця у вартості альтернатив становить більше ніж у 3 рази.

Наступним, другим за значимістю, є стабільність деревини на вплив мікроклімату, оскільки фасадна дошка використовується для зовнішніх робіт. Продукція на ринок має виходити якісна. Для зменшення витрат на захист деревини від впливу навколишнього середовища необхідно обрати породу

деревини з оптимальною стійкістю до впливу мікроклімату. Запропоновані альтернативи мають досить різні показники стабільності.

Третім критерієм на мою думку є щільність. Показник щільності визначає здатність деревини тримати металеві кріплення. Фасадна дошка кріпиться на стіні модульного будинку різними способами, в тому числі за допомогою шурупів та цвяхів. Під час монтажу фасадної дошки не повинно виникати проблем як і в подальшій її експлуатації. При цьому із запропонованих альтернатив мають різний показник щільності від високої до низької групи.

Четвертим за значенням критерій є твердість. Це рішення було прийнято на основі того, що фасадна дошка використовується для обшиття стін. Отже, ризик високого навантаження під час якого можливе руйнування поверхні дошки (вмятини, подряпини і т.д.) низький. Кожен запропонований матеріал має показник твердості природній або після спеціальній обробці (наприклад деревину породи сосна для збільшення твердості можна піддати термообробці), який здатен витримати навантаження, що може спричинити руйнування поверхні фасадної дошки.

Найменш значимий критерій мною був визначений міцність на статичний згин, оскільки як і в попередньому критерії вже згадувалося, фасадна дошка кріпиться на стіну і достійного навантаження на згин не має. Всі деревні породи, які запропоновані, мають природній показник міцності достатній для того щоб витримати можливі навантаження на фасадну дошку.

Отже, за результатами аналізу був розставлений наступний рівень пріоритетів: 1 – ціна (Кр5), 2 – стабільність (Кр4), 3 – щільність (Кр3), 4 – твердість (Кр2), 5 – міцність на згин (Кр1).

В табл. 2.3 внесені оцінки кожного критерію відносно один одного на основі шкали Сааті. Згідно шкали Сааті для кожного критерію була вибрана оцінка, яка згідно вищевказаного розставленого пріоритету, відповідає тому чи іншому критерію відносно іншого. Так, наприклад ціна відносно міцності на згин має дуже сильну перевагу, тому критерію «Ціна» вибрана оцінка 8 відносно критерію

«Міцність на згин», а от у критерія «Міцність на згин» відносно «Ціна» оцінка дзеркальна, тобто 1/8 (табл. 2.3).

Таблиця 2.3

## МПП критеріїв відносно мети

	Кр1	Кр2	Кр3	Кр4	Кр5	G	ЛПр
Кр1	1	1/2	1/4	1/6	1/8	0,304	0,043
Кр2	2	1	1/2	1/4	1/6	0,530	0,074
Кр3	4	2	1	1/2	1/4	1	0,140
Кр4	6	4	2	1	1/3	1,741	0,244
Кр5	8	6	4	3	1	3,565	0,499
Сума	21	13,5	7,75	4,917	1,875	7,14	1

G – середнє геометричне, вираховується за наступною формулою [17]:

$$G_i(a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{is}) = (a_{i1} * a_{i2} * \dots * a_{is})^{\frac{1}{s}}, \quad (2.1)$$

де:  $i$  – номер рядка матриці;

$s$  – кількість елементів в  $i$ -му рядку матриці.

$$a_{i1} = w_1/w_1; a_{i2} = w_1/w_2; \dots a_{is} = w_1/w_s, \quad (2.2)$$

ЛПр – локальний пріоритет, визначається за формулою [17]:

$$ЛПр_n = \frac{[(w_n/w_1) * (w_n/w_2) * \dots * (w_n/w_n)]^{\frac{1}{n}}}{(G_1 + G_2 + \dots + G_n)}, \quad (2.3)$$

Проведені розрахунки згідно вище вказаних формул занесено в табл. 2.3.

$$G_1 = \left(1 * \frac{1}{2} * \frac{1}{4} * \frac{1}{6} * \frac{1}{8}\right)^{\frac{1}{5}} = 0,304; \quad ЛПр_1 = \frac{0,304}{7,14} = 0,043$$

$$G_2 = \left(2 * 1 * \frac{1}{2} * \frac{1}{4} * \frac{1}{6}\right)^{\frac{1}{5}} = 0,530; \quad ЛПр_2 = \frac{0,530}{7,14} = 0,074$$

$$G_3 = \left(4 * 2 * 1 * \frac{1}{2} * \frac{1}{4}\right)^{\frac{1}{5}} = 1; \quad ЛПр_3 = \frac{1}{7,14} = 0,140$$

$$G_4 = \left(6 * 4 * 2 * 1 * \frac{1}{3}\right)^{\frac{1}{5}} = 1,741; \quad ЛПр_4 = \frac{1,741}{7,14} = 0,244$$

$$G_5 = \left(8 * 6 * 4 * 3 * 1\right)^{\frac{1}{5}} = 3,565; \quad ЛПр_5 = \frac{3,565}{7,14} = 0,499$$

Наступним кроком є розрахунок максимального власного числа МПП –

Lam.

$$\begin{aligned} \text{Lam} &= 21 \times 0,043 + 13,5 \times 0,074 + 7,75 \times 0,140 + 4,917 \times 0,244 + 1,875 \times 0,499 \\ &= 0,903 + 0,999 + 1,085 + 1,199 + 0,936 = 5,122 \end{aligned}$$

Далі необхідно визначити індекс узгодженості МПП (CI) за наступною формулою [17].

$$CI = \frac{\text{Lam} - n}{n - 1}, \quad (2.4)$$

де n – кількість критеріїв.

$$CI = \frac{5,122 - 5}{5 - 1} = 0,031$$

Індекс узгодженості МПП використовується для вираховування останнього показника CR – відношення узгодженості МПП, який вказує на узгодженість судження про об'єкт.

Для цього використовується формула [17]:

$$CR = \frac{CI}{P_n} \quad (2.5)$$

Показник  $P_n$  визначається на основі кількості критеріїв у МПП згідно даних табл. 2.4

Таблиця 2.4

Значення індексу узгодженості [17]

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_n$	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

$$CR = \frac{0,031}{1,12} = 0,028$$

Допустимий показник CR не повинен перевищувати 0,1 – 0,2 [17].

За розрахунками CR становить 0,028. Отже, оцінка сформована коректно.

Заповнення МПІ альтернатив по відношенню до критеріїв. Формування МПІ та розрахунок показників альтернатив по відношенню до критеріїв проводиться аналогічно МПІ критеріїв відносно мети.

МПІ альтернатив по відношенню до критерію «Міцність на статичний згин» (Кр1)

Згідно показників міцності на статичний згин в розрізі деревних порід була сформована оцінка. Результати оцінки внесені в табл. 2.5

Таблиця 2.5

### МПІ альтернатив по відношенню до критерію 1

	Ад	Ая	Ас	Аб	Аг	G	ЛПр
Ад	1	1/2	2	1	1/2	0,871	0,157
Ая	2	1	3	2	1/2	1,430	0,258
Ас	1/2	1/3	1	1/2	1/3	0,488	0,088
Аб	1	1/2	2	1	1/2	0,871	0,157
Аг	2	2	3	2	1	1,888	0,340
Сума	6,5	4,333	11	6,5	2,833	5,548	

$$G_d = \left(1 * \frac{1}{2} * 2 * 1 * \frac{1}{2}\right)^{\frac{1}{5}} = 0,871; \text{ЛПр}_d = \frac{0,871}{5,548} = 0,157$$

$$G_a = \left(2 * 1 * 3 * 2 * \frac{1}{2}\right)^{\frac{1}{5}} = 1,430; \text{ЛПр}_a = \frac{1,430}{5,548} = 0,258$$

$$G_c = \left(\frac{1}{2} * \frac{1}{3} * 1 * \frac{1}{2} * \frac{1}{3}\right)^{\frac{1}{5}} = 0,488; \text{ЛПр}_c = \frac{0,488}{5,548} = 0,088$$

$$G_b = \left(1 * \frac{1}{2} * 2 * 1 * \frac{1}{2}\right)^{\frac{1}{5}} = 0,871; \text{ЛПр}_b = \frac{0,871}{5,548} = 0,157$$

$$G_g = \left(2 * 2 * 3 * 2 * 1\right)^{\frac{1}{5}} = 1,888; \text{ЛПр}_g = \frac{1,888}{5,548} = 0,340$$

$$\text{Лам}_{\text{Кр1}} = 6,5 \times 0,157 + 4,333 \times 0,258 + 11 \times 0,088 + 6,5 \times 0,157 + 2,833 \times 0,340 \\ = 1,021 + 1,118 + 0,968 + 1,021 + 0,963 = 5,091;$$

$$CI_{\text{Кр1}} = \frac{5,091 - 5}{5 - 1} = 0,023;$$

$$CR_{\text{Кр1}} = \frac{0,023}{1,12} = 0,02 < 0,1 - 0,2.$$

МПП альтернатив по відношенню до критерію «Твердість» (Кр2). Згідно показників твердості в розрізі деревини була сформована оцінка. Результати оцінки внесені в табл. 2.6.

