

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

ННІ лісового і садово-паркового господарства

УДК 674.23

ПОГОДЖЕНО

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Директор ННІ
лісового і садово-паркового
господарства

Завідувач кафедри
технологій та дизайну виробів з
деревини

_____ Роман ВАСИЛИШИН
(підпис)

_____ Андрій СПІРОЧКІН
(підпис)

«___» _____ 2024 р.

«___» _____ 2024 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему: «Обґрунтування вибору захисних матеріалів для екстер'єрних
виробів з деревини»**

Спеціальність: 187 «Деревообробні та меблеві технології»

Освітня програма: Деревообробні та меблеві технології

Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна

Гарант освітньої програми

к.т.н., доц.

(підпис)

Андрій СПІРОЧКІН

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

к.т.н., доц.

(підпис)

Олександра ГОРБАЧОВА

Виконав

(підпис)

Микита МЕЛЬНІК

КИЇВ – 2024

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

**В.о. завідувача кафедри технологій та
дизайну виробів з деревини
к.т.н., доц. _____ Андрій СПРОЧКІН
« ____ » _____ 20__ р.**

**ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
СТУДЕНТУ**

Мельніку Микиті Олександровичу

Спеціальність 187 «Деревообробні та меблеві технології»
Магістерська програма Деревообробні та меблеві технології
Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна
Тема магістерської кваліфікаційної роботи: Обґрунтування вибору захисних матеріалів для екстер'єрних виробів з деревини.
Затверджена наказом ректора НУБіП України № 1981 «С» від 31.10.2023 р.
Термін подання завершеної роботи на кафедру 15.11.2024 р.
Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи звіти роботи базового підприємства, звіти з виробничої, переддипломної практики, методики виконання експериментальних досліджень, державні, міжнародні стандарти
Перелік питань, що підлягають дослідженню:
1. Проаналізувати матеріали та заходи, що використовують для антисептування екстер'єрних конструкцій з деревини та їх характеристики.
2. Вивчити можливий вплив середовища експлуатації на поведінку конструктивних елементів під час експлуатації ззовні.
3. Виконати наукові дослідження згідно тематики роботи.
4. Обґрунтувати рекомендоване обладнання для антисептування дерев'яних конструкцій.

Дата видачі завдання « ____ » _____ 20__ р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

_____ **Олександра ГОРБАЧОВА**

Завдання прийняв до виконання _____ **Микита МЕЛЬНІК**

РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота складається з чотирьох розділів, де в них подано 15 рисунків і 28 таблиць, пояснювальна записка містить 78 сторінок, також використано 51 джерело інформації.

Першим розділом виступає «Особливості захисту деревини в конструкціях». У цьому розділі розглянуто умови використання деревини в зовнішніх конструкціях, зокрема її особливості та застосування. Окремо проаналізовано головні чинники, що впливають на деревину під час експлуатації в зовнішніх умовах. Вивчено основні засоби захисту деревини для її збереження в таких конструкціях, а також розглянуті методи нанесення захисних складів на матеріал. Крім того, охарактеризовано інноваційні підходи до захисту деревини, яка використовується у зовнішньому будівництві.

У другому розділі здійснено аналіз ринку антисептиків для захисту деревини в зовнішніх конструкціях та визначено пріоритетний засіб серед запропонованих за допомогою методу розставляння пріоритетів.

Третім розділом є «Методика та експериментальні дослідження», в якому були проведені дослідження на водопоглинання деревини просоченої антисептиком та її стійкість до дереворуйнівних грибів.

У четвертому розділі було розглянуто обладнання, яка можна використовувати для нанесення антисептиків

Деревина, захисні композиції, зовнішні дерев'яні конструкції, антисептики, просочення.

Зміст

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1	7
ОСОБЛИВОСТІ ЗАХИСТУ ДЕРЕВИНИ В КОНСТРУКЦІЯХ	7
1.1. Вимоги до конструкцій зовнішнього використання	7
1.2. Ринок захисних засобів для деревини	11
1.3. Інноваційні методи захисту дерев'яних конструкцій	17
РОЗДІЛ 2	28
ТЕОРЕТИЧНІ ОБГРУНТУВАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	28
2.1. Опис властивостей обраних матеріалів	28
2.2. Прийняття проектних рішень	33
2.3. Рішення багатокритеріальної задачі методом аналізу ієрархій	46
РОЗДІЛ 3	53
МЕТОДИКА ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	53
3.1. Підготовка зразків	53
3.2. Методика експериментального дослідження	55
3.3. Результати досліджень	57
РОЗДІЛ 4 РЕКОМЕНДОВАНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ НАНЕСЕННЯ АНТИСЕПТИКІВ НА ДЕРЕВИНУ	63
4.1. Вибір обладнання для нанесення антисептиків	63
4.2. Ручні оприскувачі	64
4.3. Ванни для занурення	66
4.4. Автоматизовані лінії для наесення антисептиків	67
ВИСНОВКИ	71

ВСТУП

Актуальність зумовлена зростаючою популярністю використання деревини в будівництві та виробництві екстер'єрних елементів, таких як фасадні панелі, паркани, меблі для вулиць та інші архітектурні елементи. Деревина, як натуральний матеріал, володіє низкою переваг, зокрема екологічністю, естетичними якостями та хорошими механічними характеристиками. Однак її застосування в умовах зовнішнього середовища пов'язане з рядом проблем, таких як вплив атмосферних факторів (волога, ультрафіолетове випромінювання, температурні коливання), що призводить до зниження її експлуатаційних властивостей, утворення грибків, плісняви, а також передчасного старіння матеріалу.

Для забезпечення довговічності та збереження естетичних характеристик деревини необхідно застосовувати ефективні захисні матеріали. Правильний вибір захисту є важливим фактором для підвищення якості та тривалості служби дерев'яних виробів у зовнішньому середовищі

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є детальний аналіз та обґрунтування вибору захисних матеріалів для екстер'єрних виробів з деревини.

Основною темою дослідження є застосування антисептичних засобів для захисту екстер'єрних виробів від зовнішніх чинників.

Для досягнення цієї мети були визначені наступні **задачі**.

1. Проаналізувати матеріали та заходи, що використовують для антисептування екстер'єрних конструкцій з деревини та їх характеристики.
2. Вивчити можливий вплив середовища експлуатації на поведінку конструктивних елементів під час експлуатації ззовні.
3. Виконати наукові дослідження згідно тематики роботи.
4. Обґрунтувати рекомендоване обладнання для антисептування дерев'яних конструкцій.

Об'єкт дослідження – якісні показники антисептичних матеріалів.

Предмет дослідження – стійкість зовнішніх дерев'яних конструкцій до впливу біологічних чинників.

У ході дослідження застосовувалися різноманітні методи, серед яких методи спостереження, порівняння, вимірювання, експериментування та математичної статистики. Використання цих методів дало змогу детально вивчити характеристики антисептичних матеріалів та їхню реакцію на вплив різних чинників.

Завдяки комплексному підходу цей дослідницький проект дозволяє оптимізувати процеси на підприємстві та підвищити якість кінцевого продукту, що є важливим як для виробництва, так і для кінцевих споживачів.

РОЗДІЛ 1

ОСОБЛИВОСТІ ЗАХИСТУ ДЕРЕВИНИ В КОНСТРУКЦІЯХ

1.1. Вимоги до конструкцій зовнішнього використання

У народному господарстві України, зокрема на підприємствах державного резерву, деревина набуває широкого застосування поряд із металом та залізобетоном. Завдяки своїм високим фізико-механічним властивостям, деревина характеризується високими тепло-, звуко- та електроізоляційними якостями, здатна пружно поглинати удари без руйнувань і знижувати вібрацію. Заготовки з деревини легко склеюються і піддаються обробці інструментами [1–3].

Деревина є природним матеріалом, який має багато корисних властивостей, але одночасно залишається вразливим до різних чинників навколишнього середовища. Одним із головних ворогів деревини є волога. Її накопичення спричиняє загнивання та поступове руйнування дерева. Крім того, вологе середовище стає ідеальним середовищем для різноманітних мікроорганізмів, які провокують грибкові ураження і появу плісняви. Грибкові ураження викликають розкладання деревини, що веде до втрати її міцності, естетичних якостей та структурної цілісності. Грибки особливо швидко розвиваються у вологих умовах, коли деревина контактує з ґрунтом або перебуває в постійно вологому середовищі.

Гриби розвиваються з мікроскопічних спор, які легко переносяться повітрям. Коли спори потрапляють у сприятливі умови, вони проростають у вигляді тонких ниток (до 0,005 мм у діаметрі) – гіфів, що сплітаються в шнури та плівки, формуючи грибницю, з якої розвивається плодове тіло гриба – джерело нових спор. Гіфи дереворуйнівних грибів проникають у деревину, утворюючи отвори в клітинних оболонках і розчиняючи їх за допомогою ферментів, які руйнують целюлозу. Це спричиняє забарвлення деревини в

бурий колір, появу тріщин і розпад на призматичні шматочки, що призводить до повної втрати міцності [4].

Ізолювати деревину від потрапляння спор, впливу навколишнього повітря та підвищеної температури в більшості випадків практично неможливо. Однак можна знищити гриби та їхні спори за допомогою високої температури, запобігти підвищенню вологості до небезпечного рівня або обробити деревину речовинами, токсичними для грибків. Це досягається шляхом стерилізації, конструктивного та хімічного захисту деревини від гниття.

Комахи, такі як терміти і жуки-короїди, здатні руйнувати структуру деревини зсередини, створюючи в ній ходи та порожнини (рис. 1.1). Це значно послаблює матеріал, роблячи його непридатним для використання у будівництві або меблях. Окрім цього, деревина схильна до гниття, особливо в умовах підвищеної вологості або при прямому контакті з водою. Гниття не лише змінює колір та текстуру деревини, а й робить її крихкою та нестійкою до навантажень.



Рис. 1.1. Пошкодження комахами дерев'яних елементів [5]

Для захисту деревини використовуються різні методи, включаючи хімічну обробку антисептиками, нанесення захисних покриттів, які зменшують вологопоглинання, та фізичні методи, такі як просочування спеціальними смолами. Правильний захист і догляд можуть значно подовжити термін служби деревини, зберігаючи її міцність і естетичні якості.

Дерев'яні конструкції, які постійно або періодично контактують з водою, ґрунтом або підвищеною вологістю, потребують обов'язкового

біозахисту для запобігання їх руйнуванню під дією біологічних факторів, таких як гриби, бактерії та комахи. Ось основні типи таких конструкцій (рис. 1.2) [4]:

1. Фундаменти та палі: Фундаменти будівель, палі, що встановлюються в землю або на дно водойм, часто контактують з вологим ґрунтом або водою. Це створює ідеальні умови для розвитку гниття та біологічних уражень. Такі конструкції потребують особливої уваги щодо біозахисту, оскільки гниття деревини в цих частинах може привести до зниження міцності та цілісності споруди.
2. Мости та споруди, що перебувають у воді: Дерев'яні елементи мостів, дамб, набережних та інших водяних споруд часто контактують з водою або знаходяться в умовах підвищеної вологості, що сприяє розвитку грибків і гниття. Такі конструкції потребують тривалого захисту від біологічних факторів.
3. Зовнішні дерев'яні елементи будівель: Часто піддаються впливу атмосферних опадів та змінюються температурні умови. Це стосується таких елементів, як двері, вікна, декоративні фасадні елементи, каркасні конструкції, а також покрівельні елементи. Якщо ці конструкції не оброблені належним чином, вони можуть швидко втратити свою міцність і почати гнити.
4. Дахи та покрівельні елементи: Деревина, що використовується для дахових конструкцій або підпокрівельних елементів, піддається впливу вологи через конденсацію та атмосферні опади. Тому така деревина потребує надійного біозахисту для запобігання гниттю і розвитку грибків.
5. Паркові та садові конструкції: Дерев'яні елементи, що використовуються в садовому або ландшафтному дизайні, такі як огорожі, альтанки, лавки, мости через водойми, часто контактують з

землею або водою. Враховуючи постійний вплив вологи, вони також потребують біозахисту для продовження терміну служби.



а

б

в

Рис. 1.2. Дерев'яні конструкції, що потребують обов'язкового захисту:

а – фундамент, б – міст, в – фасад [6–8].

Згідно з ДСТУ EN 350-2:2004 [10], стійкість деревини до гниття оцінюється за класами в залежності від її природної стійкості до біологічних уражень (гнильних грибів та комах). Для забезпечення біозахисту деревини, що контактує з водою чи ґрунтом, використовується наступна класифікація:

1. Клас 1 – Дуже висока стійкість: Деревина порід з дуже високою природною стійкістю, наприклад, дуб, червоне дерево, модрина. Вона є стійкою до гниття навіть при постійному контакті з водою або ґрунтом. Додатковий біозахист у таких випадках не є обов'язковим, проте може бути рекомендований для продовження терміну служби конструкцій.
2. Клас 2 – Висока стійкість: Породи з високою стійкістю до гниття, такі як сосна, ялиця, кедр. Вони мають природну здатність до опору біологічним ураженням, однак для тривалого використання в умовах високої вологості або при контакті з ґрунтом потребують додаткового біозахисту.
3. Клас 3 – Середня стійкість: Породи деревини з помірною стійкістю до гниття, наприклад, береза, осика. Вимагають обробки біозахисними засобами при використанні в умовах підвищеної вологості або контакту з ґрунтом.
4. Клас 4 – Низька стійкість: Породи деревини з низькою стійкістю до гниття. Наприклад, хвойні породи, такі як ялина та піхта, потребують

обов'язкового біозахисту при використанні в умовах підвищеної вологості або контакту з водою чи землею.

ДСТУ EN 335-1:2010 [9] визначає класи умов експлуатації деревини в залежності від ризику біологічних ушкоджень. Це стандарт є основним для визначення, чи потрібно застосовувати біозахист для дерев'яних конструкцій, які контактують з водою або землею.

1. Клас 1 – Захищені умови: Деревина, що не піддається впливу води та вологості, розташована в умовах, де вологість не перевищує 20%. Такі конструкції не потребують біозахисту.
2. Клас 2 – Помірно вологі умови: Деревина, яка піддається впливу атмосферних опадів або вологих умов, але не контактує з водою чи ґрунтом. Для деревини, що використовується в таких умовах, рекомендується біозахист, хоча ризик гниття невеликий.
3. Клас 3 – Контакт з водою або ґрунтом: Конструкції, що перебувають у контакті з водою, ґрунтом або перебувають у постійному впливі вологи. Деревина в таких умовах піддається високому ризику гниття та біологічних ушкоджень, тому застосування біозахисту є обов'язковим.
4. Клас 4 – Інтенсивний контакт з водою або вологим ґрунтом: Це умови для деревини, що постійно або часто знаходиться в контакті з водою або вологим ґрунтом (наприклад, підводні конструкції, фундаменти, палі). Високий рівень ризику гниття вимагає наявності максимально ефективного біозахисту.

