

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

ННІ Лісового і садово-паркового господарства

**ПОГОДЖЕНО
Директор ННІ**

Лісового і садово-паркового
господарства

_____ Роман ВАСИЛИШИН

«_____» _____ 2025р.

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувача кафедри**

Технологій та дизайну виробів з
деревини

_____ Андрій СПИРОЧКІН

«_____» _____ 2025р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему **Обґрунтування технології опорядження садових меблів на ТОВ
«Кирмакс»**

Спеціальність 187 – Деревообробні та меблеві технології
Освітня програма 187 – Деревообробні та меблеві технології
Орієнтація освітньої програми – Освітньо-професійна

Гарант освітньої програми _____ к.т.н., доц. Андрій СПИРОЧКІН

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

_____ ст.викладач, к.т.н. Наталія БУЙСЬКИХ

Виконав _____

Володимир МАКСИМЕНКО

Київ 2025

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

ННІ Лісового і садово-паркового господарства

**ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри**

Технологій та дизайну виробів з деревини

_____ Андрій СПІРОЧКІН

« _____ » _____ 2024р.

ЗАВДАННЯ

**до виконання магістерської кваліфікаційної роботи здобувачу
МАКСИМЕНКО Володимирі Сергійовичу**

Спеціальність 187 Деревообробні та меблеві технології

Освітня програма 187 Деревообробні та меблеві технології

Орієнтація освітньої програми – Освітньо-професійна

Тема магістерської роботи «Обґрунтування технології опорядження садових меблів на ТОВ «Кирмакс» затверджена наказом ректора НУБіП України від «5» 11 2024р. № 1978 «С».

Термін подання завершеної роботи на кафедру 14.11.2025р.

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи:

технічні характеристики лакофарбових матеріалів, нормативна документація, щодо випробування лакофарбових матеріалів, методичні вказівки, щодо проведення експериментальних досліджень та прийняття проектних рішень, інтернет джерела.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

Проаналізувати літературні джерела щодо напрямків дослідження сучасних захисних засобів для деревини, що піддається атмосферному впливу, проаналізувати технічні характеристики захисних лакофарбових матеріалів, розставити пріоритети, запропонувати підприємству матеріал екологічний і водночас стійкий до атмосферних впливів, провести експериментальні дослідження якості покриття на основі запропонованого лакофарбового матеріалу, зробити висновки.

Перелік графічного матеріалу (за потреби)

Дата видачі завдання « 10 » 11 _____ 2024р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи _____ Н.Буйських

Завдання прийняв до виконання _____ В.Максименко

РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота складається з чотирьох розділів, містить 19 рисунків і 32 таблиці. Робота викладена на 73 сторінках. Під час написання було використано 50 джерел інформації.

У вступі наведено мету досліджень, об'єкт та предмет. Також сформульовані задачі, що необхідно вирішити під час написання магістерської роботи.

Перший розділ присвячено аналізу літературних джерел. У розділі відмічено, що дослідження застосування лакофарбових матеріалів у наукових розробках іде в двох напрямках: розроблення нових матеріалів і вивчення їх властивостей та дослідження і порівняння фізико-механічних та якісних показників найбільш традиційних матеріалів та інших застосовуваних матеріалів для захисту деревини. Відмічено, що ряд показників, які забезпечують довговічність покриттів залежить від адгезії плівки до деревної підкладки, а із збільшенням товщини плівки адгезія покриттів знижується. Також дослідники відмітили, що важливим показником якості лакофарбових матеріалів є збереження підложкою або конструкційними елементами, на які наносяться ці матеріали – форми та розмірів.

Аналіз літературних джерел показав, що розроблення екологічних та біорозкладних покриттів із біомаси в даний час є провідним напрямом досліджень.

Також в першому розділі наведено аналіз ринку лакофарбових матеріалів України.

В другому розділі наведено технічні характеристики лакофарбових матеріалів. Для визначення лакофарбових матеріалів для подальшого дослідження був застосований метод аналізу ієрархій. Також наведений аналітичний огляд методів вирішення задач, а саме розглянутий метод прийняття проектних рішень. За цими методами зроблені розрахунки.

Третій розділ присвячено напрямам та методам дослідження. Описані методики визначення адгезії, водостійкості та твердості лакофарбових покриттів. Відмічено, що це з одних найважливіших показників, що впливають на якість та довговічність покриттів, а з ними і на термін експлуатації виробу.

У четвертому розділі наведено результати експериментальних досліджень. Обидва лакофарбові матеріали показали достатньо високу якість покриттів. Визначено, що покриття на основі Remmers НК Lasur мали кращу твердість (більшу на 14 %). За іншими показниками обидва лакофарбові покриття мали незначну відмінність, що свідчить про їх високу якість.

Зроблені висновки та дані рекомендації виробництву.

За підсумками проведеної роботи були опубліковані тези «Щодо застосування захисних складів для деревини», підготовлені в межах 79-ї Всеукраїнської науково-практичної студентської конференції «Науковий пошук молоді для сталого розвитку лісового комплексу та садово-паркового господарства».

Ключові слова: захист деревини, лакофарбові матеріали, адгезія, водостійкість, твердість покриття.