Таблиця 2.6

**МПП альтернатив по відношенню до критерію 2**

	Ад	Ая	Ас	Аб	Аг	G	ЛПр
Ад	1	1	6	1	1	1,431	0,240
Ая	1	1	6	1	1	1,431	0,240
Ас	1/6	1/6	1	1/6	1/6	0,238	0,04
Аб	1	1	6	1	1	1,431	0,240
Аг	1	1	6	1	1	1,431	0,240
Сума	4,167	4,167	25	4,167	4,167	5,962	1

$$G_o = (1 * 1 * 6 * 1 * 1)^{\frac{1}{5}} = 1,431; \text{ЛПр}_o = \frac{1,431}{5,962} = 0,240$$

$$G_{\text{я}} = (1 * 1 * 6 * 1 * 1)^{\frac{1}{5}} = 1,431; \text{ЛПр}_{\text{я}} = \frac{1,431}{5,962} = 0,240$$

$$G_c = \left(\frac{1}{6} * \frac{1}{6} * 1 * \frac{1}{6} * \frac{1}{6}\right)^{\frac{1}{5}} = 0,238; \text{ЛПр}_c = \frac{0,238}{5,962} = 0,04$$

$$G_b = (1 * 1 * 6 * 1 * 1)^{\frac{1}{5}} = 1,431; \text{ЛПр}_b = \frac{1,431}{5,962} = 0,240$$

$$G_g = (1 * 1 * 6 * 1 * 1)^{\frac{1}{5}} = 1,431; \text{ЛПр}_g = \frac{1,431}{5,962} = 0,240$$

$$\text{Lam}_{\text{кр}2} = 4,167 * 0,240 + 4,167 * 0,240 + 25 * 0,04 + 4,167 * 0,240 + 4,167 * 0,240 = 1 + 1 + 1 + 1 + 1 = 5;$$

$$CI_{\text{кр}2} = \frac{5 - 5}{5 - 1} = 0;$$

$$CR_{\text{кр}2} = \frac{0}{1,12} = 0 < 0,1 - 0,2.$$

МПП альтернатив по відношенню до критерія «Щільність» (Кр3). Згідно показників щільності в розрізі деревини була сформована оцінка. Результати оцінки внесені в табл. 2.7.

Таблиця 2.7

**МПП альтернатив по відношенню до критерія 3**

	Ад	Ая	Ас	Аб	Аг	G	ЛПр
Ад	1	1	3	1	1/3	1	0,166
Ая	1	1	3	1	1/3	1	0,166
Ас	1/3	1/3	1	1/3	1/5	0,375	0,062
Аб	1	1	3	1	1/3	1	0,166
Аг	3	3	5	3	1	2,667	0,440
Сума	6,333	6,333	15	6,333	2,2	6,042	1

$$G_d = (1 * 1 * 3 * 1 * \frac{1}{3})^{\frac{1}{5}} = 1; \text{ЛПр}_d = \frac{1}{6,042} = 0,166$$

$$G_y = (1 * 1 * 3 * 1 * \frac{1}{3})^{\frac{1}{5}} = 1; \text{ЛПр}_y = \frac{1}{6,042} = 0,166$$

$$G_c = (\frac{1}{3} * \frac{1}{3} * 1 * \frac{1}{3} * \frac{1}{5})^{\frac{1}{5}} = 0,375; \text{ЛПр}_c = \frac{0,375}{6,042} = 0,062$$

$$G_b = (1 * 1 * 3 * 1 * \frac{1}{3})^{\frac{1}{5}} = 1; \text{ЛПр}_b = \frac{1}{6,042} = 0,166$$

$$G_g = (3 * 3 * 5 * 3 * 1)^{\frac{1}{5}} = 2,667; \text{ЛПр}_g = \frac{2,667}{6,042} = 0,440$$

$$\text{Лам}_{\text{Кр3}} = 6,333 * 0,166 + 6,333 * 0,166 + 15 * 0,062 + 6,333 * 0,166 + 2,2 * 0,440 = 1,051 + 1,051 + 0,93 + 1,051 + 0,968 = 5,051;$$

$$CI_{\text{Кр3}} = \frac{5,051 - 5}{5 - 1} = 0,013;$$

$$CR_{\text{Кр3}} = \frac{0,013}{1,12} = 0,012 < 0,1 = 0,2.$$

МПЦ альтернатив по відношенню до критерію «Стабільність» (Кр4).

Згідно показників стабільності в розрізі деревини була сформована оцінка.

Результати оцінки внесені в табл. 2.8.

Таблиця 2.8

МПЦ альтернатив по відношенню до критерію 4

	Ад	Ая	Ас	Аб	Аг	G	ЛПр
Ад	1	5	7	7	3	3,743	0,497
Ая	1/5	1	4	4	1/3	1,013	0,135
Ас	1/7	1/4	1	1	1/6	0,359	0,048
Аб	1/7	1/4	1	1	1/6	0,359	0,048
Аг	1/3	3	6	6	1	2,048	0,272
Сума	1,819	9,5	19	19	4,667	7,522	1

$$G_d = (1 * 5 * 7 * 7 * 3)^{\frac{1}{5}} = 3,743; \quad ЛПр_d = \frac{3,743}{7,522} = 0,497$$

$$G_a = \left(\frac{1}{5} * 1 * 4 * 4 * \frac{1}{3}\right)^{\frac{1}{5}} = 1,013; \quad ЛПр_a = \frac{1,013}{7,522} = 0,135$$

$$G_c = \left(\frac{1}{7} * \frac{1}{4} * 1 * 1 * \frac{1}{6}\right)^{\frac{1}{5}} = 0,359; \quad ЛПр_c = \frac{0,359}{7,522} = 0,048$$

$$G_b = \left(\frac{1}{7} * \frac{1}{4} * 1 * 1 * \frac{1}{6}\right)^{\frac{1}{5}} = 0,359; \quad ЛПр_b = \frac{0,359}{7,522} = 0,048$$

$$G_g = \left(\frac{1}{3} * 3 * 6 * 6 * 1\right)^{\frac{1}{5}} = 2,048; \quad ЛПр_g = \frac{2,048}{7,522} = 0,272$$

$$Lam_{кр4} = 1,819 * 0,497 + 9,5 * 0,135 + 19 * 0,048 + 19 * 0,048 + 4,667 * 0,272$$

$$= 0,904 + 1,282 + 0,912 + 0,912 + 1,269 = 5,279;$$

$$CI_{кр4} = \frac{5,279 - 5}{5 - 1} = 0,069;$$

$$CR_{кр4} = \frac{0,069}{1,12} = 0,063 < 0,1 < 0,2.$$

МПП альтернатив по відношенню до критерію «Ціна» (Кр5). Згідно ціни в розрізі деревини була сформована оцінка. Результати оцінки внесені в табл. 2.9.

Таблиця 2.9

## МПП альтернатив по відношенню до критерію 5

	Ад	Ая	Ас	Аб	Аг	G	ЛПр
Ад	1	1/4	1/8	1/7	1/6	0,237	0,033
Ая	4	1	1/6	1/5	1/4	0,506	0,07
Ас	8	6	1	2	3	3,104	0,431
Аб	7	5	1/2	1	2	2,036	0,283
Аг	6	4	1/3	1/2	1	1,319	0,183
Сума	26	16,25	2,125	3,843	6,417	7,202	1

$$G_d = \left(1 * \frac{1}{4} * \frac{1}{8} * \frac{1}{7} * \frac{1}{6}\right)^{\frac{1}{5}} = 0,237; \text{ЛПр}_d = \frac{0,237}{7,202} = 0,033$$

$$G_a = \left(4 * 1 * \frac{1}{6} * \frac{1}{5} * \frac{1}{4}\right)^{\frac{1}{5}} = 0,506; \text{ЛПр}_a = \frac{0,506}{7,202} = 0,07$$

$$G_c = \left(8 * 6 * 1 * 2 * 3\right)^{\frac{1}{5}} = 3,104; \text{ЛПр}_c = \frac{3,104}{7,202} = 0,431$$

$$G_b = \left(7 * 5 * \frac{1}{2} * 1 * 2\right)^{\frac{1}{5}} = 2,036; \text{ЛПр}_b = \frac{2,036}{7,202} = 0,283$$

$$G_g = \left(6 * 4 * \frac{1}{3} * \frac{1}{2} * 1\right)^{\frac{1}{5}} = 1,319; \text{ЛПр}_g = \frac{1,319}{7,202} = 0,183$$

$$\text{Lam}_{\text{Кр5}} = 26 \times 0,033 + 16,25 \times 0,07 + 2,125 \times 0,431 + 3,843 \times 0,283 + 6,417 \times 0,183 = 0,858 + 1,138 + 0,916 + 1,088 + 1,125 = 5,125;$$

$$\text{CI}_{\text{Кр5}} = \frac{5,125 - 5}{5 - 1} = 0,031;$$

$$\text{CR}_{\text{Кр5}} = 0,031 / 1,12 = 0,028 < 0,1 - 0,2.$$

**Визначення глобального пріоритету.** Для визначення глобального пріоритету необхідно заповнити матрицю пріоритетів критеріїв відносно мети та альтернатив відносно кожного критерію. В матрицю вносяться дані локального

пріоритету (ЛПр) розраховані за кожним критерії відносно мети та відносно альтернатив.

Вищезазначені розрахунки ЛПр внесені в табл. 2.10. Наступний крок розрахунок глобального пріоритету (ГлПр) в розрізі кожної альтернативи за допомогою підсумування добутків кожного значення рядка альтернатив на значення стовпця критеріїв [17].

$$\text{ГлПр Ад} = 0,157 \times 0,043 + 0,240 \times 0,074 + 0,166 \times 0,140 + 0,497 \times 0,244 + 0,033 \times 0,499 = 0,185$$

$$\text{ГлПр Ая} = 0,258 \times 0,043 + 0,240 \times 0,074 + 0,166 \times 0,140 + 0,135 \times 0,244 + 0,07 \times 0,499 = 0,120$$

$$\text{ГлПр Ас} = 0,088 \times 0,043 + 0,04 \times 0,074 + 0,062 \times 0,140 + 0,048 \times 0,244 + 0,431 \times 0,499 = 0,242$$

$$\text{ГлПр Аб} = 0,157 \times 0,043 + 0,240 \times 0,074 + 0,166 \times 0,140 + 0,048 \times 0,244 + 0,283 \times 0,499 = 0,2$$

$$\text{ГлПр Аг} = 0,340 \times 0,043 + 0,240 \times 0,074 + 0,440 \times 0,140 + 0,272 \times 0,244 + 0,183 \times 0,499 = 0,252$$

Результати розрахунків внесені в табл. 2.10.