1.2. Ринок захисних засобів для деревини

Ринок захисних засобів для деревини є одним з найбільш динамічних і швидко зростаючих секторів в індустрії матеріалів. З огляду на постійно зростаюче використання деревини в різних галузях, таких як будівництво, меблеве виробництво, виробництво елементів інтер'єру та ландшафтний

дизайн, попит на ефективні захисні засоби постійно збільшується. Деревина, як природний матеріал, має низку переваг, таких як екологічність, доступність і хороші механічні характеристики, але в той же час вона вразлива до різних зовнішніх факторів, зокрема до впливу вологи, мікроорганізмів, комах, а також до фізичних пошкоджень.

Зростання потреби в довговічних і стійких дерев'яних конструкціях, що можуть витримувати агресивні навколишні умови, стимулює розвиток нових технологій та засобів для захисту деревини. В останні роки особливо важливим стало покращення властивостей деревини для застосування в зовнішніх умовах, де вона піддається впливу атмосферних опадів, вологи, температурних коливань та біологічних ушкоджень. Це призводить до того, що сучасний ринок захисних засобів для деревини пропонує широкий спектр продуктів – від хімічних антисептиків та фунгіцидів до екологічно чистих і безпечних біозахисних засобів [11, 12].

Успіх на ринку забезпечують не лише високоякісні засоби захисту, а й їх здатність підвищувати експлуатаційні характеристики деревини, зокрема, її стійкість до гниття, вогню, механічних пошкоджень і впливу атмосферних умов. Крім того, важливим аспектом є екологічність та безпечність таких продуктів, адже все більше споживачів віддають перевагу засобам, що не шкодять навколишньому середовищу. В результаті цього, ринок захисних засобів для деревини відзначається інноваціями, такими як покриття на водній основі, нанотехнології для захисту деревини та інші екологічно чисті рішення.

Така тенденція дозволяє не лише покращити збереження деревини, але й забезпечити тривале і надійне використання цього природного ресурсу, що сприяє розвитку сталого будівництва і виробництва в різних галузях [13].

Для забезпечення довговічності та збереження якості деревини в умовах експлуатації використовуються різноманітні захисні засоби. Вони виконують важливу роль у запобіганні негативним впливам навколишнього середовища,

таких як волога, шкідники, гниття, а також зменшують ризик пошкоджень від механічних впливів або вогню.

Основні види захисних засобів для деревини та їх призначення:

Антисептики є хімічними засобами, що запобігають розвитку грибків, бактерій та інших мікроорганізмів, які можуть призвести до гниття деревини. Вони вбивають або гальмують ріст мікроорганізмів, що дозволяє значно подовжити термін служби дерев'яних конструкцій. Антисептики можуть мати різний механізм дії: деякі з них проникають у структуру деревини та змінюють середовище, роблячи його неприязним для розвитку грибків і бактерій. Інші формують захисну плівку на поверхні, яка запобігає проникненню води та мікроорганізмів. Існують спеціалізовані антисептики для різних типів деревини та умов експлуатації (зовнішні конструкції, підвищена вологість, контакт із землею) [11].

Протипожежні засоби. Горіння деревини відбувається в результаті її нагрівання до певної температури, при якій починається її термічне розкладання з утворенням горючих газів, що містять вуглець. Однак завдяки малій теплопровідності деревини масивні елементи мають достатню межу вогнестійкості (0,5...0,75 год.) – дуже важливий показник для успішного гасіння пожежі. Він визначається часом, при якому навантажений елемент зберігає несучу здатність при температурі пожежі. Дерев'яні елементи великих перерізів мають більш високі межі вогнестійкості, чим інші. Наприклад, брущата балка розрізом 17 * 17 см, навантажена до напруги 10 МПа, має межу вогнестійкості 40 хв, протягом яких можуть бути прийняті заходи для гасіння пожежі [14, 15].

Протипожежні засоби використовуються для зниження горючості деревини та уповільнення поширення вогню. Ці засоби можуть бути у вигляді рідин або паст, які проникають у структуру деревини або наносяться на її поверхню. Вони створюють бар'єр, який захищає матеріал від швидкого займання та дозволяє деревині витримувати вогонь протягом більш тривалого

часу. Крім того, деякі протипожежні засоби містять інгредієнти, що знижують кількість диму та токсичних газів, що утворюються при горінні. Такі засоби дуже важливі при використанні деревини в будівництві, особливо для стін, стель, підлог і конструкцій, що знаходяться в зоні підвищеного ризику займання [14].

Біоциди – це хімічні речовини, що використовуються для боротьби з шкідниками деревини, зокрема комахами, гризунами та іншими живими організмами, які можуть її пошкоджувати. Біоциди вбивають або відлякують шкідників, запобігаючи їх проникненню в деревину та пошкодженню її структури. Вони можуть бути застосовані як для внутрішніх, так і для зовнішніх конструкцій, де деревина перебуває під загрозою нападу термітів, комарів, мурах або інших видів комах, що ушкоджують деревину. Крім того, біоциди застосовуються для захисту від гризунів, які можуть прогризати деревину, спричиняючи механічні пошкодження [16, 17].

Гідрофобізатори – це спеціальні засоби, що зменшують водопоглинання деревини, створюючи водовідштовхувальну поверхню. Вони захищають деревину від проникнення вологи, що є основною причиною гниття та розтріскування матеріалу. Гідрофобізатори проникають в структуру деревини, не змінюючи її природний вигляд, але роблять матеріал менш вразливим до води та вологи. Це особливо важливо для використання деревини в умовах підвищеної вологості або при зовнішньому застосуванні, де ризик пошкодження від вологи є найбільшим. Вони допомагають зберегти естетичний вигляд деревини та її фізичні властивості на довший період [18].

Лаки та фарби не тільки надають деревині декоративний вигляд, але й виконують захисну функцію. Лаки утворюють прозорий захисний шар, що захищає деревину від ультрафіолетового випромінювання, яке може спричинити її старіння та вигорання. Фарби ж створюють більш щільний захисний шар, який запобігає проникненню вологи, пилу та бруду в пори деревини. Вони також допомагають зберегти механічну міцність матеріалу,

захищаючи від подряпин та інших механічних пошкоджень. Як лаки, так і фарби можуть бути застосовані для внутрішніх і зовнішніх конструкцій, надаючи деревині додаткову стійкість до атмосферних впливів та механічних ушкоджень.

Ринок захисних засобів для деревини залежить від низки факторів, які впливають на вибір споживачів та виробників. Вибір відповідних матеріалів для захисту деревини визначається не лише технічними характеристиками продуктів, але й економічними, екологічними та регуляторними аспектами. Ці фактори зумовлюють попит та пропозицію на ринку, впливаючи на розвиток галузі та сприяючи постійному вдосконаленню технологій і стандартів захисту деревини [19, 20].

Ціна. Вартість захисних засобів є важливим фактором при їх виборі. Споживачі часто орієнтуються на ціноутворення, при цьому шукають оптимальне співвідношення ціни та якості. Доступність ефективних засобів за розумною ціною визначає попит на ринку.

Якість. Якість захисних засобів безпосередньо впливає на їх ефективність та довговічність. Споживачі все більше звертають увагу на те, наскільки тривало діють захисні засоби та чи забезпечують вони належний захист деревини від впливу вологи, грибків, комах та інших факторів.

Екологічність. Зростаюча свідомість споживачів щодо впливу на довкілля змушує виробників пропонувати екологічно чисті захисні засоби. Попит на такі продукти зростає, оскільки все більше людей прагнуть використовувати матеріали, що не шкодять навколишньому середовищу.

Регулювання. Державні стандарти та норми, що регулюють використання хімічних речовин, є важливим фактором. Вони встановлюють обмеження на вміст шкідливих або токсичних компонентів у захисних засобах, що впливає на вибір продукції та її відповідність сучасним вимогам безпеки та екології.

Тенденції розвитку ринку захисних засобів для деревини відображають сучасні зміни в технологіях, споживчих вподобаннях та вимогах до екологічності.

Екологічність. З кожним роком зростає попит на екологічно безпечні засоби захисту деревини. Споживачі все більше обирають продукти на водній основі, що не містять шкідливих хімічних речовин, таких як формальдегіди або важкі метали. Це відповідає глобальним тенденціям сталого розвитку та збереження навколишнього середовища, що змушує виробників орієнтуватися на більш безпечні й екологічно чисті варіанти захисту деревини.

Багатофункціональність. Зростає попит на засоби, що поєднують кілька функцій в одному продукті. Наприклад, антисептики, які одночасно є гідрофобізаторами, захищають деревину як від біологічних шкідників, так і від вологи, що знижує потребу в застосуванні кількох різних засобів. Це спрощує процес обробки деревини та знижує витрати на захист [21].

Інноваційні технології. Ринок захисних засобів для деревини постійно оновлюється завдяки розробці нових формул і методів нанесення. Новітні технології дозволяють створювати засоби, що краще проникають у структуру деревини, покращують стійкість до вологи та біологічних впливів, а також підвищують довговічність захисту. Інноваційні методи нанесення, такі як безповітряне розпилення чи електростатичне нанесення, сприяють рівномірному покриттю та зручності використання.

Персоналізація. Враховуючи різноманітність видів деревини та різні умови її експлуатації, виробники все більше орієнтуються на створення продуктів, спеціально адаптованих для конкретних потреб. Наприклад, існують засоби, розроблені для використання в умовах підвищеної вологості або для захисту від специфічних видів шкідників, що дозволяє забезпечити оптимальний захист та продовжити термін служби дерев'яних конструкцій.

1.3. Інноваційні методи захисту дерев'яних конструкцій

Деревина, завдяки своїй природній естетиці та екологічності, завжди користувалося популярністю в будівництві. Однак, цей матеріал піддається різноманітним пошкодженням, викликаним біологічними (гриби, комахи) та фізико-хімічними факторами (волога, ультрафіолетове випромінювання). Тому захист дерев'яних конструкцій є важливим і необхідним процесом.

Основні критерії вибору методу захисту деревини включають кілька важливих аспектів, що впливають на ефективність та доцільність застосування того чи іншого методу [22].

1. Вид дерев'яної конструкції. Для зовнішніх конструкцій, таких як фасади, дахи чи огорожі, зазвичай вибирають методи, які забезпечують надійний захист від вологи, ультрафіолетового випромінювання та біологічних впливів. Для внутрішніх конструкцій використовуються менш агресивні методи, оскільки фактори зовнішнього середовища не настільки інтенсивні.
2. Умови експлуатації. Важливим фактором є тип середовища, в якому буде використовуватись деревина. Наприклад, у вологих або зволжених зонах, таких як ванні кімнати чи кухні, потрібно застосовувати захисні засоби, що знижують вологопоглинання та запобігають гниттю. У випадку зовнішнього використання в умовах високої температури та прямого сонячного випромінювання, необхідні засоби, що захищають від ультрафіолету.
3. Вимоги до естетики. Деякі методи захисту деревини можуть змінювати її колір та текстуру. Для внутрішніх приміщень або декоративних елементів може бути важливим зберегти природний вигляд деревини, тому вибір захисних засобів, що не сильно змінюють її вигляд, стає критичним.
4. Екологічні вимоги. Вибір захисних матеріалів має відповідати вимогам екологічної безпеки, як для здоров'я людей, так і для довкілля. Це

включає застосування нетоксичних та біорозкладних засобів, які не містять шкідливих хімічних речовин, таких як важкі метали або леткі органічні сполуки.

5. Економічна доцільність. Вартість матеріалів і робіт є важливим фактором при виборі методу захисту деревини. Потрібно враховувати не лише витрати на самі засоби, а й на процес їх нанесення, а також загальну ефективність вибраного методу в порівнянні з його вартістю.

Традиційно для захисту деревини використовувалися такі методи:

Просочування антисептиками. Цей метод передбачає глибоке проникнення спеціальних хімічних речовин у структуру деревини, що дозволяє знищити біологічних шкідників, таких як гриби і комахи, а також запобігти розвитку гниття. Антисептики утворюють на деревині захисний бар'єр, який знижує її вразливість до біологічних впливів [23, 24].

Антисептики застосовують для запобігання деревини від гниття. Особливо важливо проводити обробку деревини в місцях з постійною підвищеною вологістю (зіткнення з ґрунтом тощо). Суть антисептування полягає в обробці деревини спеціальними розчинами, що перешкоджають утворенню цвілі та біологічних руйнувань. Гнильні процеси, що виникають у деревині від тривалого контакту з вологою, є її значною вадою. У всі часи шукали ефективні засоби проти гниття деревини, використовуючи всілякі методи. У давнину колоди, що мають контакт із землею або вологою, обпалювали. При уявній своїй простоті цей метод досить ефективний, в селах застосовується до теперішнього часу [24].

Найбільш, поширеним антисептуючим засобом до теперішнього часу вважається креозот. Він утворюється при дистиляції деревно-вугільного дьогтю та представляє собою темну або золотисто-коричневу рідину зі специфічним запахом. Але недоліком креозоту є його властивість вивітрюватись, що тягне за собою необхідність повторної обробки через певні проміжки часу.

Для того щоб деревина менше піддавалася процесам гниття, її покривають відпрацьованими машинними маслами, гарячим бітумом, декількома шарами толю або руберойду. В якості антисептиків застосовують водні розчини фтористого натрію, кремнефтористого натрію, кремнефтористого амонію, магнію, цинку, залізного купоросу, хлористого цинку [25].

Покриття лаками та фарбами. Використання лаків і фарб для деревини створює на її поверхні плівку, яка захищає від проникнення вологи, що може призвести до гниття, а також від шкідливого впливу ультрафіолетового випромінювання. Цей метод також дозволяє надавати деревині декоративний вигляд, підкреслюючи її природну текстуру та колір.

Сучасні технології дозволили розробити більш ефективні та екологічні методи захисту:

Модифікація деревини – це процес навмисної зміни фізико-механічних, теплофізичних, триботехнічних, біохімічних властивостей деревини з врахуванням подальших умов експлуатації виробів з неї.

Модифікована деревина [26] – це деревина з поліпшеними фізикомеханічними, теплофізичними, триботехнічними, біохімічними властивостями, які отримані в процесі модифікації. Модифікація дозволяє змінити властивості деревини таким чином, щоб підвищити її надійність, міцність, збільшити термін служби, захистити від вологи, атмосферних опадів і мікроорганізмів, а також надати матеріалу необхідних властивостей для облаштування певних приміщень. Модифікована деревина вигідно відрізняється від звичайної, вона може використовуватися в приміщеннях, де часто змінюється температура і вологість, необроблене дерево в таких умовах швидко стане непридатним для експлуатації.

2. Вакуумне просочування: Просочування деревини під вакуумом, що забезпечує більш глибоке проникнення захисних речовин.

Існує два основних типи модифікації деревини – поверхнева та глибинна. Поверхнева модифікація здебільшого застосовується для захисту деревини від загоряння, а також від пошкоджень комахами, грибками та іншими шкідниками. Вона також використовується для зміцнення та посилення несучих конструкцій будівель, споруд, мостів та інших об'єктів. При цьому міцність таких конструкцій може збільшуватися до 50%.

Глибинна модифікація деревини зазвичай спрямована на значне покращення фізико-механічних властивостей матеріалу та виробів. Вона дозволяє підвищити їх характеристики в декілька разів. Однак основним недоліком цього процесу є висока трудомісткість і значні витрати на його реалізацію [27].

Існує кілька способів глибинної модифікації деревини, серед яких найбільш популярні наступні [28, 29]:

1. Термомеханічне модифікування деревини – передбачає обробку деревини, що попередньо була нагріта або пропарена. Матеріал ущільнюється, після чого проходить високотемпературну сушку та термообробку.
2. Хіміко-механічне модифікування деревини – включає ущільнення деревини з попередньою або одночасною пластифікацією за допомогою аміаку або просочення смолами та мастилами, після чого здійснюється термообробка.
3. Термохімічне модифікування деревини – передбачає просочування деревини мономерами, олігомерами або смолами з подальшою термообробкою для полімеризації або поліконденсації матеріалу, що просочується.
4. Хімічне модифікування деревини – полягає у хімічній обробці деревини аміаком, оцтовим ангідридом або катонами, що змінюють структуру клітинних стінок і хімічний склад деревини.

5. Радіаційно-хімічне модифікування деревини – процес, при якому деревина просочується мономерами, олігомерами або смолами, а потім піддається полімеризації під дією іонізуючого випромінювання.

Вакуумне просочування. Цей метод передбачає просочування деревини захисними речовинами під вакуумом, що дозволяє забезпечити більш глибоке і рівномірне проникнення компонентів у структуру деревини. Вакуумне просочування забезпечує високий рівень захисту від біологічних шкідників та гниття, а також покращує водостійкість матеріалу.

Вакуумне просочення деревини є одним з найбільш ефективних методів глибокого проникнення захисних речовин в деревину. Цей процес дозволяє забезпечити рівномірне і глибоке просочування деревини, що значно підвищує її стійкість до біологічних та фізичних впливів, таких як гниття, пошкодження комахами та грибками, а також зменшує вплив вологи [31].

Основний принцип процесу полягає в тому, що вакуумне просочення передбачає використання вакууму для забезпечення максимально глибокого проникнення захисних розчинів (антисептиків, хімічних просочувальних засобів або інших спеціальних речовин) у структуру деревини. Основні етапи процесу включають:

1. Попереднє видалення повітря з пор деревини за допомогою вакууму, що дозволяє звільнити всі пори та клітини від повітря і знизити опір для проникнення захисного розчину.
2. Заповнення пор деревини захисним розчином під високим тиском, що дозволяє ефективно просочити навіть глибокі шари деревини.
3. Відновлення нормального тиску, що дозволяє затримати захисну речовину всередині деревини, запобігаючи її витіканню.

Переваги вакуумного просочення

1. Глибоке проникнення. Захисний розчин проникає глибше, ніж при звичайному методі просочення, що дозволяє захистити не тільки поверхню, а й внутрішні шари деревини.

2. Рівномірне просочування. Вакуум забезпечує рівномірне розподілення захисного розчину по всій площі деревини, що значно покращує ефективність захисту.
3. Мінімізація витрат. Оскільки вакуумне просочення дозволяє знизити витрати хімічних речовин, цей метод є економічно вигідним при обробці великих обсягів деревини.
4. Покращена стійкість. Вакуумація дозволяє досягти високого рівня проникнення захисних речовин, що значно збільшує термін служби деревини і знижує ризик її пошкодження.

Недоліки вакуумного просочення

1. Складність процесу. Вакуумне просочення вимагає спеціального обладнання і технологічних умов, що робить цей метод більш складним і дорогим в порівнянні з іншими способами обробки деревини.
2. Тривалість процесу. Процес вакуумного просочення займає більше часу, ніж простіші методи обробки деревини.
3. Обмеження щодо виду деревини. Деякі породи деревини можуть бути менш схильні до глибокого просочування через їх щільність або структуру.

Вакуумне просочення широко використовується для обробки деревини, яка експлуатується в умовах підвищеної вологості або безпосередньо контактує з землею або водою, таких як:

- дерев'яні конструкції, що знаходяться в контакті з водою (наприклад, мости, причали, пірси).
- деревина, що використовується в будівництві (особливо для зовнішніх конструкцій, які піддаються атмосферним впливам).
- дерев'яні вироби, що піддаються високому ризику біологічного пошкодження, такі як палети, тари, дорожні покриття.

Вакуумне просочення є ефективним і надійним методом захисту деревини, що значно підвищує її стійкість до шкідливих впливів зовнішнього середовища та збільшує термін служби виробів [25].

Термообробка деревини – це сучасна технологія, що полягає в зміні структури деревини під дією високих температур для створення натуральних будівельних матеріалів.

Процес обробки включає кілька етапів: пропарювання, сушіння, термомодифікацію та стабілізацію деревини. Хоча сама схема обробки виглядає досить простою, вона вимагає точного виконання технологічних етапів, що можливо тільки в умовах промислового виробництва. Тільки в такому випадку деревина здобуває необхідні сертифікаційні якості та гарантує довготривалу службу [30].

Всі етапи термальної обробки деревини вимагають роботи з високими температурами та суворого дотримання технології для запобігання загорянню або пошкодженню матеріалу. Забезпечити та контролювати ці умови можливо лише в промислових термосушках.

Обробка деревини паром. Процес передбачає обробку деревини паром при температурі від 170 до 250 градусів, що змінює фізичні та хімічні властивості матеріалу. Особливістю цього етапу є руйнування геміцелюлози під впливом високих температур. Основні чинники, що впливають на деревину, – це водяна пара та висока температура. Процес не передбачає використання хімічних речовин чи реагентів, що робить термооброблену деревину екологічно чистим продуктом [32].

Термосушка. На етапі термосушки деревина піддається висушуванню для видалення зайвої вологи при високих температурах, що перевищують поріг загорання. Для запобігання загорянню створюється безкисневе середовище в термокамері, де повітря замінюють вуглекислим газом, водяною парю або маслом. Це найбільш тривалий етап, на якому волога з деревини випаровується майже повністю, до досягнення вологості 4–8 % в залежності

від породи і товщини дошки. Термомодифікація займає 2–4 години, під час яких деревина піддається хімічним змінам за допомогою захисної парової атмосфери, що запобігає загорянню.

Завершальний етап термообробки деревини – стабілізація – включає поетапне контрольоване охолодження дошки. Повний процес термомодифікації займає до 3-х днів, і забезпечити виготовлення високоякісної термомодифікованої деревини можливо лише в промислових умовах.

Застосування біоцидних просочувальних складів на основі натуральних компонентів.

Застосування біоцидних просочувальних складів на основі натуральних компонентів є однією з екологічно чистих альтернатив традиційним хімічним засобам для захисту деревини. Ці склади містять активні інгредієнти природного походження, які ефективно запобігають біологічним пошкодженням деревини, зокрема від грибків, комах і бактерій, не завдаючи шкоди навколишньому середовищу або здоров'ю людини.

Натуральні біоциди, які часто використовуються для просочування деревини, включають різні екстракти рослин, ефірні олії, а також компоненти, отримані з деревини або інших природних матеріалів. Наприклад, використовуються олії чайного дерева, евкаліпту, камфори, а також екстракти дуба, ялини та інших рослин, відомих своїми природними антисептичними властивостями. Вони активно діють на мікроорганізми та комах, захищаючи деревину від гниття та інфекцій.

Основною перевагою таких засобів є їхня висока біорозкладність, що означає, що вони не забруднюють екологію та не накопичуються в ґрунті чи водних ресурсах. Крім того, просочування натуральними біоцидними складами може бути безпечним для людей, домашніх тварин і навіть сільськогосподарських культур, що робить їх привабливими для використання в екологічно чутливих зонах.

Одним із прикладів таких складів є екстракти таніну, який надає деревині водовідштовхувальні властивості та одночасно служить природним захистом від біологічних пошкоджень. Іншим популярним інгредієнтом є цитрусові олії, які є ефективними антигрибковими та антимікробними агентами.

Застосування натуральних біоцидів також відповідає сучасним тенденціям до використання екологічно чистих матеріалів і технологій, що забезпечують тривале збереження деревини, не завдаючи шкоди навколишньому середовищу.

Комбіновані методи. Комбіновані методи захисту деревини поєднують різні технології і засоби для досягнення максимального ефекту в збереженні матеріалу від біологічних, фізичних та хімічних пошкоджень. Використання таких методів дозволяє ефективно покращити характеристики деревини та значно продовжити її експлуатаційний термін. Застосування комбінованих методів стає популярним, оскільки вони дозволяють не тільки зберегти деревину від гниття та пошкоджень, але й покращити її механічні та естетичні властивості [33].

Ось кілька прикладів комбінованих методів захисту деревини:

1. Поєднання антисептиків і гідрофобізаторів

Один із найпоширеніших комбінованих методів – це застосування антисептиків (для захисту від грибків і комах) разом із гідрофобізаторами, які знижують водопоглинання деревини. Цей метод дозволяє забезпечити захист від біологічних пошкоджень та водяної вологи, яка є основним фактором, що сприяє розвитку гниття. Антисептики знищують мікроорганізми, а гідрофобізатори, зменшуючи водопоглинання, захищають деревину від вологи, що значно підвищує її довговічність.

2. Вакуумне просочення з додаванням біоцидів

Інший комбінований метод – це вакуумне просочення деревини спеціальними розчинами, що містять біоциди. Під час вакуумного просочення

в деревину проникають захисні речовини, що дозволяє більш глибоко проникнути в структуру матеріалу. Коли ці розчини містять біоциди, деревина отримує подвійний захист: від шкідників і від гниття, а також стає стійкішою до впливу вологи та атмосферних чинників [34].

3. Термомодифікація з подальшим покриттям лаками або фарбами

Комбінація термомодифікації та покриття деревини захисними лаками або фарбами є ефективним методом для довготривалого захисту деревини. Термомодифікація змінює структуру деревини на молекулярному рівні, роблячи її більш стійкою до вологи, механічних навантажень та біологічних пошкоджень. Після цього деревину покривають лаками або фарбами, які забезпечують додатковий захист від ультрафіолету, вологи та механічних ушкоджень, водночас додаючи естетичну цінність [35].

4. Комбінація хімічних просочувальних складів і термічної обробки

Для досягнення ще більш високої ефективності можуть використовуватись хімічні просочувальні склади в поєднанні з термічною обробкою. Хімічні просочення зазвичай містять біоциди, що знищують шкідників, а термічна обробка підвищує фізичні властивості деревини, зокрема її стійкість до гниття та механічних пошкоджень. Така комбінація забезпечує деревині високий рівень захисту від біологічних і фізичних впливів, одночасно не змінюючи її естетичні властивості [36].

5. Природні біоциди з синтетичними добавками

Існують також комбіновані методи, що поєднують натуральні біоциди, такі як екстракти рослин або ефірні олії, з синтетичними добавками, що покращують властивості деревини, наприклад, її вогнестійкість або зносостійкість. Це поєднання дозволяє поєднати екологічність натуральних компонентів із ефективністю синтетичних речовин, що створює збалансований і універсальний захист для деревини [37].

Переваги комбінованих методів:

1. Більш ефективний захист. Комбінація кількох методів дозволяє створити більш стійкий захисний бар'єр для деревини, захищаючи її від багатьох факторів одночасно.
2. Підвищена довговічність. Поєднання різних захисних механізмів значно подовжує термін служби дерев'яних конструкцій, знижуючи ризики гниття, механічних ушкоджень і біологічних пошкоджень.
3. Економічність. Вибір комбінованих методів дає змогу оптимізувати витрати на захист деревини, забезпечуючи високий рівень захисту при порівняно низьких витратах на матеріали.

Комбіновані методи захисту деревини є прогресивним підходом, який дозволяє максимально ефективно зберегти природний матеріал від різноманітних впливів. Вони поєднують переваги різних технологій та матеріалів, забезпечуючи універсальний та довготривалий захист для дерев'яних конструкцій.

Отже, для зовнішнього використання найчастіше використовуються комбіновані антисептики, які мають водовідштовхувальні властивості та добре проникають у структуру деревини. Вони створюють захисний шар на поверхні, який запобігає проникненню вологи та забруднень. Також існують спеціальні антисептики для деревини, які мають кольорові пігменти і можуть використовуватися як фарба для дерев'яних конструкцій. Застосування антисептиків для дерев'яних виробів зовнішнього використання допоможе зберегти їх привабливий зовнішній вигляд та продовжити термін експлуатації.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ОБГРУНТУВАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

У сучасному світі, де екологічна безпека та здоров'я населення набувають все більшої значущості, питання захисту дерев'яних виробів від шкідливих мікроорганізмів стає надзвичайно актуальним. Деревина, як природний матеріал, має унікальні естетичні та фізичні властивості, проте її вразливість до впливу бактерій, грибків та інших мікроорганізмів є серйозним викликом для виробничої галузі.

У цьому контексті важливим завданням є вибір оптимального антисептика для ефективного захисту зовнішніх дерев'яних виробів. Дослідження у цій сфері спрямовані на вдосконалення методів обробки та протидії руйнівним процесам, забезпечуючи тривалу та надійну експлуатацію дерев'яних конструкцій. Це включає не лише підбір ефективних антисептичних засобів, але й аналіз їхнього впливу на фізико-механічні та естетичні характеристики деревини.

2.1. Опис властивостей обраних матеріалів

Сьогодні ринок антисептичних засобів для деревини різноманітний і пропонує широкий вибір засобів різних видів, дії, застосування та виробників.

1. Colorina Aqua Lasur (рис. 2.1) – захищає деревину від зовнішніх впливів, зберігає та підкреслює природну структуру деревини, надає відтінку цінних порід деревини. Захищає від УФ-випромінювання. Призначається для декоративно-захисного тонування виробів з деревини, що використовуються всередині та зовні приміщень [38].

Властивості:

- швидко висихає;
- зберігає та підкреслює природну структуру деревини;

- надає відтінку цінних порід дерева;
- водонепроникний;
- створює еластичне покриття;
- ефективний захист від гниття, комах – шкідників;
- стійкість до прямих сонячних променів;
- економна витрата, зручність нанесення;
- без запаху [38].



Рис. 2.1. Colorina Aqua Lasur [38]

2. Aura Lasur aqua (рис. 2.2) – призначений для захисту та декоративного оздоблення дерев'яних поверхонь (а також матеріалів деревного походження) при зовнішніх та внутрішніх роботах. Водорозчинний декоративно-захисний засіб для дерев'яних поверхонь. На основі акрилової дисперсії з антисептиком [39].

Властивості:

- Готовий до застосування.
- Створює на поверхні еластичну напівпрозору шовково-матову плівку з добрими декоративними властивостями.
- Вигідно наголошує на природній текстурі деревини.
- Імітує колір цінних порід дерева.