Таблица 2.10

Глобальні пріоритеті альтернатив

Критерії	Кр1 (Міцність)	Кр2 (Твердість)	Кр3 (Щільність)	Кр4 (Стабільність)	Кр5 (Ціна)	
Альтернатив	Числове значення вектора пріоритету					ГлПр
и	0,043	0,074	0,140	0,244	0,499	
<b>Ад (дуб)</b>	0,157	0,240	0,166	0,497	0,033	0,185
<b>Ая (ясен)</b>	0,258	0,240	0,166	0,135	0,07	0,120
<b>Ас (сосна)</b>	0,088	0,04	0,062	0,048	0,431	0,242
<b>Аб (бук)</b>	0,157	0,240	0,166	0,048	0,283	0,195
<b>Аг (граб)</b>	0,340	0,240	0,440	0,272	0,183	0,252

Прийняття проектного рішення та розробка проекту виробу. На основі проведених розрахунків за допомогою методу аналізу ієрархії, була отримана

інформація, що із запропонованих альтернатив пріоритетною є деревина граба звичайного. Деревина граба за прийнятими до аналізу критеріями отримала найвище значення глобального пріоритету – 0,252 із усіх інших альтернатив.

Найближчою до граба за показником глобального пріоритету була деревина породи сосна – 0,242. Високий показник породи сосна отриманий, оскільки ця альтернатива має низькою вартість. Деревина дуба, також має високі показники локальних пріоритетів, але високий показник критерію «Ціна» значно знизила глобальний показник пріоритету до 0,185, що навіть нижче ніж у бука (0,195).

За показниками розрахунку деревина граба є пріоритетним варіантом для досягнення поставленої мети. Деревина граба має переваги у твердості, міцності та високій щільності та відносно низькій вартості, але також має свої недоліки, які необхідно врахувати при її переробці у готову продукцію. До недоліків відносяться швидке псування зовнішнього вигляду під час зберігання, сильне всихання та жолоблення під час сушіння, висока схильність до поглинання вологи. Для захисту від вище вказаних недоліків необхідно буде обрати певний вид обробки деревини.

Отже, було прийнято рішення про виготовлення фасадної дошки з деревини породи граб, розмір та профіль, якої наведені у вигляді креслення виробу (рис. 2.2).

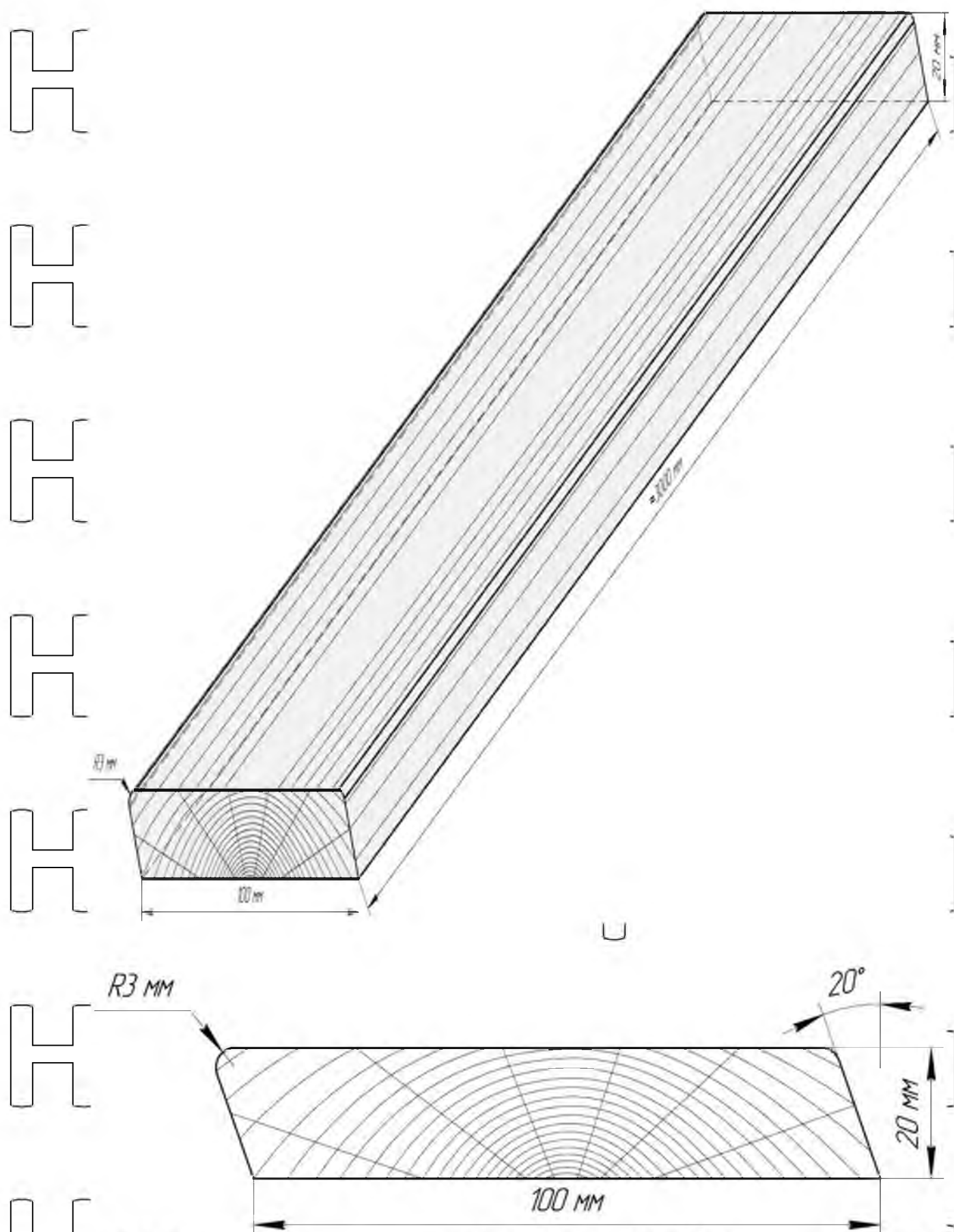


Рис. 2.2. Креслення фасадної дошки для обшиття модульним будинків

### 2.3. Технологічний процес формування атмосферостійкого вогнезахисного покриття зовнішніх поверхонь

Для забезпечення вогнезахисту дерев'яних конструкцій, в тому числі фасадів модульних будинків із деревини використовуються конструктивні та хімічні способи захисту. Так, зазначені методи мають певні особливості, але всі вони спрямовані на зниження пожежної небезпеки пиломатеріалів. Конструктивні способи являють собою збільшення перерізу конструкцій та використання при будівництві вогнезахисних матеріалів обробки. Однак, хоча вони є дуже ефективними, такі способи вогнезахисту використовуються не часто через трудомісткість і високу ціну. Хімічні способи мають на увазі використання спеціальних хімічних засобів для обробки поверхні деревини, які мають високий ступінь опірності до високих температур і дії вогню. Всі засоби (антипірени), що застосовуються для вогнезахисту деревини, умовно поділяються на дві групи:

- ❖ вогнезахисні покриття (обмазки, пасти, емалі, лаки та інші лкм). Вони створюють на поверхні матеріалу тепловідбивний тонкий шар, який під впливом високих температур спучується і утворює з негорючої твердої піни теплозахисний екран, уповільнюючи обуглювання і перешкоджаючи подальшому резивсюдженню полум'я по поверхні. Такі засоби дещо погіршують декоративні властивості деревини, тому не часто використовуються.
- ❖ Вогнезахисне просочення (просочувальні суміші). Дані засоби є розчинами солей борної або фосфорної кислоти, найчастіше, водорозчинні. Під впливом таких сумішей у місцях контакту з вогнем за рахунок виділення солями газів відбувається обуглювання, а не займання деревини, що дозволяє продовжити період опірності конструкції спалаху. Ці засоби популярніші, оскільки вони зберігають текстуру та запах деревини.

*Процес нанесення вогнезахисного покриття.* Будь-який вогнезахисний склад необхідно наносити на вже готові дерев'яні конструкції, вологість яких складає на момент обробки не більше 15% і які в майбутньому не піддаватимуться механічній обробці.

Перед нанесенням вогнезахисного засобу необхідно очистити поверхню від бруду та пилу. Якщо конструкція була раніше оброблена фарбою, воском, емаллю та іншими складами, слід видалити їх шар, а також ретельно очистити поверхню від бітумних або масляних плям.

Обробка поверхні вогнезахисним препаратом повинна проводитись за плюсової температури повітря та його відносної вологості не більше 70 %, а також з дотриманням інших умов, описаних в інструкції до обраного складу.

Наносити засіб необхідно за допомогою валика, пензля або інших спеціальних інструментів, залежно від типу засобу (рис. 2.3).