- Надійно захищає поверхню від атмосферного впливу.
- Містить віск, який підвищує брудо- та водовідштовхувальні властивості покриття.
- Забезпечує захист від УФ випромінювання за рахунок спеціальних абсорбуючих добавок та світлостійких неорганічних пігментів.
- Запобігає появі та росту грибка (цвілі, моху) на пофарбованій поверхні за рахунок наявності високоефективних протиплідних добавок.
- Тиксотропне, не капає з кисті, не утворює патьоків.
- Добре вбирається в пористу основу, створюючи насичений колір поверхні після нанесення одного шару.
- При зовнішніх роботах потрібно використовувати лише кольоровий засіб Lasur Aqua.
- Остаточну міцність покриття набуває через 3–4 тижні.
- Не містить White-Spirit.
- Без запаху [39].



Рис. 2.2. Aura Lasur aqua [39]

3. Lignofix E-Profi (рис. 2.3) – це концентрований засіб на водній основі з профілактичною дією проти дереворуйнівних комах, дереворуйнівних грибків та плісняви. Призначений для поверхневого просочення нової деревини, що використовується в інтер'єрах і екстер'єрах без прямого

тривалого контакту з землею з метою профілактичного захисту деревини від дереворуйнівних комах (наприклад, жуків-точильників, вусачів, шашеля), дереворуйнівних грибків (наприклад, будинкового грибка) і цвілі, а також для захисту кладки та штукатурки від проростання грибків [40].

Властивості:

- Захист проти грибків;
- Захист проти комах-шкідників;
- Захист від плісняви;
- Екологічний;
- Великий термін захисту деревини;
- Стійкий до впливу навколишнього середовища [40].



Рис. 2.3. Lignofix E-Profi [40]

4. Tikkurila Valtti pohjuste (рис. 2.4) – фасадна блакитна на олійній основі. Призначена для обробки зроблених з колод, пиляної та струганої дерев'яної поверхні, а також різного роду дерев'яних плит та просоченої під тиском та термообробленої деревини зовні будинків згідно з інструкцією із застосування. вбирається в деревину і не утворює суцільну плівку після нанесення першого шару. Антисептик захищає деревину від атмосферного навантаження, гнилі, плісняви та синяви, уповільнюючи вплив вологи та УФ-

випромінювання сонця. Застосовується для обробки зовнішніх стін, огорож, необроблених або раніше оброблених фасадною блакиттю дерев'яних конструкцій. Не застосовується для обробки внутрішніх поверхонь теплиць [41].



Рис. 2.4. Tikkurila Valti pohjuste [41]

5. Vyaris Base Grunt (рис. 2.5) – призначений для захисту деревини від біологічного руйнування, гниття та цвілі. Грунт глибоко консервуючий для деревини "Бейс-Грунт" перешкоджає появі водоростей, лишайників, моху, грибків, плісняви та синяви.



Рис. 2.5. Vyaris Base Grunt [42]

Також застосовується для захисту та профілактики від комах-шкідників, що можуть пошкоджувати деревину (шашіль, короїд, точильник тощо).

Використовується для захисту дерев'яних елементів будівель (вікна, двері, вагонка, каркаси, зруби тощо) та будь-якої іншої деревини з високим експлуатаційним навантаженням, але без контакту з ґрунтом (крокви, опори, підлоги, паркани, альтанки, садові меблі, стовпи, несучі конструкції будинку з дерева тощо). Придатний для побутового, промислового та професійного використання в умовах класів експлуатування 1-3 згідно з ДСТУ EN 335-1:2010. Продукція виготовлена відповідно до системи стандартів якості ISO 9001:2015 [42].

2.2. Прийняття проектних рішень

Метод розставляння пріоритетів – це порівняння об'єктів за якістю і кількістю за певними властивостями. Якщо немає точних даних, використовують експертні оцінки. Порівняння роблять у вигляді матриці, яку потім математично обробляють, щоб отримати пріоритети рішень. Метод допомагає вибрати найкращий варіант продукції, технології, обладнання, матеріалів тощо [43].

Для порівняння і вибору пріоритету описаних в попередньому розділі антисептиків обрано 5 основних характеристик по кожному з 5-ти матеріалів, що наведено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Основні характеристики обраних матеріалів

Назва антисептику	Ціна грн/л	Витрати л/м ²	Час висихан- ня год.	Температ ура нанесення °С	Термін експлуа- тації, міс.
Colorina Aqua Lasur	216	15	3	+20	120
Aura Lasur aqua	270	9	24	+25	72
Lignofix E-Profi	329	50	12	+20	120
Tikkurila Valtti pohjuste	640	8	24	+23	180
Byaris Base Grunt	342	7	4	+25	144

Аналогічним чином складено матриці бінарних відношень для порівняння інших антисептиків за обраними характеристиками. Також в таблицях наведено значення коефіцієнтів K і ω .

Таблиця 2.2

Матриця порівняння антисептиків за ціною

		X1	X2	X3	X4	X5	K	W
		216	270	329	640	342		
X1	216	=	<	<	<	<	2,96	0,6
X2	270	>	=	<	<	<		
X3	329	>	>	=	<	<		
X4	640	>	>	>	=	>		
X5	342	>	>	>	<	=		

Ціна є важливим показником при виборі того чи іншого товару, так само й тут. Більший пріоритет надається найдешевшому антисептику.

Щоб оцінити кожен показник у цифрах, використовуючи наявну інформацію, можна застосовувати числові оцінки, які надали експерти для кожної характеристики. За формулою (2.1), яку ми вже згадали, розраховується значення K_j , і це допомагає нам встановити різницю між найкращим і найгіршим показником.

$$K_j = \frac{640}{216} = 2,96$$

Розраховуємо коефіцієнт ω_j , за формулою (2.2):

$$\omega_j = \left(\frac{2,96 - 1}{2,96 + 1} + \sqrt{\frac{0,05}{5}} \right) = 0,6$$

Цей метод дозволяє нам розрахувати значення коефіцієнтів K_j та ω_j , використовуючи інформацію з табл. (2.3–2.6) та формул (2.1) і (2.2).

Таблиця 2.3

Матриця порівняння антисептиків за витратою

		X1	X2	X3	X4	X5	К	W
		15	9	50	8	7		
X1	15	=	>	<	>	>	7,14	0,9
X2	9	<	=	<	>	>		
X3	50	>	>	=	>	>		
X4	8	<	<	<	=	>		
X5	7	<	<	<	<	=		

Розглядають витрату антисептика як комплексний показник, де мінімальне значення забезпечує ефективний захист дерев'яних виробів, економічність та мінімальний негативний вплив на навколишнє середовище..

Таблиця 2.4

Матриця порівняння антисептиків за часом висихання

		X1	X2	X3	X4	X5	К	W
		3	24	12	24	4		
X1	3	=	<	<	<	<	8,00	0,88
X2	24	>	=	>	=	>		
X3	12	>	<	=	<	>		
X4	24	>	=	>	=	>		
X5	4	>	<	<	<	=		

Зазвичай надають більший пріоритет антисептикам з найменшим значенням часу висихання. Загалом важливо знаходити баланс між швидкістю використання та ефективністю захисту, враховуючи вимоги безпеки та якості оброблення.

Таблиця 2.5

Матриця порівняння антисептиків за температурою нанесення

		X1	X2	X3	X4	X5	К	W
		20	25	20	23	25		
X1	20	=	<	=	<	<	1,25	0,21
X2	25	>	=	>	>	=		
X3	20	=	<	=	<	<		
X4	23	>	<	>	=	<		
X5	25	>	=	>	>	=		

Вибір антисептика за даною характеристикою зазвичай залежить від багатьох факторів, тому пріоритет надають в залежності від індивідуальних потреб.

Таблиця 2.6

Матриця порівняння антисептиків за терміном експлуатації

		X1	X2	X3	X4	X5	К	W
		120	72	120	180	144		
X1	120	=	>	=	<	<	2,50	0,5
X2	72	<	=	<	<	<		
X3	120	=	>	=	<	<		
X4	180	>	>	>	=	>		
X5	144	>	>	>	<	=		

Загалом вибір антисептика за даною характеристикою полягає в знаходженні оптимального балансу між тривалістю захисту, ефективністю, безпекою та економічністю в контексті конкретного застосування..

Щоб встановити пріоритет кожного матеріалу за кожною характеристикою P_{ij} і пріоритет показника P_j , використовують поняття потужності критерію L -го порядку $P(L)$, яке обчислюється по рядках за формулами (2.5–2.11) [43]:

Перша ітерація:

$$P_i(1) = \sum_{j=1}^n a_{ij}, \quad (2.5)$$

$$\sum P_i(1) = 1 + 0,40 + 0,40 + 0,40 + 0,40 = 2,60$$

$$P_j(1) = \sum_{j=1}^n a_j, \quad (2.6)$$

$$\sum P_j(1) = 2,60 + 3,80 + 5,00 + 6,20 + 6,20 = 25,00$$

$$P_{ij}(1) = \frac{P_{ij}(L)}{\sum_{j=1}^n P_{ij}(L)}, \quad (2.7)$$

$$P_{ij}(1) = \frac{2,60}{25,00} = 0,11$$

$$P_{ij}(1) = 0,11 + 0,16 + 0,21 + 0,26 + 0,26 = 1,00$$

Друга ітерація:

$$P_2 = 1 * 2,68 + 0,40 * 3,80 + 0,40 * 5,00 + 0,40 * 6,20 + 0,40 * 6,20 = 1,00$$

$$P_j(2) = \sum_{j=1}^n a_j, \quad (2.8)$$

$$\sum P_j(2) = 11,08 + 14,92 + 20,20 + 26,92 + 26,92 = 100,04$$

$$P_{ij}(2) = \frac{P_{ij}(L)}{\sum_{j=1}^n P_{ij}(L)}, \quad (2.9)$$

$$P_{ij}(1) = \frac{11,08}{100,04} = 0,11$$

$$P_{ij}(2) = 0,11 + 0,15 + 0,20 + 0,27 + 0,27 = 1,00$$

Третя ітерація:

$$P_3 = 1 * 0,11 + 0,40 * 0,15 + 0,40 * 0,20 + 0,40 * 0,27 + 0,40 * 0,27 = 46,66$$

$$P_j(3) = \sum_{j=1}^n a_j, \quad (2.10)$$

$$\sum P_j(3) = 46,66 + 62,26 + 83,34 + 111,61 + 111,61 = 415,48$$

$$P_{ij}(3) = \frac{P_{ij}(L)}{\sum_{j=1}^n P_{ij}(L)}, \quad (2.11)$$

$$P_{ij}(3) = \frac{46,66}{415,48} = 0,11$$

$$P_{ij}(3) = 0,11 + 0,15 + 0,20 + 0,27 + 0,27 = 1,00$$

Результати розрахунків заносимо в табл. 2.7.

Аналогічно розраховано та заповнено табл. 2.8–2.11.

Таблиця 2.7

Матриця суміжності для порівняння матеріалів за ціною

		X1	X2	X3	X4	X5	K	W	P _{i1}	P _{i1} *	P _{i2}	P _{i2} *	P _{i3}	P _{i3} *
		216	270	329	640	342								
X1	216	1,00	0,40	0,40	0,40	0,40	2,96	0,6	2,60	0,10	11,56	0,10	51,18	0,11
X2	270	1,60	1,00	0,40	0,40	0,40			3,80	0,15	15,40	0,14	67,35	0,14
X3	329	1,60	1,60	1,00	0,40	0,40			5,00	0,20	20,68	0,19	89,00	0,19
X4	640	1,60	1,60	1,60	1,00	1,60			7,40	0,30	35,56	0,32	155,62	0,32
X5	342	1,60	1,60	1,60	0,40	1,00			6,20	0,25	27,40	0,25	117,85	0,25
Σ									25,00	1,00	110,60	1,00	481,00	1,00

Таблиця 2.8

Матриця суміжності для порівняння матеріалів за витратою

		X1	X2	X3	X4	X5	K	W	P _{i1}	P _{i1} *	P _{i2}	P _{i2} *	P _{i3}	P _{i3} *
		15	9	50	8	7								
X1	15	1,00	1,90	0,10	1,90	1,90	7,14	0,9	6,80	0,272	25,90	0,28	81,06	0,27
X2	9	0,10	1,00	0,10	1,90	1,90			5,00	0,2	15,28	0,17	44,00	0,15
X3	50	1,90	1,90	1,00	1,90	1,90			8,60	0,344	39,76	0,43	140,16	0,47
X4	8	0,10	0,10	0,10	1,00	1,90			3,20	0,128	7,90	0,09	23,14	0,08
X5	7	0,10	0,10	0,10	0,10	1,00			1,40	0,056	3,76	0,04	12,64	0,04
Σ									25,00	1,00	92,60	1,00	301,00	1,00

Таблиця 2.9

Матриця суміжності для порівняння матеріалів за часом висихання

		X1	X2	X3	X4	X5	K	W	P _{i1}	P _{i1} *	P _{i2}	P _{i2} *	P _{i3}	P _{i3} *
		3	24	12	24	4								
X1	3	1,00	0,12	0,12	0,12	0,12	8,00	0,88	1,48	0,06	4,30	0,05	15,25	0,05
X2	24	1,88	1,00	1,88	1,00	1,88			7,64	0,31	33,55	0,35	120,62	0,36
X3	12	1,88	0,12	1,00	0,12	1,88			5,00	0,20	15,71	0,16	47,75	0,14
X4	24	1,88	1,00	1,88	1,00	1,88			7,64	0,31	33,55	0,35	120,62	0,36
X5	4	1,88	0,12	0,12	0,12	1,00			3,24	0,13	8,46	0,09	26,48	0,08
Σ									25,00	1,00	95,57	1,00	330,73	1,00

Таблиця 2.10

Матриця суміжності для порівняння матеріалів за температурою нанесення

		X1	X2	X3	X4	X5	K	W	P _{i1}	P _{i1} *	P _{i2}	P _{i2} *	P _{i3}	P _{i3} *
		20	25	20	23	25								
X1	20	1,00	0,79	1,00	0,79	0,79	1,25	0,21	4,37	0,17	21,59	0,17	106,56	0,17
X2	25	1,21	1,00	1,21	1,21	1,00			5,63	0,23	27,89	0,23	137,62	0,23
X3	20	1,00	0,79	1,00	0,79	0,79			4,37	0,17	21,59	0,17	106,56	0,17
X4	23	1,21	0,79	1,21	1,00	0,79			5,00	0,20	24,47	0,20	120,77	0,20
X5	25	1,21	1,00	1,21	1,21	1,00			5,63	0,23	27,89	0,23	137,62	0,23
Σ									25,00	1,00	123,41	1,00	609,12	1,00

Таблиця 2.11

Матриця суміжності для порівняння матеріалів за терміном експлуатації

		X1	X2	X3	X4	X5	K	W	P _{i1}	P _{i1} *	P _{i2}	P _{i2} *	P _{i3}	P _{i3} *
		120	72	120	180	144								
X1	120	1,00	1,50	1,00	0,50	0,50	2,50	0,5	4,50	0,18	20,00	0,17	91,75	0,17
X2	72	0,50	1,00	0,50	0,50	0,50			3,00	0,12	14,00	0,12	64,75	0,12
X3	120	1,00	1,50	1,00	0,50	0,50			4,50	0,18	20,00	0,17	91,75	0,17
X4	180	1,50	1,50	1,50	1,00	1,50			7,00	0,28	34,00	0,29	156,25	0,29
X5	144	1,50	1,50	1,50	0,50	1,00			6,00	0,24	27,50	0,24	125,50	0,24
Σ									25,00	1,00	115,50	1,00	530,00	1,00

За формулами (2.12, 2.13) ми обчислюємо середнє значення \bar{x}_{ij} та середнє квадратичне відхилення S_{ij} по кожному ряду відповідей [43]:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{\sum_{j=1}^m x_{ij}}{m}, \quad (2.12)$$

$$S_{ij} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_{ij})^2}{m-1}}, \quad (2.13)$$

де x_{ij} – оцінка j -го експерта по i -му питанню;

m – кількість експертів.

$$\bar{x}_{ij} = \frac{1 + 1 + 2 + 2 + 1 + 2 + 1}{7} = 1,43$$

$$S_{ij} = \pm \sqrt{\frac{0,18 + 0,18 + 0,33 + 0,33 + 0,18 + 0,33 + 0,18}{7 - 1}} = 0,46$$

Розраховуємо коефіцієнт варіації V_{ij} за формулою (2.14) [43]:

$$V_{ij} = \frac{S_{ij}}{\bar{x}_{ij}} \cdot 100\%, \quad (2.14)$$

$$V_{ij} = \frac{0,46}{1,43} \cdot 100\% = 0,32$$

Загальний коефіцієнт погодження експертів визначаємо за формулами (2.15, 2.16) [43]:

$$K_E = \frac{\sum_{i=1}^n K_{Eij}}{\sum_{i=1}^n m_{ij}}, \quad (2.15)$$

$$K_{Eij} = 1 - \frac{S_{ij}}{\bar{x}_{ij}}, \quad (2.16)$$

де n – кількість характеристик в анкеті;

m_{ij} – кількість оцінок по кожній характеристиці в кожному з вирівняних рядів.

$$K_{Eij} = 1 - \frac{0,46}{1,43} = 0,68$$

$$K_E = \frac{0,68 + 0,63 + 0,00 + 0,38 + 0,90}{5} = 0,52$$

Якщо $0,5 \leq K_E \leq 1$, то думка експертів погоджена.