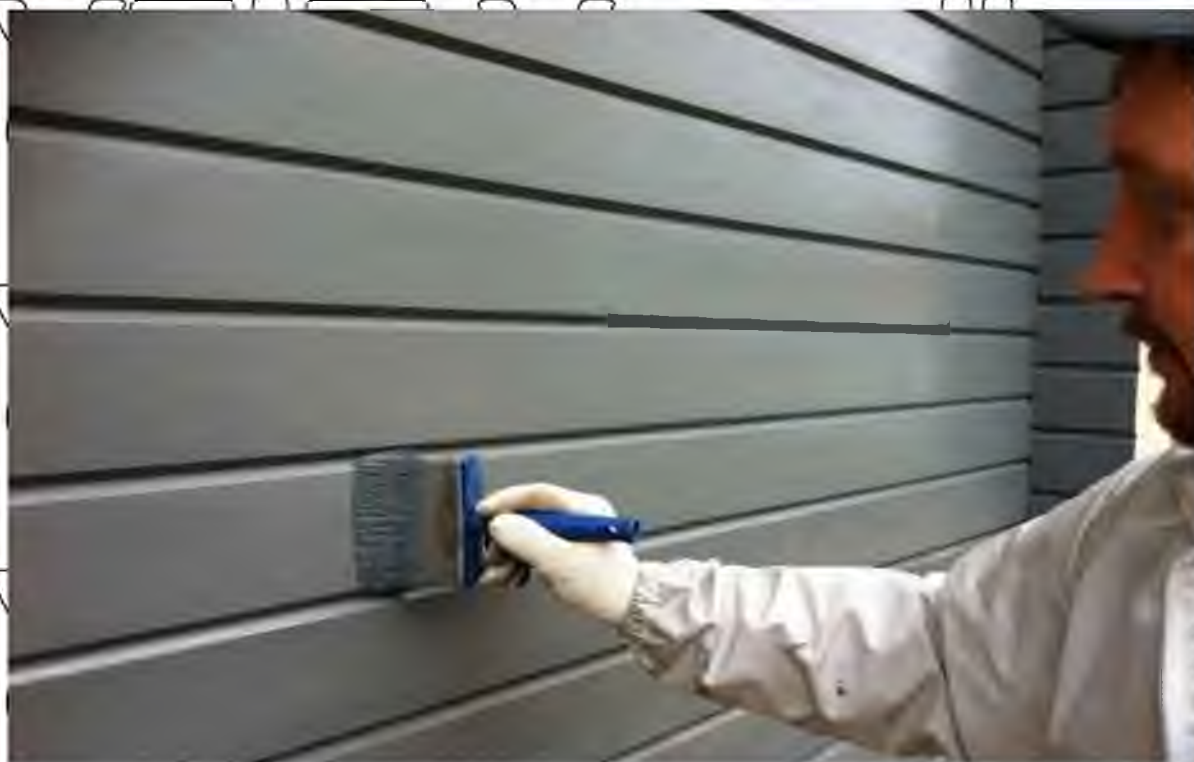


Рис. 2.3. Процес нанесення захисного покриття на фасадну дошку модульного будинку

Окрім цього, потрібно наносити розчин рівномірним шаром, без прогалин, але і без і напливів, особливо ретельно обробляючи всі місця з'єднання елементів і дотримуючись норми витрати препарату, яка повинна бути вказана в інструкції до нього.

## РОЗДІЛ 3

## МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

## НУВБІП України

Вогнезахист деревини та виробів, що використовуються у дерев'яному домобудуванні з грудня 2018 р. в Україні є обов'язковим «Правила з вогнезахисту» [18]. Нормативний документ встановлює основні вимоги до проведення робіт з вогнезахисту матеріалів, виробів, будівельних конструкцій та перевірки відповідності вогнезахисту; забезпечення експлуатаційної придатності вогнезахисних покриттів та виробів. Так, на сьогодні вогнезахист конструкцій, виробів з деревини здійснюється різними способами – вогнезахисним просоченням, фарбами, лаками, обмазками, штукатурками, плівковими покриттями. Зазначені способи, відповідно до їх експлуатаційних властивостей, мають різні області застосування. Сучасні методи вогнезахисту дерев'яних будівельних конструкцій зазвичай базуються на використанні покриттів, що сплунуються [19]. Тому, обґрунтування доцільності застосування атмосферостійкого вогнезахисного покриття для зовнішніх поверхонь модульних будинків є актуальним.

## НУВБІП України

## НУВБІП України

## 3.1. Методика проведення експериментальних досліджень вогнезахисної ефективності покриттів для дерев'яних конструкцій

## НУВБІП України

Вогнезахисну ефективність вогнезахисних покриттів визначали згідно з методикою, наведеною в ГОСТ 16363-98 «Засоби вогнезахисні для деревини. Методи визначення вогнезахисних властивостей» [20] та нормативних документів [18, 21, 22]. Так, для дослідження вогнезахисної ефективності (горючості деревини) використовували прямокутні соснові та дубові зразки розмірами – 150 x 60 x 30 мм двох груп: зразки необроблені та оброблені захисними покриттями відповідно до технологічного регламенту на вогнезахисні речовини (рис. 3.1).

## НУВБІП України



Рис. 3.1. Зразки деревини для випробувань: а, б – не оброблені; в – оброблені атмосферостійким вогнезахисним засобом

Оскільки зразки деревини характеризуються відповідними реологічними властивостями і поглинанням, то оброблена деревина має різні значення витрати покриття. Так, оброблення деревини проводили покриттями: Діпор БС-13; ФАЕРВОЛ-ВУД; DEFENS WD-1; IRCOM PROTECTOR IP-014. Усередненні показники нанесення вогнезахисного покриття на експериментальні зразки наведено у табл. 3.1–3.2.

Таблиця 3.1

#### Порівняльна характеристика маси зразків до і після обробки (сосна)

Назва антипірену	Маса зразка, г		Набір маси зразка, г	Набір маси зразка, %
	до обробки	після обробки		
Необроблений зразок	153,38	153,38	-	-
Діпор БС-13	151,42	170,09	18,67	10,98
ФАЕРВОЛ-ВУД	142,36	159,76	17,40	10,89
DEFENS WD-1	155,07	175,31	20,24	11,55

IRCOM PIRODOCTOR IP-014	157,11	174,18	17,07	9,80
-------------------------	--------	--------	-------	------

Таблиця 3.2

## Порівняльна характеристика маси зразків до і після обробки (дуб)

Назва антипірену	Маса зразка, г		Набір маси зразка, г	Набір маси зразка, %
	до обробки	після обробки		
Необроблений зразок	186,33	186,33	-	-
Дінор БС-13	183,62	201,78	18,16	8,99
ФАЄРВОЛ-ВУД	185,89	204,54	18,65	9,12
DEFENS WD-1	182,27	200,21	17,94	8,96
IRCOM PIRODOCTOR IP-014	188,41	206,05	17,64	8,56

Вищезазначений вибір атмосферостійких, вогнезахисних покриттів пов'язаний з тим, що на сьогоднішній час на ринку представлені різні типи засобів для деревини. Так, зокрема, просочувальні антипірени для деревини («Дінор БС-13») характеризуються низькою вартістю, а механізм їхньої дії пов'язаний з розкладом антипіренів під термічною дією, що супроводжується поглинанням тепла і виділенням негорючих газів та утворенням важкогорючого вугленого залишку на поверхні деревини. Такі речовини захищають деревину протягом незначного періоду часу (~600 с). Окрім цього, з'являються нові покриття, що являють собою суміш каталізаторів та вуглеводнів, утворювачів газу та в'язучих речовин, які здатні при термічній дії утворювати пінококсовий спучений шар, що і запобігає проникненню високої температури до деревини. Дослідження з визначення термічної стійкості вогнезахисненої деревини проводили за методикою [5], суть якої полягала у термічній дії на зразок вогнезахисненої деревини радіаційної панелі, його запалювання, вимірюванні температури летких речовин горіння та часу її настигання, часу їх займання та проходження полум'я по ділянкам поверхні, вимірюванні довжини згорівшої

частини зразка. І за отриманими випробуваннями розраховується безрозмірний  
індекс горючості за коефіцієнтом  $\gamma$ :

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

$$\eta = \frac{q \cdot Q}{W} \cdot \frac{\Delta T_{\max}}{\Delta T_{\text{но}}} \cdot \frac{\tau_{\max}}{\tau_0} \cdot \left[ 1 + \frac{60 \cdot I_2}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\tau_i}} \right] \quad (3.1)$$

де:  $q$  – питома теплота згорання газу, пропан (23630), кДж·л<sup>-1</sup>;

$Q$  – витрата газу пальником (0,001) л·с<sup>-1</sup>;

$W$  – потужність електричної радіаційної панелі, 0,5 кВт;

$\Delta T_{\max}$  – максимальний приріст температури летких продуктів згорання;

$$\Delta T_{\max} = T_{\max} - T_0 \quad (3.2)$$

де:  $T_0$  – температура навколишнього середовища, °С;

$T_{\max}$  – максимальна температура летких продуктів горіння, °С;

$\Delta T_{\text{но}}$  – максимальний приріст температури нагрівального обладнання;

$$\Delta T_{\text{но}} = T_1 - T_0 \quad (3.3)$$

де:  $T_1$  – температура вихідного повітря при роботі нагрівального обладнання, °С;

$\tau_0$  – час займання зразка, с;

$\tau_{\max}$  – час досягнення максимальної температури димових газів, с;

$\tau_i$  – час проходження полум'я фронтом контрольних ділянок, с;

$l$  – довжина зразка, мм;

$I_2$  – довжина пошкодження зразка, мм;

Експериментальні досліджень по визначенню параметрів займання та поширення полум'я проводили у випробувальній камері об'ємом 0,125 м<sup>3</sup> (рис. 3/2).