Складено квадратну матрицю бінарних відношень (табл. 2.13).

Таблиця 2.13

Матриця бінарних відношень

		Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	K	W
		1,43	3,43	2,71	3,00	4,57		
Y1	1,43	=	<	<	<	<	3,20	0,62
Y2	3,43	>	=	>	>	<		
Y3	2,71	>	<	=	<	<		
Y4	3,00	>	<	>	=	<		
Y5	4,57	>	>	>	>	=		

Співвідношення між об'єктами виражено математичними символами (>), (=), (<).

Обчислюємо, у скільки разів найкращий об'єкт відрізняється від найгіршого, використовуючи формулу (2.1):

$$K_j = \frac{4,57}{1,43} = 3,20$$

Знаходимо коефіцієнт ω_j , за формулою (2.2):

$$\omega_j = \left(\frac{3,20 - 1}{3,20 + 1} + \sqrt{\frac{0,05}{5}} \right) = 0,62$$

Суміжні члени матриць визначено за формулами (2.3, 2.4).

Значеннями α_{ij} замінюємо математичні символи (>), (=), (<). Після цього складаємо матрицю суміжності для порівняння показників в (табл. 2.14).

Таблиця 2.14

**Матриця суміжності для порівняння показників, що характеризують
антисептики**

		Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	K	W	P _{i1}	P _{i1} *	P _{i2}	P _{i2} *
		1,43	3,43	2,71	3,00	4,57						
Y1	1,43	1,00	0,38	0,38	0,38	0,38	3,20	0,62	2,52	0,10	11,06	0,10
Y2	3,43	1,62	1,00	1,62	1,62	0,38			6,24	0,25	27,36	0,25
Y3	2,71	1,62	0,38	1,00	0,38	0,38			3,76	0,15	14,96	0,14
Y4	3,00	1,62	0,38	1,62	1,00	0,38			5,00	0,20	20,39	0,19
Y5	4,57	1,62	1,62	1,62	1,62	1,00			7,48	0,30	35,86	0,33
Σ									25,00	1,00	109,62	1,00

Розрахунок аналогічно до попередніх таблиць за формулами (2.5–2.11).

За отриманими результатами формуємо загальну матрицю для обчислення комплексного пріоритету (табл. 2.15).

Таблиця 2.15

Підсумкова матриця

Матеріал	Пріоритет антисептику по одиничних показниках					Пріоритет показника		Комплексний пріоритет матеріалу
	1	2	3	4	5	номер	значення	
Colorina Aqua Lasur	0,11	0,27	0,05	0,17	0,17	5	0,10	0,17
Aura Lasur aqua	0,14	0,15	0,36	0,23	0,12	3	0,25	0,18
Lignofix E-Profi	0,19	0,47	0,14	0,17	0,17	2	0,14	0,24
Tikkurila Valtti pohjuste	0,32	0,08	0,36	0,20	0,29	1	0,18	0,24
Byaris Base Grunt	0,25	0,04	0,08	0,23	0,24	4	0,33	0,17

Підсумкова матриця показала, що найбільший пріоритет припадає на антисептик від марки Tikkurila (Valtti pohjuste), а також на Lignofix E-Profi. Експерти надавали більший пріоритет 4-ому антисептику, тому саме його буде рекомендовано для використання в поставлених цілях.

2.3. Рішення багатокритеріальної задачі методом аналізу ієрархій

Томас Сааті, американський вчений, запропонував метод аналізу ієрархій (МАІ) у 70-80 роках ХХ століття як метод порівняння та впорядкування об'єктів, що мають набори критеріїв і показників, якісних і кількісних. МАІ – це математична техніка системного аналізу складних задач прийняття рішень. Він не нав'язує особі, що приймає рішення, вибір будь-якого «вірного» рішення, а надає можливість в інтерактивному режимі вибрати такий варіант (альтернативу), який найкраще відповідає усвідомленню проблеми та вимогам до її розв'язання.

Для вирішення завдання необхідні наступні дані:

Мета: вибір кращого матеріалу.

Кількість альтернатив – 5.

Кількість критеріїв – 5.

Позначено альтернативи та критерії скороченими назвами:

№	Критерії
Кр1	Ціна
Кр2	Витрати
Кр3	Час висихання
Кр4	Температура нанесення
Кр5	Термін експлуатації

№	Альтернативи
A1	Colorina Aqua Lasur
A2	Aura Lasur aqua
A3	Lignofix E-Profi
A4	Tikkurila Valti pohjuste
A5	Byaris Base Grunt

Для розв'язання задачі ми створюємо матрицю парних порівнянь (МПП), яку заповнюємо за шкалою Сааті (табл. 2.15).

Для того, щоб вибрати найкращий матеріал, ми створили та заповнили матрицю парних порівнянь (МПП) (табл. 3.1) за критеріями, що відповідають меті. Цей процес ґрунтується на нашому власному аналізі того, як властивості впливають на реалізацію конкретної мети.

Розраховуємо значення середнього геометричного значення елементів матриці за формулою (2.17) [43]:

$$G_i(a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{is}) = (a_{i1} \cdot a_{i2} \cdot \dots \cdot a_{is})^{\frac{1}{s}}, \quad (2.17)$$

де i – номер рядка матриці;

s – кількість елементів в i -му рядку матриці;

$a_{i1} = w1/w1; a_{i2} = w2/w2; \dots a_{is} = w1/w_s$.

$$G_i = (1 * 0,67 * 0,75 * 0,86 * 1,50)^{\frac{1}{5}} = 0,915$$

Далі обчислюємо значення ЛПр для першого рядка за формулою (2.18) [6]:

$$\text{ЛПр}_1 = \frac{[(w1/w1) \cdot (w2/w2) \cdot \dots \cdot (wn/wn)]^{\frac{1}{s}}}{(G_1 + G_2 + \dots + G_n)}, \quad (2.18)$$

$$\text{ЛПр}_1 = \frac{(1 * 0,67 * 0,75 * 0,86 * 1,50)^{\frac{1}{5}}}{(0,915 + 1,375 + 1,221 + 1,068 + 0,610)} = 0,176$$

Розрахунок ЛПр для інших рядків виконується аналогічним чином.

Далі ми перевіряємо, наскільки чіткі та консистентні експертні оцінки, тобто числа в матрицях парних порівнянь. Для цього ми використовуємо дві важливі характеристики - індекс узгодженості (CI) і відношення узгодженості (CR), які обчислюємо за формулами (2.19, 2.20) [43]:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}, \quad (2.19)$$

$$CR = \frac{CI}{P_n}, \quad (2.20)$$

де n – розмір матриці;

P_n – індекс узгодженості для позитивної зворотної симетричної матриці випадкових оцінок $n \times n$;

λ_{max} – максимальне власне число матриці парних порівнянь або L_{am} обчислюють наступним чином:

1. Підсумовують значення 1-го рядка матриці;

2. Множать отриману суму на значення вектору локальних пріоритетів (ЛПр) 1-го рядка матриці;
3. Теж саме повторюють і для інших рядків матриці. При цьому суму кожного рядка матриці множать на відповідне значення вектору локальних пріоритетів (суму 2-го рядка множать на значення вектору локальних пріоритетів ЛПр 2-го рядка; суму 3-го рядка на ЛПр 3-го рядка і так далі);
4. Підсумовують отримані результати. Це і буде максимально власне число МПП - λ_{max} , його також позначають як L_{am} .

$$L_{am} = (1 + 0,67 + 0,75 + 0,86 + 1,50) * 0,176 + (1,50 + 1 + 1,13 + 1,29 + 2,25) * 0,265 + (1,33 + 0,89 + 1 + 1,14 + 2,00) * 0,235 + (1,17 + 0,78 + 0,88 + 1 + 1,75) * 0,206 + (0,67 + 0,44 + 0,50 + 0,57 + 1) * 0,118 = 5,757 \quad (2.21)$$

$$CI = \frac{5,757 - 5}{5 - 1} = 0,189$$

$$CR = \frac{0,189}{1,12} = 0,169$$

Результати розрахунків занесено в табл. 2.16.

За допомогою цього методу розраховано та заповнено табл. 2.17–2.21.

Таблиця 2.16

Матриця МПП критеріїв відносно мети

	Назва	Кр1	Кр2	Кр3	Кр4	Кр5	G	ЛПр1
Кр1	Ціна	1	0,67	0,75	0,86	1,50	0,915	0,176
Кр2	Витрати	1,50	1	1,13	1,29	2,25	1,373	0,265
Кр3	Час висихання	1,33	0,89	1	1,14	2,00	1,221	0,235
Кр4	Температура нанесення	1,17	0,78	0,88	1	1,75	1,068	0,206
Кр5	Термін експлуатації	0,67	0,44	0,50	0,57	1	0,610	0,118
Сума							5,187	1,00

Показники: $N=5$; $\lambda_{\max}=5,757$; $CI=0,189$; $CR=0,169$

Найбільше значення $LP_2=0,265$

Таблиця 2.17

Матриця МПП альтернатив по відношенню до критерію ціна

	Назва	A1	A2	A3	A4	A5	G	LP ₂
A1	Colorina Aqua Lasur	1	1,13	1,29	2,25	1,50	1,373	0,265
A2	Aura Lasur aqua	0,89	1	1,14	2,00	1,33	1,221	0,235
A3	Lignofix E-Profi	0,78	0,88	1	1,75	1,17	1,068	0,206
A4	Tikkurila Valtti pohjuste	0,44	0,50	0,57	1	0,67	0,610	0,118
A5	Byaris Base Grunt	0,67	0,75	0,86	1,50	1	0,915	0,176
Сума							5,187	1,00

Показники: $N=5$; $\lambda_{\max}=5,757$; $CI=0,189$; $CR=0,169$

Найбільше значення $LP_3=0,265$

Таблиця 2.18

Матриця МПП альтернатив по відношенню до критерію витрати

	Назва	A1	A2	A3	A4	A5	G	LP ₃
A1	Colorina Aqua Lasur	1	0,86	1,50	0,75	0,67	0,915	0,176
A2	Aura Lasur aqua	1,17	1	1,75	0,88	0,78	1,068	0,206
A3	Lignofix E-Profi	0,67	0,57	1	0,50	0,44	0,610	0,118
A4	Tikkurila Valtti pohjuste	1,33	1,14	2,00	1	0,89	1,221	0,235
A5	Byaris Base Grunt	1,50	1,29	2,25	1,13	1	1,373	0,265
Сума							5,187	1,00

Показники: $N=5$; $\lambda_{\max}=5,757$; $CI=0,189$; $CR=0,169$

Найбільше значення ЛПр=0,265

Таблиця 2.19

Матриця МПП альтернатив по відношенню до критерію час висихання

	Назва	A1	A2	A3	A4	A5	G	ЛПр4
A1	Colorina Aqua Lasur	1	2,25	1,29	1,50	1,13	1,373	0,265
A2	Aura Lasur aqua	0,44	1	0,57	0,67	0,50	0,610	0,118
A3	Lignofix E-Profi	0,78	1,75	1	1,17	0,88	1,068	0,206
A4	Tikkurila Valtti pohjuste	0,67	1,50	0,86	1	0,75	0,915	0,176
A5	Byaris Base Grunt	0,89	2,00	1,14	1,33	1	1,221	0,235
Сума							5,187	1,00

Показники: N=5; Lam=5,757 CI=0,189; CR=0,169

Найбільше значення ЛПр=0,265

Таблиця 2.20

Матриця МПП альтернатив по відношенню до критерію температура нанесення

	Назва	A1	A2	A3	A4	A5	G	ЛПр5
A1	Colorina Aqua Lasur	1	1,40	0,88	1,17	1,75	1,201	0,233
A2	Aura Lasur aqua	0,71	1	0,63	0,83	1,25	0,858	0,167
A3	Lignofix E-Profi	1,14	1,60	1	1,33	2,00	1,373	0,267
A4	Tikkurila Valtti pohjuste	0,86	1,20	0,75	1	1,50	1,030	0,200
A5	Byaris Base Grunt	0,57	0,80	0,50	0,67	1	0,686	0,133
Сума							5,148	1,00

Показники: N=5; Lam=5,602; CI=0,150; CR=0,134

Найбільше значення ЛПр=0,267

Таблиця 2.21

Матриця МПП альтернатив по відношенню до критерію термін експлуатації

	Назва	A1	A2	A3	A4	A5	G	ЛПр6
A1	Colorina Aqua Lasur	1	1,20	0,86	0,67	0,75	0,875	0,171
A2	Aura Lasur aqua	0,83	1	0,71	0,56	0,63	0,730	0,143
A3	Lignofix E-Profi	1,17	1,40	1	0,78	0,88	1,021	0,200
A4	Tikkurila Valtti pohjuste	1,50	1,80	1,29	1	1,13	1,313	0,257
A5	Byaris Base Grunt	1,33	1,60	1,14	0,89	1	1,167	0,229
Сума							5,107	1,00

Показники: N=5; Lam=5,432; CI=0,108; CR=0,097

Найбільше значення ЛПр=0,257

Побудовано матрицю пріоритетів критеріїв відносно мети та альтернатив відносно кожного з критеріїв [43] (табл. 2.22).