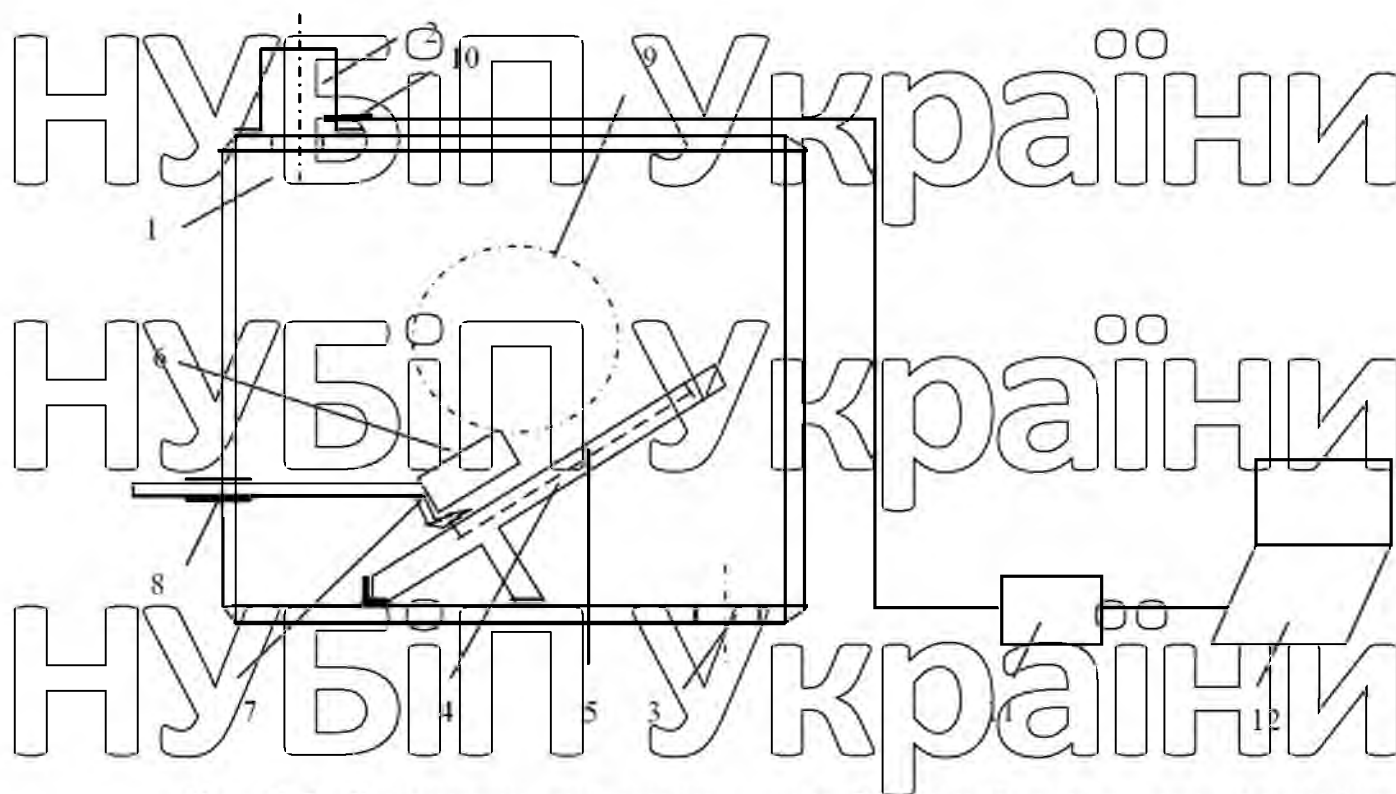


Рис. 3.2. Схематичне зображення випробувальної камери для визначення параметрів займання та поширення полум'я: 1 – випробувальна камера; 2 – витяжна труба; 3 – вентиляційний отвір; 4 – тримач зразка; 5 – зразок; 6 – радіаційна панель; 7 – запалювальний пристрій; 8 – регульовальна труба; 9 – оглядове скло; 10 – термопара; 11 – аналого-цифровий перетворювач; 12 – комп'ютер [3]

Принцип роботи випробувальної камери є наступний: перед проведенням випробувань необхідно запалити паливник 7 і відрегулювати висоту полум'я.

Включити електричну радіаційну панель 6 та прилад для реєстрації температури і визначити початкову температуру димових газів термопарою 10. Підготовлений до випробувань зразок матеріалу 5 встановлюють в тримач 4, та підводять до радіаційної панелі 6. У процесі випробування визначають час запалювання (час від початку випробування до початку проходження полум'ям нульової позначки), час проходження полум'ям  $i$ -ої ділянки по поверхні зразка, відстань, на яку поширилося полум'я, максимальну температуру летких продуктів горіння та час її досягнення. Випробування триває до припинення

горіння полум'я на поверхні зразка або при досягненні часу горіння у 600 с, у разі відсутності займання зразка.

### 3.2. Аналіз результатів експериментальних досліджень

Для встановлення вогнестійкості деревини використовували запальний палик. На рис. 3.3 наведено загальний процес проведення випробувань із займання необробленого та обробленого зразків деревини.



Рис. 3.3. Процес проведення випробування із займання та горіння експериментальних зразків: а – не оброблений; б – оброблений

В процесі експериментальних досліджень встановлено, що необроблений зразок загорівся, натомість для зразка захищеного від вогню – процес горіння та поширення полум'я пригнічується. Так, встановлено, що гальмування процесу займання та поширення полум'я для зразка вогнезахисного «Дінор БС-13» полягає у поглинанні тепла, що пов'язане з розкладом антипіренів та виділенням негорючих газів, натомість для зразка, захищеного покриттям, відбувається утворення під термічною дією шару пінококсу, що ізолює зразок від дії температури. Встановлене явище свідчить про можливість переходу деревини при обробленні вогнезахисними засобами до матеріалів, які відносяться до важкозаймистих, та таких, що не поширюють полум'я поверхнею.

Результати випробувань вогневої ефективності запропонованих захисних покриттів наведено на рис. 3.4.



Рис. 3.4. Експериментальні зразки: а – до початку випробування; б – після випробування

Основні показники експериментальних досліджень випробувань вогневої ефективності запропонованих захисних покриттів зведено у табл. 3.3.

Таблиця 3.3

## Час проходження фронтом полум'я контрольних точок

Зразок деревини	Температура димових газів		Час займання, с	Час проходження фронтом полум'я ділянок зразка, с									Час досягнення максимальної температури димових газів, с	Довжина горіння зразка, мм	Індекс горючості
	T <sub>1</sub>	T <sub>max</sub>		1	2	3	4	5	6	7	8	9			
	Необроблений	61		323	52	2	8	7	10	6	8	7			
Вогнезахисний: Діпор БС-13	60	86	570	396	8	9	-	-	-	-	-	-	586	62	3,42
Вогнезахисний: ФАЄРВОЛ-ВУД	58	84	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	600	-	0
Вогнезахисний: DEFENS WD-1	59	85	545	376	7	8	0	0	-	-	-	-	528	57	3,21
Вогнезахисний: IRC0M PIRODOCTOR IP-014	61	88	485	403	8	8	9	-	-	-	-	-	594	68	4,74

НУБІП України

НУБІП УКРАЇНИ

Під час випробувань зразків деревини було встановлено, що необроблений зразок зайнявся на 52 с, полум'я поширилося по всьому зразку протягом 100 с. Окрім цього, зразок, вогнезахищений просочувальним розчином «Дінор БС-13»,

зайнявся на 570 с, поширення полум'я поверхнею відбулося тільки на першій ділянці, максимальна температура димових газів становила 86 °С за час більший

НУБІП УКРАЇНИ

у понад 6 разів, а індекс горючості склав 3,42. Для зразка, вогнезахищеного покриттям «ФАЄРВОЛ-ВУД», загорання не відбулося, оскільки на поверхні утворився захисний шар пінококсу, індекс горючості становив 0. Зразок,

вогнезахищений покриттям «DEFENS WD-1», зайнявся на 545 с, поширення

НУБІП УКРАЇНИ

полум'я поверхнею відбулося тільки на першій ділянці, максимальна температура димових газів становила 85 °С за час більший у понад 6 разів, а

індекс горючості склав 3,21. Також, для зразка вогнезахищеного покриттям

«IRCOM PIRODOCTOR IP-014», процес займання відбувся на 485 с, поширення

полум'я поверхнею відбулося тільки на першій ділянці, максимальна

НУБІП УКРАЇНИ

температура димових газів становила 88 °С за час більший у понад 5 разів, а індекс горючості склав 4,74.

Враховуючи те, що дерев'яні елементи, конструкції мольних будинків,

можуть підпадати впливу температури пожежі протягом тривалого часу (понад

НУБІП УКРАЇНИ

15 хв.), застосування просочення дерев'яних елементів, в тому числі фасадної

дошки є не раціональне, як наведено вище, оскільки не забезпечить стійкість вогнезахищеної деревини до полум'я. Так, для отримання атмосферостійкого

вогнезахисного покриття для зовнішніх поверхонь модульних будинків

рекомендується застосовувати засоби із спучуючим покриттям, до якого в

даному випадку віднесено «ФАЄРВОЛ-ВУД», індекс горючості якого склав 0.

НУБІП УКРАЇНИ

Окрім цього, у роботі [23] група авторів у результаті експериментальних

досліджень встановили, що необроблену деревину класифіковано як

будівельний матеріал підвищеної горючості (Г4), а деревина, що була

вогнезахищена спучуючим покриттям, відноситься до будівельних матеріалів

НУБІП УКРАЇНИ

низької горючості (Г1), яка в свою чергу може використовуватись для

забезпечення вогнестійкості несучих, фасадних конструкцій та елементів

дерев'яних будинків. Також зазначено, що елементи просочені даним засобом мають гарантований термін захисту 3 роки, а покриття забезпечує захист протягом 3...10 років згідно регламенту.

Цінова політика застосованих вогнезахисних засобів приведена у табл. 3.4.

Таблиця 3.4

## Вогнебіозахисні засоби для деревини

Назва	Дінор БС-13	ФАЄРВОЛ-ВУД	DEFENS WD-1	IRCOM PIRODOCTOR IP-014
Загальний вигляд упаковки				
Тип засобу	антипірен, розчин	фарба	антипірен, розчин	антипірен, розчин
Ємність	10 л	1 кг	1 кг	10 л
Ціна, грн	190	200	135	402

Із таблиці 3.4 видно, що найнищу ціну має засіб, розчин – Дінор БС-13: 190 грн / 10 л. Найвищу ціну має вогнезахисна фарба ФАЄРВОЛ-ВУД: 200 грн. / 1 кг. Не зважаючи на ціну, для опорядження фасадних поверхонь модульних будинків, за результатами досліджень було обрано вогнезахисну фарбу

## РОЗДІЛ 4

## АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ АТМОСФЕРОСТІЙКОГО ВОГНЕЗАХИСНОГО ПОКРИТТЯ

## 4.1. Антипірени та вогнезахисні фарби

Для підвищення вогнестійкості матеріалів зазвичай використовують спеціальні речовини – антипірени. Антипірен (від грец. anti - приставка, що означає протидію, і грец. pyr - вогонь) - компонент, що додається в матеріали органічного походження з метою забезпечення вогнезахисту.