Таблиця 2.22

Матриця пріоритетів критеріїв відносно мети та альтернатив відносно кожного з критеріїв

	Назва	ПрКр	A1 Colorina Aqua Lasur	A2 Aura Lasur aqua	A3 Lignofix E-Profi	A4 Tikkurila Valtti pohjuste	A5 Byaris Base Grunt
Кр1	Ціна	0,176	0,265	0,235	0,206	0,118	0,176
Кр2	Витрати	0,265	0,176	0,206	0,118	0,235	0,265
Кр3	Час висихання	0,235	0,265	0,118	0,206	0,176	0,235
Кр4	Температура нанесення	0,206	0,233	0,167	0,267	0,200	0,133
Кр5	Термін експлуатації	0,118	0,171	0,143	0,200	0,257	0,229

Наступним кроком є обчислення значення глобального пріоритету ГлПр. Для цього ми робимо так: Значення ГлПр для рядка А1 визначають шляхом додавання добутків значень стовпця «ПрКр» (табл. 4.7) на значення у стовпці «А1». Так само визначають значення ГлПр для всіх інших рядків [43].

$$\text{ГлПр}_1 = (0,176 * 0,265) + (0,265 * 0,176) + (0,235 * 0,265) + (0,206 * 0,233) + (0,118 * 0,171) = 0,224 \quad (2.22)$$

Отримані дані заносимо у табл. 2.23 глобальні пріоритети альтернатив

Таблиця 2.23

Глобальні пріоритети альтернатив

	Назва	ГлПр
1	Colorina Aqua Lasur	0,224
2	Aura Lasur aqua	0,175
3	Lignofix E-Profi	0,194
4	Tikkurila Valtti pohjuste	0,196
5	Byaris Base Grunt	0,211

Із таблиці 2.23 видно, що Альтернатива А1 (Colorina Aqua Lasur) має найбільше значення глобального пріоритету – 0,224 і є найкращою рішенням для досягнення поставленої мети.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИКА ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Підготовка зразків

У дослідженні використані зразки деревини ялини та ясена. Деревина ялини має білий колір із легким жовтуватим відтінком і блискучу поверхню. Заболонь та ядро практично не відрізняються за кольором. Ялина відома своєю легкістю, м'якістю та гарною здатністю колотися, проте менш міцна та стійка до загнивання в порівнянні з сосною. Вона має менший вміст смоли, але містить багато сучків, що може ускладнювати обробку. Завдяки довгим волокнам і однорідному забарвленню деревина ялини є цінною сировиною для целюлозно-паперової промисловості. Її використовують для виробництва целюлози, паперу та штучного шовку. У будівництві вона застосовується як кроквяний матеріал, для виготовлення телеграфних та телефонних стовпів, а також для кріплення шахт. З ялини також виготовляють баржі, човни, дранку для покрівлі, пакувальні стружки. Деревина широко використовується в музичному інструментарії, меблевому виробництві, виготовленні фанери для літакобудування, деталей ткацьких верстатів та сірникової соломки [44].

Ясен дає високоякісну деревину. Ядро ясно-бурого кольору, часом із зеленуватим відтінком, заболонь білого кольору з жовтуватим або рожевуватим відтінком. Деревина ясена красивої текстури, міцна, важка, тверда, пружна, в'язка, гнучка, добре обробляється на верстатах, важко колеться, мало жолобиться і розтріскується, добре полірується, але не стійка проти гниття. Найкращі сорти деревини ясена застосовують у авто-, вагоно- і літакобудуванні, вона йде на виготовлення весел, держаків до інструментів. Деревина його добре полірується, тому використовується для внутрішнього оздоблення житлових приміщень, вагонів, суден та для виготовлення меблів. З ясеневої деревини виготовляють фанеру, яка йде на оздоблення коштовних виробів (меблів, музичних інструментів). Особливо ціниться фанера із

ясневих напливів. Ясенева фанера має великий попит на світовому ринку [45].

Зразки розміром 15x15x15 мм (рис. 3.1) спочатку висушили до вологості 8 % та залишили на 48 год – операція кондиціювання – параметри середовища $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ та $\varphi = 70\text{ \%}$.



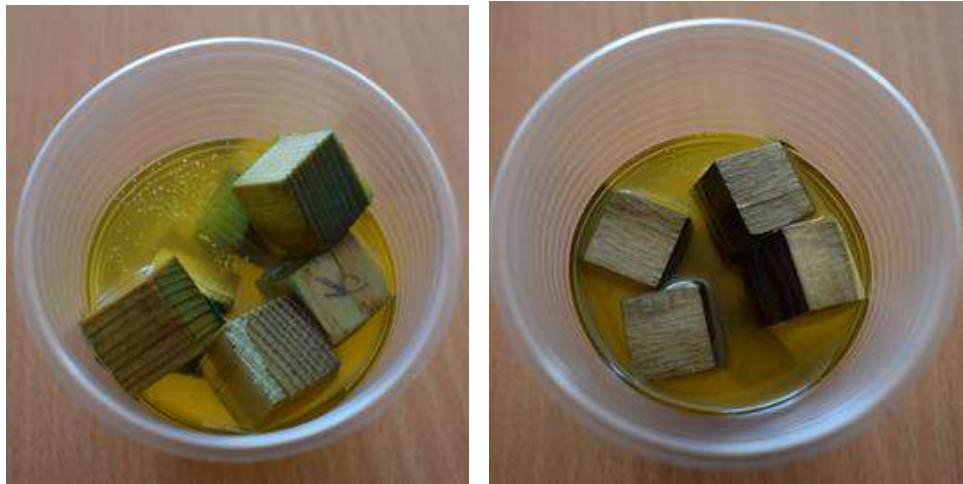
Рис. 3.1. Дослідні зразки деревини ялини та сосних

Для оцінки можливості експлуатації деревини як екстер'єрних виробів зразки просочували в двох різних антисептиках – «Tikkurila Valtti pohjuste» та «Colorina Aqua Lasur» (вибір засобів обґрунтовано у Розділі 2) – рис. 3.2. А також частину зразків після проміжного підсушування додатково обробляли лляною олією – для підвищення рівня захисту від вологи (рис. 3.3).



Рис. 3.2. Просочування зразків деревини в антисептику

Варто зазначити, що зразки ялини поглинали олію значно інтенсивніше, ніж зразки ясена. Після завершення обробки, зразки сушили протягом 48 годин у кімнатних умовах



а

б

Рис. 3.3. Додатковий захист лляною олією: а – деревина ясена;
б – деревина ялини.

Загалом спостереження велось над 5-ма групами зразків деревини ялини та ясена паралельно: 1 – контрольні зразки, 2 – зразки просочені антисептиком «Tikkurila Valtti pohjuste», 3 – зразки просочені антисептиком «Colorina Aqua Lasur», 4 – антисептик «Tikkurila Valtti pohjuste»+олія, 5 – антисептик «Colorina Aqua Lasur»+олія.

3.2. Методика експериментального дослідження

Вологопоглинання

Процес вологопоглинання складається з сорбції пари води [46] основними органічними речовинами клітинної стінки і переміщення утвореної зв'язаної вологи в середину деревини. Сорбція в свою чергу включає явища адсорбції та мікрокапілярної конденсації. Для визначення вологопоглинання зразки необробленої та обробленої деревини ялини та ясена (чотири групи описані вище) витримували в ексикаторі з насиченим розчином соди та періодично зважували (рис. 3.4).

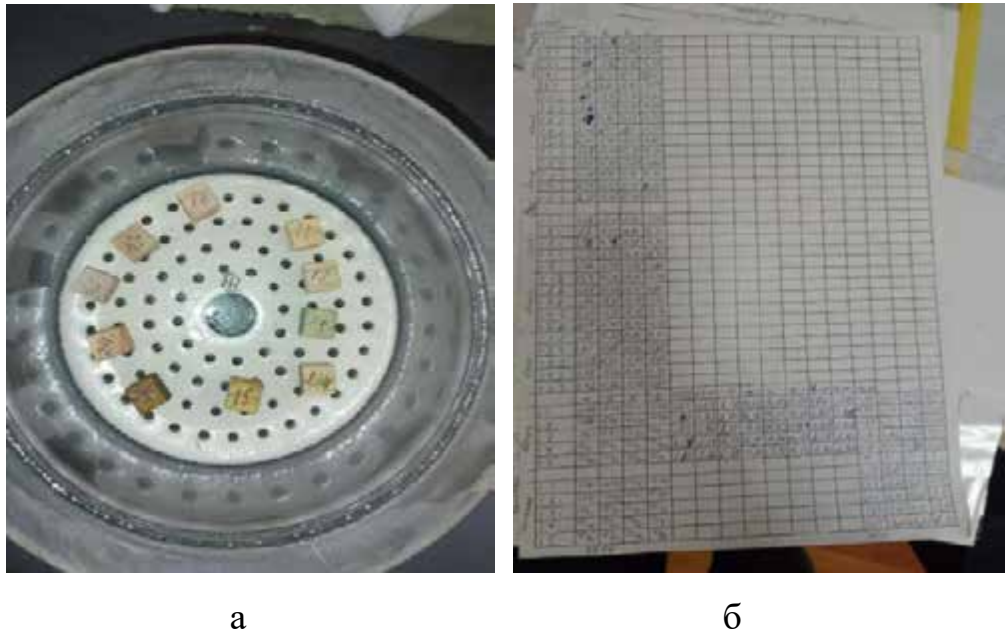


Рис. 3.4. Перебіг процесу волого поглинання: а – зразки в ексикаторі;
б – періодична фіксація зміни вологості зразків деревини.

Дослід проводили згідно EN 13183-1:2002 [47]. Суть методу: зразки висушували до абсолютно сухого стану й зважували з точністю не більше 0,01 г. На дно ексикатора налили насичений розчин соди. Зразки закладали на вставку ексикатора таким чином, щоб бічна поверхня не дотикалась до сусіднього зразка й стінок ексикатора, закрили кришкою й витримували за температури $(25 \pm 2) ^\circ\text{C}$ (рис. 3.5 а). Перше зважування проводили через добу з моменту закладання зразків в ексикатор, наступні через 3, 7, 10, 15 та 20 діб – рис. 3.5 б.

Стійкість до впливу дереворуйнівного гриба

Субстрат заражений грибом помістили в чашки Петрі – рис. 3.6.

Чашки зберігали за температури $26 ^\circ\text{C}$ та відносної вологості 70%. Коли досліджувані гриби повністю колонізували поверхні середовищ, оброблені та необроблені зразки деревини поміщали в чашки Петрі.



Рис. 3.6. Визначення руйнівного впливу гриба на деревину

В експерименті зразки піддавали впливу грибів, що спричиняють гниття, протягом 8 тижнів в інкубаторі. Після завершення експозиції зразки очищали від грибного міцелію та зважували повторно. Відсоток втрати маси, викликаной впливом грибів, обчислювали на основі різниці маси до та після впливу. У процесі дослідження регулярно спостерігали та фіксували ріст грибів на зразках [48].

3.3. Результати досліджень

У даному підрозділі представлено результати експериментальних досліджень, що спрямовані на визначення рівня водопоглинання зразків деревини різних порід та їх стійкості до впливу дереворуйнівних грибів. Оцінка проведена на основі гравіметричних вимірювань. Отримані дані дозволяють зробити висновки щодо доцільності використання певних порід деревини у різних експлуатаційних умовах та розробки заходів щодо підвищення їх стійкості.

Проміжні результати дослідження вологопоглинання наведені у табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Проміжні результати дослідження на вологопоглинання

Ялина																
	m	b	h	l	25.9	27.9	1.10	b	h	l	4.10	9.10	14.10	b	h	l
11	1,49	15,25	15,15	15,45	1,67	1,68	1,70	15,62	15,50	15,54	1,70	1,70	1,70	15,65	15,55	15,55
12	1,63	15,45	15,50	15,65	1,80	1,83	1,85	16,11	15,55	16,68	1,84	1,85	1,85	16,15	15,70	15,60
13	1,61	15,40	15,50	15,55	1,83	1,86	1,88	15,50	15,85	15,87	1,89	1,89	1,89	16,10	15,30	15,85
14	2,01	15,40	15,30	15,55	2,07	2,13	2,14	16,10	15,55	15,55	2,15	2,16	2,16	16,10	15,55	15,60
15	2,06	15,40	15,35	15,50	2,19	2,26	2,29	15,60	15,70	15,55	2,30	2,32	2,32	15,62	15,55	15,75
Ясен																
	m	b	h	l	25.9	27.9	1.10	b	h	l	4.10	9.10	14.10	b	h	l
21	2,57	15,20	15,30	15,25	2,85	2,91	2,97	16,10	15,90	15,25	2,98	2,98	3,00	16,10	15,90	15,50
22	2,68	15,60	15,60	15,75	2,93	3,01	3,06	16,10	15,95	15,75	3,04	3,06	3,07	16,30	16,00	15,75
23	2,64	15,65	15,50	15,65	2,89	2,97	3,00	16,30	15,95	15,65	3,04	3,03	3,05	16,30	16,00	15,65
24	2,85	15,60	15,50	15,75	3,04	3,14	3,18	16,20	15,95	15,80	3,18	3,20	3,21	16,25	16,00	15,85
25	2,84	15,45	15,60	15,55	3,03	3,13	3,17	16,15	15,90	15,60	3,17	3,19	3,20	16,20	16,00	15,60

За проміжними результатами можна визначити водопоглинання за формулою:

$$W = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100\% , \quad (3.1)$$

де m_0 – маса зразка, висушеного до постійної маси, г;

m_1 – маса зразка, насиченого водою, г.

Обчислюємо водопоглинання для першого зразка ялини:

$$W = \frac{1,70 - 1,49}{1,49} \times 100\% = 14,09\%$$

Розрахунок водопоглинання для інших зразків виконано аналогічним чином.

Результати розрахунків наведено в табл. 3.2

Таблиця 3.2

Водопоглинання

Зразок	Рівень вологості W, %	
	Ялина	Ясен
Контрольні зразки	14,09	16,73
Зразки+«Tikkurila Valtti pohjuste»	13,50	14,55
Зразки+«Colorina Aqua Lasur»	17,39	15,53
Зразки+ «Tikkurila Valtti pohjuste»+олія	7,46	12,63
Зразки+«Colorina Aqua Lasur»+олія	12,62	12,68

Графік зміни маси наведено на рис. 3.7.

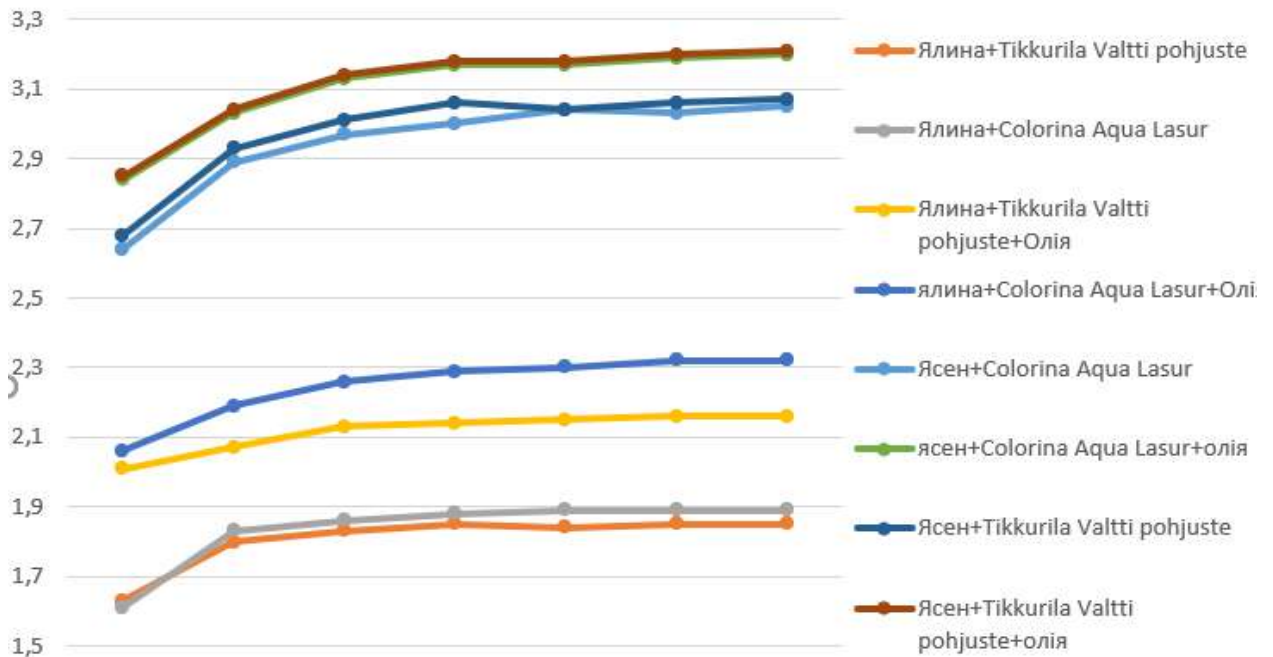


Рис. 3.7. Графік зміни маси під час водопоглинання

Отже, за результатами дослідження, можна зробити висновок, що найефективнішим є антисептик «Tikkurila Valtti pohjuste» з додаванням олії, адже зразки з ним, поглинули найменше вологи.

Провівши дослідження на стійкість до впливу дереворуйнівних грибів та заміривши зразки, було отримано наступні проміжні результати та занесено до табл. 3.3 та табл. 3.4.

Таблиця 3.3

**Проміжні результати дослідження на стійкість до впливу
дереворуйнівних грибів зразків ялини**

Час	№ зразка	m	b	h	l
1 місяць	111	1,54	15,25	15,2	15,4
	121	1,59	15,6	15,45	15,6
	131	1,6	15,35	15,35	15,55
	141	1,99	15,55	15,5	15,6
	151	1,98	15,3	15,4	15,55
2 місяці	112	1,6	15,35	15,7	15,3
	122	1,64	15,55	15,5	15,65
	132	1,69	15,3	15,45	15,5
	142	2,05	15,75	15,6	15,55
	152	2,01	15,45	15,5	15,2

Продовження табл. 3.3

3 місяці	113	1,68	15,4	15,35	15,3
	123	1,61	15,5	15,6	15,6
	133	1,61	15,4	15,35	15,3
	143	2,05	15,5	15,5	15,55
	153	2,02	15,4	15,4	15,3

Таблиця 3.4

**Проміжні результати дослідження на стійкість до впливу
дереворуйнівних грибів зразків ясена**

Час	№ зразка	m	b	h	l
1 місяць	211	2,61	15,2	15,3	15,2
	221	2,69	15,7	15,55	15,8
	231	2,61	15,6	15,4	15,65
	241	2,82	15,55	15,5	15,8
	251	2,8	15,5	15,45	15,7
2 місяці	212	2,65	15,2	15,2	15,55
	222	2,7	15,6	15,5	15,75
	232	2,79	15,45	15,55	15,8
	242	2,94	15,45	15,5	15,75
	252	2,86	15,55	15,5	15,7
3 місяці	213	2,7	15,25	15,3	15,4
	223	2,76	15,5	15,65	15,55
	233	2,67	15,65	15,5	15,5
	243	2,88	15,75	15,55	15,9
	253	2,81	15,7	15,45	15,55

За проміжними результатами було визначено відсоток втрати маси, результати були занесені до табл. 3.5.

Таблиця 3.5

Відсоток втрати маси через вплив дереворуйнівних грибів

Назва зразків	Відсоток втрати маси	
	Ялина	Ясен
Контрольні зразки	-9,09	-3,45
Зразки+«Tikkurila Valtti pohjuste»	-1,26	-2,60
Зразки+«Colorina Aqua Lasur»	-0,63	-2,30
Зразки+ «Tikkurila Valtti pohjuste»+олія	-3,02	-2,13
Зразки+«Colorina Aqua Lasur»+олія	-2,02	-0,36

Отже, за результатами дослідження, можна зробити висновок, що для обох зразків – найефективнішим захистом від впливу дереворуйнівних грибів був «Colorina Aqua Lasur», тільки для ясеня з використанням олії.

РОЗДІЛ 4

РЕКОМЕНДОВАНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ НАНЕСЕННЯ АНТИСЕПТИКІВ НА ДЕРЕВИНУ

4.1. Вибір обладнання для нанесення антисептиків

Правильне та рівномірне нанесення антисептиків на поверхню деревини є ключовим аспектом, що впливає на ефективність захисного покриття. У зв'язку з цим важливим є вибір відповідного обладнання для нанесення антисептиків, яке дозволить обробити деревину з максимальним ефектом та мінімальними витратами матеріалів. У цьому розділі розглядаються основні види обладнання для нанесення антисептиків на деревину, їх характеристики та особливості використання в різних умовах [49].

Залежно від масштабів обробки та типу деревини, можна використовувати різне обладнання. Основні типи обладнання для нанесення антисептиків:

1. Ручні оприскувачі

- Портативні оприскувачі (ручні та помпові) підходять для невеликих обсягів роботи.
- Використовуються для обробки невеликих поверхонь або невеликих обсягів деревини.
- Переваги: низька вартість, мобільність.
- Недоліки: висока трудомісткість при великих обсягах роботи.

2. Оприскувачі високого тиску (фарбопульти)

- Підходять для професійного використання, де потрібна висока продуктивність.
- Застосовуються для обробки великих обсягів деревини на будівельних майданчиках або в промислових умовах.
- Забезпечують швидке та рівномірне нанесення антисептика.

3. Установки для занурення (ванни)

- Використовуються для просочення деревини методом занурення.
- Підходять для обробки великих партій деревини, таких як балки, дошки, колоди.
- Антисептик просочує деревину глибше, забезпечуючи більш тривалий захист.
- Переваги: висока ефективність, глибоке проникнення.
- Недоліки: вимагають великих ємностей та значної кількості антисептика.

5. Автоматизовані лінії для нанесення антисептиків

- Використовуються на виробництві для обробки великих обсягів пиломатеріалів.
- Лінії можуть включати конвеєри, системи розпилення та сушіння.
- Переваги: висока швидкість обробки, мінімальна участь оператора.
- Недоліки: висока вартість, необхідність установки на виробничих майданчиках.

6. Обладнання для вакуумного та автоклавного просочення

- Найбільш ефективний метод захисту деревини, який забезпечує глибоке проникнення антисептика.
- Використовується в промислових умовах для захисту деревини, що буде використовуватися в суворих умовах (наприклад, шпали, палі, конструкції на відкритому повітрі).
- Переваги: висока ефективність, довговічний захист.
- Недоліки: висока вартість обладнання, складність у використанні

4.2. Ручні оприскувачі

Ручні оприскувачі – це прості та недорогі пристрої, які використовуються для нанесення рідких антисептиків. Вони підходять для обробки невеликих обсягів деревини, наприклад, меблів, парканів або невеликих конструкцій.

Типи:

- Помпові оприскувачі: працюють за рахунок створення тиску вручну.
- Пульверизатори: розпилюють антисептик за допомогою натискання на важіль.

Переваги:

- Низька вартість і доступність.
- Легкість у використанні та обслуговуванні.
- Мобільність, можливість обробки у важкодоступних місцях.

Недоліки:

- Обмежена продуктивність.
- Не підходять для великих обсягів робіт або товстих шарів нанесення.
- Вимагають значних зусиль при тривалому використанні.

Один з них - SATAjet 3000 HVLP (рис. 4.1.) [50], здатний переносити більше 65 % матеріалу, що робить його дуже економічним.



Рис. 4.1. Ручний оприскувач SATA jet 3000 В HVLP [50]

Ручний оприскувач SATA jet 3000 В HVLP забезпечується спеціальною конструкцією розпилювальної системи та зниженням тиску в повітряній

головці, порівнюючи з тиском на вході пістолета. Поєднання цих чинників призводить до різкого зменшення туманоутворення і, відповідно, втрат матеріалу.

4.3. Ванни для занурення

Ванни для занурення – це спеціалізоване обладнання для глибокого просочення деревини антисептичними розчинами шляхом її повного занурення. Цей метод забезпечує найкраще проникнення захисних засобів у структуру деревини, що є важливим для матеріалів, які будуть використовуватись в умовах підвищеної вологості або зовнішнього середовища [51].

Призначення

Метод занурення використовують для обробки різних видів деревини, таких як:

- Бруси, дошки, балки.
- Опорні конструкції (палі, шпали).
- Дерев'яні частини, що контактують із ґрунтом або відкритим повітрям.
- Матеріали для будівництва, наприклад, покрівельні та фасадні елементи.

Типи ванн для занурення

Ванни для просочення деревини можуть бути різних типів, залежно від їх конструкції та способу використання:

1. Стаціонарні ванни:

- Мають фіксоване місце встановлення та використовуються на великих виробничих об'єктах.
- Зазвичай виготовляються з металу (нержавіюча сталь) або спеціального пластику, стійкого до агресивних середовищ.
- Мають різні розміри, що дозволяє обробляти деревину різної довжини та товщини.

2. Мобільні ванни:

- Призначені для використання на будівельних майданчиках або в місцях, де потрібно обробити невеликі партії деревини.
- Зазвичай виготовляються з легших матеріалів і можуть бути оснащені колесами для зручності переміщення.

3. Ванни з підігрівом:

- Використовуються для просочення деревини антисептиками з підігрівом, що забезпечує глибше проникнення засобу в матеріал.
- Підігрів дозволяє зменшити в'язкість розчину, прискорюючи процес просочення.

4. Автоматизовані ванни з механізмом підйому:

- Оснащені підйомним механізмом, який дозволяє автоматично занурювати деревину у ванну та піднімати її після завершення обробки.
- Використовуються для великих партій деревини та забезпечують високу продуктивність.

Метод занурення деревини в антисептичні розчини є одним з найбільш ефективних способів захисту матеріалу від біологічних пошкоджень. Вибір цього методу обробки виправданий у випадках, коли потрібне глибоке просочення деревини або обробка великих партій матеріалу. Однак для його впровадження потрібні значні інвестиції в обладнання та спеціалізоване приміщення, що робить цей метод більш актуальним для великих виробничих підприємств.

4.4. Автоматизовані лінії для нанесення антисептиків

Автоматизовані лінії для нанесення антисептиків – це комплексне обладнання, яке забезпечує повністю автоматизований процес нанесення захисних речовин на деревину. Вони широко використовуються на великих виробничих підприємствах для обробки значних обсягів деревини, що потребує швидкого та якісного просочення.

Основні компоненти автоматизованих ліній

Автоматизовані лінії можуть включати такі компоненти:

1. Конвеєрна система:

- Забезпечує транспортування деревини через весь процес обробки.
- Конвеєри можуть бути стрічковими або роликowymi, залежно від розміру та типу дерев'яних виробів.
- Деякі конвеєри обладнані системами контролю швидкості для регулювання інтенсивності обробки.

2. Система розпилення антисептика:

- Основний модуль, який розпилює антисептик на поверхню деревини.
- Використовуються розпилювачі високого тиску, що забезпечують рівномірне нанесення захисного розчину.
- Система може включати декілька форсунок для обробки з усіх боків.

3. Модуль для попередньої обробки:

- Включає очищувачі, які видаляють пил, бруд і старе покриття з деревини перед нанесенням антисептика.
- Очищення покращує адгезію антисептичного розчину та забезпечує рівномірне покриття.

4. Система сушіння:

- Після нанесення антисептика деревина проходить через сушильну камеру або тунель.
- Сушіння може здійснюватися природним способом або з використанням нагрітих повітряних потоків для прискорення процесу.
- Це дозволяє зменшити час висихання та забезпечити готовність деревини до подальшого використання.

5. Контроль якості:

- Багато сучасних ліній обладнані системами контролю якості, що включають датчики для перевірки товщини шару нанесеного антисептика.
- Це забезпечує рівномірність покриття та мінімізує витрати матеріалів.

Переваги автоматизованих ліній

1. Висока продуктивність:

- Автоматизовані системи можуть обробляти великі партії деревини без зупинок, що значно підвищує продуктивність виробництва.
- Процес нанесення антисептика виконується швидко та з мінімальним втручанням оператора.

2. Економія матеріалів:

- Системи контролю розпилення та сушіння зменшують витрати антисептика, забезпечуючи рівномірне нанесення.
- Автоматизація дозволяє точно дозувати кількість захисного засобу відповідно до розміру та типу деревини.

3. Рівномірність обробки:

- Використання розпилювачів високого тиску та систем контролю якості гарантує, що весь матеріал обробляється однаково.
- Це особливо важливо для захисту деревини від грибків, шкідників та атмосферних впливів.

4. Мінімізація впливу людського фактора:

- Автоматизація знижує ризик помилок, пов'язаних з людським фактором, таких як нерівномірне нанесення або пропуски в обробці.
- Це підвищує якість кінцевого продукту та зменшує потребу в повторній обробці.

Недоліки автоматизованих ліній

1. Висока вартість встановлення:

- Автоматизовані лінії потребують значних капіталовкладень на етапі закупівлі та встановлення обладнання.
- Це робить їх доступними переважно для великих підприємств.

2. Складність обслуговування:

- Автоматизовані системи потребують регулярного технічного обслуговування та калібрування.
- Виникає потреба у висококваліфікованому персоналі для обслуговування та ремонту.

3. Залежність від джерел енергії:

- Системи потребують стабільного електропостачання для роботи конвеєрів, розпилувачів та сушильних модулів.
- Це може підвищити витрати на енергоресурси та потребує резервних джерел живлення для уникнення зупинок.

Автоматизовані лінії для нанесення антисептиків є невід'ємною частиною сучасного деревообробного виробництва. Вони забезпечують високу продуктивність, якість нанесення та економію матеріалів, що робить їх незамінними для великих підприємств. Незважаючи на високу вартість та складність обслуговування, ці системи дозволяють значно підвищити ефективність обробки деревини та продовжити термін її служби, знижуючи ризики біологічних пошкоджень та атмосферних впливів.