Слід відмітити, що застосування антипіренів базується на плавленні при дії вогню на матеріал легкоплавких речовин, що вводяться до складу матеріалу, (наприклад, солей борної кислоти - бури,  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ , солей фосфорної та кремнієвої кислот: діамоній фосфат, амофос, сірчанокислий амоній), або на розкладі під час нагрівання речовин, що виділяють газу, та не підтримують горіння (наприклад, аміак, сірчистий газ). У першому випадку частина тепла витрачається на плавлення антипіренів, що підвищує температуру займання, у другому - негорючі газу, що виділяються під час розкладання солей, перешкоджають поширенню полум'я [24-25].

На сьогодні, до антипіренів висувається ряд вимог, вони повинні:

- перешкоджати горінню і тління матеріалу, що захищається;
- не викликати корозії металевих частин;
- мати довготривалий час дії;
- не підвищувати гігроскопічні властивості деревини;
- не бути отруйними для людей та тварин;
- не впливати на лакофарбові покриття, нанесені на деревину, що піддається обробці;
- забезпечувати (самостійно або спільно з антисептиками, що вводяться в одному розчині) біостійкість просочуваного матеріалу;
- не створювати труднощів при механічній обробці матеріалу;

- не впливати на властивості матеріалу, що просочується.

На сьогодні, одним з кращих антипіренів є діамоній фосфат, який при нагріванні виділяє оксиди фосфору, що покривають деревину захисною плівкою, та негорючий газ аміак. Діамонію фосфат зазвичай застосовується в суміші з сульфатом амонію. Також, не менш добрі характеристики має суміш фосфорнокислого натрію з сульфатом амонію. Як антипірен може бути використана і суміш бури з борною кислотою (в співвідношенні 1:1) [25].

Для комбінованого захисту дерев'яних конструкцій від вогню та гниття до антипіренів повинні додаватися антисептики (наприклад, фтористий натрій), які не знижують вогнезахисних властивостей антипіренів.

Антипірени вводяться в деревину просоченням в автоклавах або методом гарячих-холодних ван, а також при поверхневій обробці шляхом нанесення пензлем або фарбопультотом.

Антипірени уповільнюють займання та горіння деревини у зв'язку з тим, що містять сповільнювачі горіння (фосфати амонію, бору, хлорид амонію), синергисти (речовини, що підсилюють дію основного сповільнювача) та стабілізатори, що обмежують витрату сповільнювача.

Антипірени, як правило, зустрічається у продажу у вигляді водного розчину або порошку (рис. 4.1).



Рис. 4.1. Загальний вигляд антипірену у вигляді порошку [24]

Спосіб введення антипіренів залежить від типу матеріалу, що захищається. Так, деревину просочують розчином антипірену або наносять на її поверхню фарбу, що містить антипірен. У синтетичні полімери антипірени можуть бути введені на стадії їх отримання, при подальшій переробці (наприклад, при формуванні волокна) або вже готовий виріб.

Передбачається, що дія антипіренів обумовлена [25-26]:

- розкладанням антипіренів під дією полум'я з поглинанням тепла та виділенням негорючих газів;
- зміною напрямку розкладання матеріалу у бік утворення негорючих газів та важкогорючого коксового залишку;
- гальмуванням окислення в газовій та конденсованій фазах;
- утворенням на поверхні матеріалу теплозахисного шару пінококсу;
- зміною напрямку реакцій у передполум'яній області у бік утворення сажоподібних продуктів.

Антипірени можуть бути поділені на інертні та активні, останні вступають з матеріалом у хімічну реакцію.

Найбільш поширені антипірени:  $Al(OH)_3$ , з'єднання бору (напр.,  $2BaO \cdot 3B_2O_3 \cdot nH_2O$ ;  $2ZnO \cdot 3B_2O_3 \cdot nH_2O$ ), фосфору (фосфати амонію, три (2, 3-дибромпропіл)-фосфат та ін.), сурми ( $Sb_2O_3$  та ін.), високохлорованого парафіну C20-C25, бромпохідних ароматичних вуглеводнів (наприклад, тексабромбензол), суміші солей неорганічних кислот з меламіно-або сечовино-формальдними смолами, аміни Ni, Zn, Co, карбонати та сульфати амонію, солі Mo, V, Se. На практиці застосовують зазвичай суміші різних антипіренів [26].

Пожежостійкі фарби. Вогнезахисна фарба - суміш сполучного, пігменту і наповнювача, яка здатна до мимовільного затвердіння, причому плівка, що утворюється, може служити як для вогнезахисту, так і для декоративних цілей.

Вогнезахисні фарби найчастіше готуються з використанням калієвого рідкого (силікатного) скла. Натрієвий силікат при знаходженні у вологих умовах дасть на поверхні більше висолів – білих нальотів, ніж калієвий.

До складу вогнестійких силікатних фарб входять у відповідних пропорціях вогнестійкі наповнювачі, білила, кольоровий пігмент, рідке калієве скло і спеціальні добавки. Як наповнювач найчастіше використовується мелений спучений (невспучений) вермікуліт, перліт, тальк, волокна каолінової вати, розпушеного азбесту [25-27].

Вогнестійкі фарби заводського виробництва часто випускаються у двотарній упаковці. Суху суміш змішують з температуростійким сполучним на місці виконання робіт. Фарба, готова до вживання, зазвичай зберігає свою придатність (життестійкість) протягом 6-12 годин. Забарвлення здійснюється по обґрунтованій сполучній поверхні в два шари за допомогою пензля, валика або наливом.

Вогнетривкі фарби на рідкому склі застосовують для внутрішніх оздоблювальних робіт (вогнезахисного фарбування стін, стель, вогнезахисних завіс у театрах, кінотеатрах та інших видовищних приміщеннях); для підвищення вогнестійкості дерев'яних конструкцій із ДВП та ДСП. Ними також можуть фарбуватись протипожежні двері для посилення вогнезахисних властивостей.

Сучасні високоякісні органосилікатні композиції можна використовувати для фарбування елементів екстер'єру, металевих конструкцій. Застосування та експлуатація високоякісних вогнестійких фарб допускається у будь-яких кліматичних зонах без обмежень. Можливість застосування на всіх об'єктах будівництва та реконструкції (житлові, адміністративні, складські, лікувальні, навчальні заклади) для вогнезахисту дерев'яних, металевих конструкцій, повітроводів та кабелів відкриває широкі горизонти використання сучасних фарб у повсякденному житті [26].

Протипожежні властивості фарби починають проявлятися безпосередньо під час теплового впливу. При пожежі товщина шару вогнезахисної фарби, що спучується, збільшується в 10-40 разів, запускаються хімічні реакції з інтенсивним поглинанням тепла і виділенням негорючих інертних газів і пар, що утворюють пористу коксову піну, яка володіє високими теплоізоляційними характеристиками. Слід зазначити, що вогнезахисні фарби ефективно захищають

оброблені поверхні від займання, значно зменшують та уповільнюють поширення полум'я. Вони мають очевидні переваги перед іншими способами вогнезахисту конструкцій: утворюють тонкий, рівний захисний шар, що не змінює конфігурацію оброблюваної поверхні; легко наносяться за допомогою звичайного пензля, валика або пневморозпилувача; легко відновлюються з мінімальними фінансовими та трудовитратами; надають поверхні декоративний зовнішній вигляд.

#### 4.2. Охорона праці та захист оточуючого середовища

Для опорядження меблів та виробів з деревини та деревних матеріалів застосовують легкозаймисті, вибухонебезпечні і токсичні розчинники, тому опоряджувальні дільниці і цехи мають відповідати будівельним, протипожежним і санітарним нормам [28]. Згідно з цими нормами опоряджувальні цехи розміщуються в приміщеннях, ізольованих від інших виробничих цехів, службових і побутових приміщень. В одноповерхових будинках їх розміщують біля зовнішніх стін, а в багатоповерхових – на верхніх поверхах. Опоряджувальні дільниці у складі столярних та меблевих цехів обов'язково відділяють від виробничих дільниць інших категорій (щодо пожежонебезпечності) протипожежними стинами, тамбурами-шлюзами, коридорами або сходовими клітками. Всі несучі і захисні конструкції мають бути вогнетривкими, переважно із збірного залізобетону. В прорізах внутрішніх стін або в стінах, що ведуть безпосередньо на сходові клітки, мають бути захисні протипожежні двері або ворота з вогнетривких матеріалів. Бажано всі технологічні процеси опорядження максимально механізувати, щоб деталь якомога менше перебувала у відкритому приміщенні цеху. Покривати деталі і вироби методом розпилення і сушити їх треба у спеціальних камерах і сушарках, які не допускають виділення у робоче приміщення вибухонебезпечних і токсичних парів понад граничне допустимі концентрації (згідно з БН245-71) [28-29]. Нанесення лаків розпиленням найраціональніше здійснювати в

електростатичному полі, бо робітник при цьому перебуває поза зоною розпилення. В опоряджувальних цехах має бути загальна і місцева вентиляція. Місцева вентиляція блокується з технологічним устаткуванням, щоб при відключенні вентиляції воно відразу ж відключалося. Інструменти і пристрої, якими користуються в опоряджувальних цехах при ремонтних і налагоджувальних роботах, мають бути виготовлені з матеріалу, що не дає іскор при ударах. Для опорядження меблів треба застосовувати матеріали, що випускаються лакофарбовою промисловістю і мають паспорт або сертифікат, які підтверджують можливість застосування їх. Лакофарбові матеріали перед застосуванням перевіряють і дані зіставляють з паспортними або сертифікатними. Запаси лакофарбових матеріалів на робочих місцях в тому разі, якщо не налагоджено централізованої подачі їх, не мають перевищувати змінної потреби. Випорожнену тару з-під лакофарбових матеріалів відразу ж виносять з цеху. В разі розлиття лакофарбових матеріалів місце розлиття засипають піском і на певний час припиняють всі роботи, пов'язані з ліквідацією аварії. Використані обтиральні матеріали в опоряджувальних цехах слід збирати в спеціальних металевих ящиках, які щільно закриваються кришками. Випорожнювати ящики треба не рідше одного разу у зміну [30-31]. Використані відходи знищують. До опоряджувальних робіт з лаками, емалями і розчинниками не можна допускати підлітків до 18 років. Всі, хто працює в опоряджувальних цехах, періодично проходять медичний огляд. В опоряджувальних цехах треба мати набір засобів і медикаментів для знешкодження і нейтралізації дії шкідливих речовин. Для приготування робочої суміші лакофарбових матеріалів використовують приміщення, обладнані противибуховими засобами і вентиляцією, яка забезпечує десяти-, дванадцятиразовий повітрообмін. В цехах, де застосовують розріджувачі й розчинники, в яких є бензол, в разі витрати їх за зміну понад 100 кг треба обладнати централізований склад, з якого вони подаватимуться в цехи механізованим способом по герметично закритих і надійно заземлених трубопроводах, оснащених пристроями, які дають змогу перекривати окремі ділянки і лінії при несправностях або аварії в системі [29]

31]. Для зберігання опоряджувальних матеріалів на одну робочу зміну в цеху треба передбачити спеціальне приміщення – комірку. Недотримання правил приготування, зберігання і нанесення лакофарбових матеріалів призводить до забруднення повітря шкідливими (токсичними) парами їх розчинників.

Токсичність пари розчинників і лакового пилу, що утворюється при шліфуванні, залежить від концентрації його в повітрі. При малих концентраціях токсична дія пари майже невідчутна. Тому для охорони здоров'я робітників здійснюються профілактичні заходи [30-31]. Зокрема, ставляться вентиляційні пристрої та

пристрої для конденціювання повітря. Ці пристрої можуть забезпечувати такий повітрообмін, при якому концентрація токсичної пари, газів і пилу в повітрі виробничих приміщень не перевищує до гранично допустимих норм. Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони

це такі концентрації, які при повсякденній роботі тривалістю не більш як 8 год протягом усього робочого стажу не викликають у робітників захворювань або відхилень у стані здоров'я, виявлених сучасними методами досліджень безпосередньо в процесі роботи або у віддалені строки. Робочою зоною вважається простір висотою до двох метрів над рівнем підлоги або майданчика,

де розташоване місце постійного або тимчасового перебування робітників." В

разі недотримання норм гранично допустимих концентрацій можуть виникати професійні захворювання. Щоб уникнути токсичної дії пари, треба в усіх цехах створити санітарно-гігієнічні умови, в основі яких лежить сучасний і

постійний повітрообмін. Для цього всі опоряджувальні цехи обладнують підсиленою витяжною вентиляцією, а у виробничих приміщеннях, де

виділяються шкідливі пари і пил, в першу чергу встановлюють місцеві відсмоктувачі (місцева вентиляція) для витягування забрудненого повітря безпосередньо з місць його виділення [31]. Місцева вентиляція найбільш

ефективна, бо вона не дає змоги забрудненому повітрю поширюватись по всьому приміщенню. Якщо забруднене повітря все-таки проникає в приміщення, то

застосовують загальнообмінну вентиляцію (припливно-витяжну). Припливна вентиляція подає свіже повітря взамін забрудненого, що його видаляють місцеві

відсмоктувані і витяжні загальнообмінні вентилятори. При викиданні забрудненого повітря в атмосферу воно має очищатись у спеціальних фільтрах. Для того щоб запобігти професійним захворюванням на дерматит і екзему треба [31]:

- ❖ перед початком роботи змастити руки вазеліном з ланоліном, потім протерти їх насухо;

- ❖ користуватися спеціальними захисними пастами, які після закінчення роботи змивають з рук водою;

- ❖ уникати миття рук в розчинниках і розріджувачах лакофарбових матеріалів;

- ❖ після миття витирати руки досуха, особливо між пальцями;
- ❖ на процесах, що супроводжуються сильним забрудненням рук (ручне забарвлення, ґрунтування, порозаповнення, полірування), користуватися гумовими рукавичками.

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

## ВИСНОВКИ

Будівлі та споруди із дерев'яних конструкцій характеризуються підвищеною пожежною небезпекою. Для того, щоб підвищити ефективність протипожежного

захисту таких об'єктів – застосовують вогнезахист деревини. Такого роду захист можна виконувати різними способами: вогнезахисним просоченням, фарбами,

лаками, обмазками, штукатурками, плівковими покриттями. Окрім цього, зазначені способи, відповідно до їх експлуатаційних властивостей, мають різні

області застосування. Сучасні методи вогнезахисту дерев'яних будівельних конструкцій базуються на використанні вогнезахисних покриттів, що

спучаються. Таким чином, обґрунтування доцільності застосування атмосферостійкого вогнезахисного покриття для зовнішніх поверхонь

модульних будинків є актуальним на сьогодні. Представлена магістерська робота виконана в даному напрямку. Були проаналізовані, опрацьовані та

розв'язані основні питання в розрізі теми роботи, а саме:

1. Проаналізовано та висвітнено загальні питання, що стосуються вогнезахисту дерев'яних конструкцій, процесу утворення пористої

коксоподібної структури на поверхні деревини від дії вогню. Розглянено основні види та компоненти вогнезахисних матеріалів. Проведений глибокий аналіз

наукових досліджень та праць що стосуються теми роботи.

2. Проведений опис конструкцій та матеріалів, що використовуються для будівництва модульних будинків. За методом аналізу ієрархій вибрано

пріоритетну породу деревини для фасадної дошки, зовнішнього обшиття модульного будинку. Зазначено основні особливості процесу формування

зовнішнього атмосферостійкого вогнезахисного покриття будинку.

3. За результатами експериментальних досліджень вогнезахисної ефективності покриттів для дерев'яних конструкцій встановлено, що

необроблений досліджувальний зразок деревини зайнявся на 52 с, полум'я поширилося по всьому зразку протягом 100 с. Окрім цього, зразки деревини, що

були вогнезахиснені різними просочувальним розчинами показали задовільні

результати вогнезахисту. Так, найбільш ефективним засобом для вогнезахисту дерев'яних конструкцій, фасадів будинків із деревини є фарба «ФАЕРВОЛ-ВУД». Під час експерименту, загорання зразка обробленого зазначеною фарбою не відбулося, оскільки на поверхні утворився захисний шар пінококсу, індекс горючості становив 0. Проаналізовано та визначено цінову політику вогнезахисних засобів.

4. Описано основні аспекти застосування атмосферостійкого вогнезахисного покриття. Наведено основні вимоги, що висуваються до антипіренів. Зазначені основні етапи застосування вогнезахисних засобів, їх склад. Приведено заходи з охорони праці при виконанні робіт з оброблення деревини просочувальними, вогнезахисними та лакофарбовими матеріалами.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Tsapko Yu., Tsapko A. Establishment of fire protective effectiveness of reed treated with an impregnating solution and coatings. Eastern-European Journal Enterprise Technologies. 2018. Vol. 4. No 10 (94). P. 62-68. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.141030>.

2. Tsapko Yu., Bondarenko O., Tsapko A. Effect of a flame-retardant coating on the burning parameters of wood samples. Eastern-European Journal Enterprise Technologies. Vol. 2. No 10 (98). P. 49-54. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.163591. URL: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/163591/165012>.

3. Tsapko Yu., Tsapko A., Bondarenko O. Establishment of heat-exchange process regularities at inflammation of reed samples. Eastern-European Journal Enterprise Technologies. 2019. Vol. 1. No 10 (97). P. 36-42. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.156644. URL: <http://journals.uran.ua/eejet/article/viewFile/156644/157209>.

4. Rejeesh C.R., Saju K.K. Relative improvements in flame resistance of coir fiberboards treated with fire-retardant solution. Journal of Wood Science. 2018. 64(5), C. 697-705. DOI: 10.1007/s10086-018-1747-3.

5. Xiao Na, Zheng Xue, Song Shuping, Pu Junwen. Effects of Complex Flame Retardant on the Thermal Decomposition of Natural Fiber. BioResources. 2014. Vol. 9. No 3. P. 4924-4933. URL: <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/effects-of-complex-flame-retardant-on-the-thermal-decomposition-of-natural-fiber/>.

6. Gaff M., Kačik F., Gašparík M., Makovická Osvaldová L., Čekovská H. The effect of synthetic and natural fire-retardant on burning and chemical characteristic of thermally modified teak wood. Construction and Building Materials. 2019. Vol. 200. P. 551-558. URL: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20193303123>.

7. Ciripi B.K., Wang Y.C., Rogers B. Assessment of the thermal conductivity of intumescent coating in fire. Fire Safety Journal. 2016. Vol. 81. P. 74-84. URL: [https://www.academia.edu/22046522/Assessment\\_of\\_the\\_thermal\\_conductivity\\_of\\_intumescent\\_coatings\\_in\\_fire](https://www.academia.edu/22046522/Assessment_of_the_thermal_conductivity_of_intumescent_coatings_in_fire).

8. Nine Md. I., Diana N.H. Tran, Thanh Tung Tran, Kabiri Shervin, Dusan Losic. Graphene- Borate as an Efficient Fire Retardant for Cellulose Materials with Multiple and Synergetic Modes of Action. *ACS Appl. Mater. Interfaces*. 2017. Vol. 9 (11). P. 10160-10168. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28244736/>.