ВИСНОВКИ

Магістерська кваліфікаційна робота була зосереджена на обґрунтуванні вибору захистних матеріалів для екстер'єрних виробів з деревини. В процесі дослідження було встановлено, що деревина, хоча і є екологічно чистим і естетичним матеріалом, піддається значним негативним впливам з боку зовнішнього середовища, зокрема вологи, ультрафіолетового випромінювання, температурних коливань та біологічних агентів (грибків, плісняви). Це призводить до її руйнування, втрати естетичних та механічних властивостей.

Вивчення різноманітних захисних матеріалів для деревини показало, що на ринку існує широкий спектр продуктів, що забезпечують захист від негативних факторів зовнішнього середовища. Серед них особливо ефективними виявилися антисептичні покриття. Розглянуто їх склад, властивості, переваги та недоліки.

Для порівняння і вибору пріоритету описаних в попередньому розділі антисептиків обрано 5 основних характеристик по кожному з 5-ти матеріалів. Загалом вибір антисептика за даною характеристикою полягає в знаходженні оптимального балансу між тривалістю захисту, ефективністю, безпекою та економічністю в контексті конкретного застосування. Обґрунтовано оптимальний вибір антисептику. Підсумкова матриця показала, що найбільший пріоритет припадає на антисептик від марки Tikkurila (Valtti pohjuste) – 0,24. А Colorina Aqua Lasur – 0, 224 за допомогою методу аналізу ієрархій.

За цим вибором були проведені дослідження на водопоглинання та стійкість на вплив дереворуйнівних грибів. Зразки двох порід дерев були покриті даними антисептиками, а також з додаванням лляної олії. Загалом спостереження велось над 5-ма групами зразків деревини ялини та ясена паралельно: 1 – контрольні зразки, 2 – зразки просочені антисептиком

«Tikkurila Valtti pohjuste», 3 – зразки просочені антисептиком «Colorina Aqua Lasur», 4 – антисептик «Tikkurila Valtti pohjuste»+олія, 5 – антисептик «Colorina Aqua Lasur»+олія. За результатами дослідження виявлено, що при водопоглинанні найкраще себе зарекомендував Tikkurila Valtti pohjuste. Адже у зразків покритих ним, був найменший відсоток водопоглинання – 7,46 та 12,63 % для ялини та ясеня відповідно.

Після досліджень на стійкість до впливу дереворуйнівних грибів було виявлено, що найефективнішим виявився захист антисептиком «Colorina Aqua Lasur». Відсоток втрати маси у зразків деревини ялини 0,63; у ясеня – 0,36 за умови додаткового оброблення олією.

Вказані антисептичні матеріали є ефективними для захисту від зовнішніх чинників, вибір матеріалу в різних ситуаціях залежить від виробника.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Віктонів І.С., Сопушинський І.М, Тайшігер А. Деревинознавство: навч. посіб. Львів: «Апріорі», 2007. 312 с.
2. 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. № 10 (94). P. 62- 68.
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.
4. Пінчевська О.О., Горбачова О.Ю. Захисне оброблення дерев'яних конструкцій : навч. посіб. Київ : Освіта України, 2014. 192 с.
5. Professional pest control servise. *Pestco.* : веб-сайт. URL: <https://pestco.com.ua/ua/articles/termity.html> (дата звернення: 04.10.2023).
6. Домінування якості та краси. *Dominant-wood* : веб-сайт. URL: <https://dominant-wood.com.ua/uk/blog/statti/stovpchastiy-fundament-pid-derev-yaniy-budinok> (дата звернення 07.10.2023)
7. Дерев'яні мости в Карпатах. Історія споруд, що залишилися тільки на фотографіях. *Localhistory* : веб-сайт. URL: <https://localhistory.org.ua/texts/statti/dereviani-mosti-v-karpatakh-istoriia-sporud-shcho-zalishilisia-tilki-na-fotografiakh/> (дата звернення 07.10.2024)
8. Дизайн фасадів приватних будинків. *Ornatia* : веб-сайт. URL: <https://www.ornatia.com.ua/dyzayn-fasadiv-pryvatnykh-budynkiv-100-idey/> (дата звернення: 12.03.2024).
9. ДСТУ EN 335-1:2010 Стійкість деревини та виробів з деревини. Визначення класів використання. Частина 1. Загальні положення (EN 335-1:2006, IDT).
10. ДСТУ EN 350-2:2004 Стійкість деревини та виробів з деревини. Природна стійкість суцільної деревини. Частина 2. Настанови щодо природної стійкості та просочності окремих порід деревини, що мають значення в Європі (EN 350-2:1994, IDT).

11. Антисептування, захист дерев'яних конструкцій в будівлях, комахи. *Koshache* : веб-сайт. URL: <https://yak.koshachek.com/articles/antiseptuvannja-zahist-derev-janih-konstrukcij-v.html> (дата звернення: 04.10.2024).
12. Захист деревини від гниття. *Дерев'яні будинки* : веб-сайт. URL: <https://dom.ukr.bio/ua/articles/807/> (дата звернення: 13.02.2024).
13. Захист дерев'яних елементів конструкцій. *Obrobka* : веб-сайт. URL: <https://obrobka.pp.ua/2271-zahist-derevyanih-elementv-konstrukcy-vd-bologchnih-poshkodzhen.html> (дата звернення: 03.06.2024).
14. Захист дерев'яних конструкцій від займання та горіння. *Studfile* : веб-сайт. URL: <https://studfile.net/preview/5285163/page:6/> (дата звернення: 04.10.2024).
15. Звичайне горіння деревини. *BIO* : веб-сайт. URL: <https://bio.ukr.bio/ua/articles/3678/> (дата звернення: 04.03.2024).
16. Для чого використовують біоцид? *EBiochemical* : веб-сайт. URL: <https://ua.ebiochemical.com/info/what-is-a-biocide-used-for--92837157.html> (дата звернення: 14.05.2024).
17. Грунтовки, антисептики і фінішні покриття для дерева у важких умовах експлуатації. *Будівельна компанія "Берег"* : веб-сайт. URL: <https://kiev-bereg.com/ua/gruntovki-antiseptiki-i-finishni-pokrittya-dlya-dereva-u-vazhkix-umovax-ekspluatacii/> (дата звернення: 14.05.2024).
18. Гідрофобізатори для дерева. *ПРАЙМЕР* : веб-сайт. URL: <https://primer.com.ua/gidrofobizator-dlya-dereva> (дата звернення: 17.06.2024).
19. Декоративні та захисні засоби для дерева. *BUDHIT* : веб-сайт. URL: <https://budhit.net/stroitelnye-materialy-6/dekorativnye-i-zashchitnye-sredstva-dlya-drevesiny/> (дата звернення: 26.06.2024).
20. Матеріали для обробки дерева. *НОВА ТЕХНОЛОГІЯ* : веб-сайт. URL: <https://rustins.com.ua/ua/derevo> (дата звернення: 26.09.2024).
21. Захист деревини – огляд основних типів захисних засобів. *Bionic House* : веб-сайт. URL: <https://bionic-house.com.ua/ua/articles/44-zakhist->

drevini-oglyad-osnovnikh-tipiv-zakhisnikh-zasobiv.html (дата звернення: 02.09.2024).

22. Антисептування деревини при будівництві альтанок. *Dom* : веб-сайт. URL: <https://dom.ukr.bio/ua/articles/4391/> (дата звернення 07.10.2024).

23. Просочування деревини антисептиками. *STRAZH* : веб-сайт. URL: <https://www.strazh.ua/post/%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%81%D0%BE%D1%87%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F-%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B2%D0%B8%D0%BD%D0%B8-%D0%B0%D0%BD%D1%82%D0%B8%D1%81%D0%B5%D0%BF%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D0%BC%D0%B8> (дата звернення 09.04.2024).

24. Антисептик для дерева: види і необхідність застосування. *Mukachevo.net* : веб-сайт. URL: https://mukachevo.net/news/antyseptyk-dlia-dereva-vydy-i-neobkhdnist-zastosuvannia_2664282.html (дата звернення 09.04.2024).

25. Вакуумне просочення дерев'яних поверхонь. *Farbateka* : веб-сайт. URL: <http://farbateka.com.ua/specialni-materiali/zahist-drevini/obrobka-yakuumnoi-prosochennjam-derev-janih.html> (дата звернення 11.10.2024).

26. Ще один спосіб модифікації деревини. *Деревинник* : веб-сайт. URL: <https://drevynnyk.com/shhe-odyn-sposib-modyfikacziyi-drevyny/> (дата звернення 11.12.2023).

27. Ясній П.В., Гомон С.С., Ясній В.П., Гомон П.С. Класична модель дійсної роботи суцільної та модифікованої деревини осьовим стиском вздовж волокон: монографія. Рівне: Вид-во Волинські обереги, 2023. 316 с.

28. Технології обробки деревини. *Tekhno.pro* : веб-сайт. URL: <https://tekhno.pro/action/items/tehnologiji-obrobki-drevini-63.html> (дата звернення 11.06.2024).

29. Модифікація деревини. *Stud* : веб-сайт. URL: https://stud.com.ua/74747/tehnika/modifikatsiya_drevini (дата звернення 11.06.2024).

30. Термосушка деревини. *Lestorg* : веб-сайт. URL: <https://lestorg.org.ua/ua/p641777673-uslugi-termoobrabotki-drevesiny.html> (дата звернення 16.04.2024).

31. Способи обробки деревини від гнилі. *WoodExpert* : веб-сайт. URL: <https://woodexpert.net.ua/sposoby-obrobky-derevyny-vid-gnyli-ta-vology-himichna-vakuumna-vypal-morinnya-pokryttya-voskom-prosochennya-gruntovky-ta-rizni-oliyi/> (дата звернення 10.05.2024).

32. Термодеревина: технологія, застосування, перспективи. *Деревинник* : веб-сайт. URL: <https://derevynnyk.com/termoderevyna-tehnologiya-zastosuvannya-perspektyvy/> (дата звернення 23.04.2024).

33. Arango R. A., Green F. III, Hintz K., Lebow P. K., Miller R. B. Natural durability of tropical and native woods against termite damage by *Reticulitermes flavipes* (Kollar). *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 2006. 57, 146–150. doi:10.1016/j.ibiod.2006.01.007.

34. Broda, M. Natural compounds for wood protection against fungi-a review. *Molecules.* 2020. Мшд. 25, 3538. doi: 10.3390/molecules251535.

35. Gascón-Garrido P., Oliver-Villanueva J.V., Ibiza-Palacios M.S., Militz H., Mai C., Adamopoulos S. Resistance of wood modified with different technologies against Mediterranean termites (*Reticulitermes* spp.). *Int Biodeterior Biodegrad.* 2013. Vol. 82. 13–16.

36. Van Acker J., Michon S., De Boever L., De Windt I., Van den Bulcke J., Van Swaay B., Stevens M. High quality thermal treatment using vacuum based technology to come to more homogeneous durability. *In: Proceedings of the Fifth European Conference on Wood Modification.* 2010. Riga, Latvia, pp. 107-114.

37. Теacă С-А., Роşу D., Mustaţa F., Rusu T., Роşу L., Роşса I., Varganici C-D. Natural bio-based products for wood coating and protection against degradation: A Review. *BioResources.* 2019. Vol. 14. 4873–901.

38. AQUALASUR ДЕРЕВОЗАХИСНИЙ АКРИЛОВИЙ ЗАСІБ З УФ-ФІЛЬТРОМ. *ТМ COLORINA* : веб-сайт. URL: <https://polycolor.ua/shop/lazur-aqualasur-tmcolorina> (дата звернення 10.11.2023).

39. Лазур для дерева Aura. *Lasur Aqua* : веб-сайт. URL: https://aura.if.ua/lakofarbovi-materiali/zashita-drevesiny/lazuri-na-vodnoj-osnove/lazur-lak-akrilovij-dlja-drevesini-aura-lasur-aqua-polisandr-9l.html?gclid=EAIaIQobChMIIm6rZqry5ggMVKotoCR0NPAADEAQYASABEGJM9PD_BwE (дата звернення 10.11.2023).

40. LIGNOFIX E-PROFI. *Prom* : веб-сайт. URL: <https://www.oakhouse.com.ua/product/propitka-dlya-derevini-dlya-vnutrishnix-robit-lignofix-e-profi-5-kg/> (дата звернення 10.11.2023).

41. Просочення (антисептик) TIKKURILA Valtti Pohjuste. *TIKKURILA* : веб-сайт. URL: https://epicentrk.ua/ua/shop/propitka-antiseptik-valtti-pohjuste-tikkurila-bestsvetnyy-2-7-1.html?gad_source=1&gclid=EAIaIQobChMI28PW9cC5ggMVyZHVCh0F1wgJEAQYAiABEGJsbfD_BwE (дата звернення 10.11.2023).

42. Ґрунт-підклад для деревини "BASE-GRUNT" (Глибоко консервуючий). *Bayris* : веб-сайт. URL: <https://www.bayris.ua/grunt-pidklad-dlya-derevyny-base-grunt-glyboko-konservuyuchy-101prod.html> (дата звернення 10.11.2023).

43. Пінчевська О.О., Головач В.М. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни: «Інноваційні технології з оброблення деревини». Київ: НУБіП України. 2021. 98 с.

44. Ялина європейська. *Wikipedia*: веб-сайт. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%AF%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D1%94%D0%B2%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%B5%D0%B9%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B0> (дата звернення 10.05.2024).

45. Ясен звичайний. *Wikipedia*: веб-сайт. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%AF%D1%81%D0%B5%D0%BD_%D0%B7%D0%B2%D0%B8%D1%87%D0%B0%D0%B9%D0%BD%D0%B8%D0%B9 (дата звернення 10.05.2024).

46. Пінчевська О.О., Спірочкін А.К. Технологія сушіння і захисту деревини. Частина 1. Навчальний посібник. Київ: НУБіП України, 2021. 232 с.

47. ДСТУ EN 13183-1:2004 Піломатеріали. Частина 1. Визначення вологості на зразку абсолютно сухим методом (EN 13183-1:2002, IDT).
48. Tuor U., Winterhalter K., Fiechter A. Enzymes of white - rot fungiinvolved in lignin degradation and ecological determinants for wood decay. *J.Biotechnol.* 1995. 41(1), 1-17. doi: 10.1016/0168-1656(95)00042-0.
49. Іванов С.О., Кравченко О.Л. Огляд сучасних методів захисту деревини від біопошкоджень. *Будівельні матеріали та вироби.* 2021. №4. С. 25-31.
50. Фарбопульт SATA jet 3000 В HVLP. *Premium-color* : веб-сайт. URL: <https://premium-color.com.ua/ua/p28410269-kraskopult-sata-jet.htm> (дата звернення 10.11.2024).
51. Коваленко В.І., Ляшенко В.О. Захист деревини та дерев'яних конструкцій. Київ: Агроосвіта, 2019. 312 с.