9. Carosio F., Alongi J. Ultra-Fast Layer-by-Layer Approach for Depositing Flame Retardant Coatings on Flexible PU Foams within Seconds. *Elettronico*. 2016. Vol. 10. P. 6315-6319. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26925855/>.

10. 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. *Pigment and Resin Technology*. 2018. Vol. 47. No 2. P. 142-153. URL: <https://www.researchgate.net/publication/323444216> An investigation into waterborne intumescent coating with different fillers for steel application.

11. Erdoĝan Y. Production of an insulation material from carpet and boron wastes. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*. 2016. No 152. P. 197-202. URL: <https://dergipark.org.tr/en/pub/bulletinofmre/article/279199>

12. Khalili P., Tshai K.Y., Hui D., Kong I. Synergistic of ammonium polyphosphate and alumina trihydrate as fire retardants for natural fiber reinforced epoxy composite. *Composites Part B: Engineering*. 2017. Vol. 114. P. 101-110. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359835X2002517>.

13. Shan L., Zhengping F., Hong-Qiang Y., Hao W. Synergistic Flame Retardancy Effect of Graphene Nanosheets and Traditional Retardants on Epoxy Resin. *Composites Part A Applied Science and Manufacturing*. 2016. Vol. 89. P. 26-32. URL: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2016.03.012>.

14. Kangtai Ou, Zheming Liu, Zixuan Liu, Qiang Fu, Yang Cao, Qichao Liu, Youyi Sun. Ultra-thin flame retardant polymer nanocomposite coating based on synergistic effect of graphene and glass sheets. *Materials Research Bulletin*. 2023. Vol. 164. 112247. P. 1-10. URL: <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2023.112247>.

15. Lúblóy É., Tímea Mészáros D., Takács L., Norbert H. Examination of the fire performance of wood materials treated with different precautions. *Journal of Thermal*

Analysis and Calorimetry. 2023. 33691648. P. 1-12. URL:  
<https://doi.org/10.1007/s10973-023-12050-2>.

16. Модульні будинки. веб-сайт: URL: <https://readycon.com.ua/articles/modulni-budynky/>. (дата звернення: 12.10.2023).

17. Пінчевська О.О., Головач В.М. Методичні вказівки до виконання курсового проекту «Інноваційні технології оброблення деревини» / Пінчевська О.О., Головач В.М. – Київ – 2021 – 64 с.

18. Правила з вогнезахисту : наказ МВС України від 26.12.2018 р. № 1064.  
 // База даних «Законодавство України» / ВР України. веб-сайт: URL:  
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0259-19#Text> (дата звернення: 15.10.2023).

19. Вовк С.Я., Пазен О. Ю., Придатко В. В., Ференц Н.О. (2022). Дослідження вогнезахисних покриттів для дерев'яних конструкцій на основі силікату натрію. <https://journal.ldubgd.edu.ua/index.php/PB> 6.

20. ГОСТ 16363:1998. Засоби вогнезахисні для деревини. Методи визначення вогнезахисних властивостей. [Чинний від 1999-07-01]. Київ, 1999. 12 с. (Інформація та документація).

21. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. [Чинний від 2017-06-01]. Вид. офіц. Київ, Мінрегіон України. 2013. 41 с. (Інформація та документація).

22. Правила пожежної безпеки України: НАПБ А. 01.001-2014. [Чинний від 2014-01-01]. Київ: Офіційний вісник України, 2016. 91 с.

23. Yu. Tsapko, A. Tsapko, O. Bondarenko, M. Sukhanevych, M. Kobryn, «Research of the process of spread of fire on beams of wood of fire-protected intumescent coatings», IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering: TRANSBUD-2019, vol. 708, 012112, pp. 1-6, 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/708/1/012112>.

24. AllBiz, інтернет магазин. Антипірени. веб-сайт: URL:  
<https://ua.all.biz/uk/antypyrren-ekopyren-g16398012>. (дата звернення: 18.10.2023).

25. Антисептики та антипірени для деревини. веб-сайт: URL: <https://www.ua-bud.com.ua/antiseptiki-ta-antypireni-dlya-derevini/>. (дата звернення: 18.10.2023).

26. Вогнебіозахист для дерева (антипірен). веб-сайт: URL: <https://oxidom.com.ua/otdelochnye-materialy/ognebiozajita-dlya-drevesinu/> (дата звернення: 19.10.2023).

27. Антипірени для деревини: види та призначення антисептиків, правила вибору вогнезахисного складу для дерева. веб-сайт: URL: <https://woodexpert.net.ua/antypireny-dlya-derevyny-vydy-ta-pryznachennya-antyseptykiv-pravyla-vyboru-vognezahysnogo-skladu-dlya-dereva/> (дата звернення: 21.10.2023).

28. Правила техніки безпеки при опорядженні меблевих виробів. веб-сайт: URL: <https://ukreferat.com/chapters/tehnichni-nauki/pravila-tehniki-bezpeki-pri-oporyadzhenni-meblevih-virobiv-proti-pozhezhni-zahodi-podannya-pershoi-medichnoi-dopomogi-referat.html> (дата звернення: 23.10.2023).

29. Обладнання та процеси опорядження деревини і деревних матеріалів. веб-сайт: URL: <https://tmvd.nltu.edu.ua/predm-obl-opor/> (дата звернення: 24.10.2023).

30. Технологія опоряджувальних робіт та захист споруд [Текст]: конспект лекцій для студентів спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія освітньо-професійної програми Опорядження будівель і споруд та будівельний дизайн денної форми навчання / уклад. О.Ф. Шмаль. – Любешів: Любешівський технічний коледж Луцького НТУ, 2019. – 278 с.

31. Охорона праці і промислова безпека у будівництві: ДБН А.3.2-2-2009 [Чинний від 2012-04-01]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2009. – 122 с. – (Державні будівельні норми України).

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ДОДАТКИ

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## ДОДАТОК А

# НУБІП України

Порівняльна характеристика маси зразків до і після обробки  
(пошуковий експеримент)

Таблиця А1

Назва антицирену	Маса зразка, г		Набір маси зразка, Δm	Набір маси зразка, %
	до обробки	після обробки		
Необроблений зразок	98,8	98,8	-	-
Діпор БС-13	99,6	103,8	4,2	4,4
ФАСРВОЛ-БУД	156	162,5	6,5	6,7
DEFENS WD-1	151	158,1	7,1	7,4
IRCOM PIRODOCTOR IP-014	145	151,4	6,4	6,7




Рис. А1. Приклад зразків деревини, що використовувалися для  
 пошукового експерименту

# НУБІП УКРАЇНИ

ДОДАТОК Б

## Технічні характеристики вогнебіозахисних засобів для деревини

Дінор БС-13		
	<b>Технічні характеристики</b>	
	Бренд	Хімтрейд
	Країна виробництва	Україна
	Об'єм	10 л
	Вид	біозахисний засіб, вогнебіозахисний засіб
	Застосування	для внутрішніх робіт
	Захисні властивості	захист від вогню, захист від грибка, захист від комах-шкідників, захист від цвітіння
	Основа	водна
	Ступінь блиску	не створює плівки
	Колір	безбарвний
<b>Додаткова інформація</b>		
Тип поверхні	дерев'яні покриття, ДСП, ДВП, МДФ	
Інструменти для нанесення	занурення у робочий розчин, розпилювач, пензлик, щітка	
Розчинник	вода	
Витрата	300 мл/м <sup>2</sup> (біозахист); 855 мл/м <sup>2</sup> (вогнезахист)	
Час повного висихання	2 год.	

IRECOM PIRODOCTOR IP-014	
	Максимальна вологість деревини для грунтування - 16%.
	Наносити на поверхню деревини щіткою або зануренням.
	Обробку потрібно проводити в кілька прийомів з інтервалом 30-60 хвилин, забезпечуючи сумарний витрати 0,300-0,500 л/м <sup>2</sup>
	Витрата розчину для вогнезахисту повинен бути 70-80 кг/м <sup>3</sup> (згідно ГОСТ 288 5-96).
Роботи проводити при температурі не нижче +10 °С.	

Клас небезпечності згідно при попаданні в цілюнок 3-й (речовини помірно небезпечні), при попаданні на шкіру 4-й (речовини мало небезпечні).

### ФАСРВОЛ-ВУД



Фарба на основі води. Для внутрішніх робіт.  
Забезпечує: перша група вогнезахисної ефективності з витратою 241 г/кв.м; I групу горючості, показники В1, Д2, Т1 із витратою 363 г/кв.м;

Межа поширення вогню М0 з витратою 1,75 кг/кв.м та товщиною шару покриття 1,21 мм показник М1 із товщиною шару не менше 0,7 мм.

Нанесення: агрегатом високого тиску методом безповітряного розпилення. Фарба призначена для забезпечення вогнезахисту дерев'яних елементів горючих перекриттів, дерев'яних будівельних конструкцій поєднаного покриття, дерев'яних панелей шляхів евакуації, виробів з деревини.

Фарба сертифікована, має санітарно-епідеміологічний висновок та Регламент робіт з вогнезахисту.

Виробник, країна: Україна

Колір: білий

### DEFENS WD-1



#### Технічні характеристики

вид	Однорідна прозора рідина
Зовнішній вигляд покриття	Не фарбуйте деревину
Щільність, г/см <sup>3</sup>	1,22 - 1,30
Масова частка нелетких речовин,%, не менш ніж	30
Витрата, г/м <sup>2</sup>	250
pH	2-3
пакування	полімерна тара
Вага нетто, кг	10-25
Термін експлуатації покриття	Не менш ніж 5 років
Температура експлуатації покриття температура нанесена на я Група вогневої ефективності	От - 50 °С до + 40 °С от - 5 °С до + 40 °С 1

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України