ЗМІСТ

Вступ	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАПРЯМІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ЛАКОФАРБОВИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ЗАХИСТУ ДЕРЕВИНИ	9
1.1. Аналіз літературних джерел	9
1.2. Аналіз ринку лакофарбових матеріалів України	19
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ОБГРУНТУВАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	23
2.1. Опис властивостей обраних матеріалів	23
2.2. Прийняття проектного рішення	27
2.3. Рішення багатокритеріальної задачі методом аналізу ієрархій	39
РОЗДІЛ 3. НАПРЯМИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	46
3.1. Методика дослідження адгезії	46
3.2. Методика дослідження водостійкості покриття	49
3.3. Визначення твердості лакофарбового покриття	50
РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ РЕЗУЛЬТАТИ	52
4.1. Характеристика підприємства	52
4.2. Підготовка зразків для дослідження	54
4.3. Результати визначення адгезії покриття	57
4.4. Результати визначення водостійкості покриття	58
4.5. Результати визначення твердості покриття	59
ВИСНОВКИ	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	65

ВСТУП

Сучасний розвиток деревообробної промисловості та дизайну малих архітектурних форм зумовлює потребу у створенні виробів, які не лише відповідають високим естетичним вимогам, але й мають тривалий термін експлуатації в умовах зовнішнього середовища. Садові меблі, як важлива складова благоустрою приватних і громадських просторів, постійно зазнають впливу вологи, ультрафіолетового випромінювання, перепадів температур, вітру та біологічних чинників. У зв'язку з цим особливої ваги набуває вибір ефективних лакофарбових матеріалів і технологій опорядження, які забезпечують довговічність, екологічну безпечність та привабливий зовнішній вигляд дерев'яних виробів.

Деревина традиційно є основним матеріалом для виготовлення садових меблів завдяки своїй природній красі, екологічності та зручності в обробці. Проте, перебуваючи під постійним впливом атмосферних факторів – сонячного випромінювання, вологи, температурних коливань, пилу та вітру – деревина без належного опорядження швидко втрачає міцність, тріскається, покривається грибком і цвіллю. Застосування лакофарбових покриттів створює на поверхні захисний шар, який запобігає передчасному руйнуванню матеріалу. Використання сучасних фарб, лаків і просочень дозволяє значно продовжити термін служби меблів, знизити витрати на їх ремонт чи заміну окремих елементів.

Крім захисної функції, лакофарбові матеріали підкреслюють природну текстуру деревини, надають їй виразності, кольорових відтінків і дозволяють гармонійно поєднувати садові меблі з ландшафтним дизайном. Багато сучасних опоряджувальних засобів виготовляються на водній основі, мають низький рівень летких сполук і відповідають екологічним стандартам, що робить їх безпечними для використання у побуті.

Своєчасне та якісне опорядження дерев'яних меблів сприяє економії ресурсів, зменшує потребу у відновленні чи купівлі нових виробів, забезпечуючи їхню довговічність і функціональність. Отже, дослідження властивостей і якості лакофарбових матеріалів для зовнішніх робіт є *актуальним* і має важливе практичне значення.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є обґрунтування технології опорядження садових меблів на ТОВ «Кирмакс».

Для досягнення цієї мети були визначені наступні *задачі*:

1. Зробити аналіз літературних джерел щодо напрямків дослідження лакофарбових покриттів для зовнішніх робіт.

2. Провести оцінку лакофарбових матеріалів, що застосовуються для захисту садових меблів «Методом експертних оцінок» та «Методом ієрархій», та визначитися з пріоритетними лакофарбовими матеріалами для подальшого дослідження.

3. Провести експериментальні дослідження з визначення якісних показників лакофарбових покриттів.

4. Зробити висновки та дати рекомендації виробництву.

Об'єкт дослідження – якісні показники лакофарбових матеріалів для зовнішніх робіт

Предмет дослідження – фізико-механічні показники лакофарбових матеріалів для зовнішніх робіт.

У процесі дослідження було застосовано комплекс методів, зокрема спостереження, порівняння, вимірювання, експериментальний метод та метод математичної статистики. Використання цих методів дало змогу ґрунтовно вивчити технічні характеристики лакофарбових матеріалів та їх фізико-механічні якості.

Проведені експериментальні дослідження засвідчили, що кожен лакофарбовий матеріал характеризується індивідуальною стійкістю до пошкоджень та зовнішніх впливів. На основі отриманих даних було здійснено порівняльний аналіз, який дозволив визначити найбільш якісні та ефективні

види лаків для практичного використання. У магістерській роботі вперше систематизовано та проаналізовано комплексні показники впливу лакофарбових матеріалів різного хімічного складу, а саме Pinotex Fence LASUR та Rem-mers hk lasur, на довговічність і декоративність садових меблів із деревини в умовах зовнішнього середовища, та стійкість виробів до атмосферних факторів.

Результати дослідження можуть бути використані при розробленні технологічних карт опорядження садових меблів і зовнішніх дерев'яних конструкцій. Отримані експериментальні дані дозволяють підприємствам деревообробної промисловості обґрунтовано обирати лакофарбові матеріали залежно від умов експлуатації виробів.

Запропоновані рекомендації сприяють підвищенню довговічності та декоративності дерев'яних меблів, зниженню витрат на ремонт і технічне обслуговування, а також впровадженню екологічно орієнтованих технологій у виробництво.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАПРЯМІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ЛАКОФАРБОВИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ЗАХИСТУ ДЕРЕВИНИ

1.1 Аналіз літературних джерел

Деревина є одним із головних матеріалів, що використовуються у будівництві споруд, оздобленні житлових приміщень, а також у виготовленні меблів, предметів інтер'єру та різноманітних виробів. Натуральна деревина вважається екологічно безпечним матеріалом, адже вона «дихає» та має низьку теплопровідність. Водночас цей матеріал має певні недоліки – зокрема анізотропність і гігроскопічність, які спричиняють нерівномірне набрякання, деформацію та розтріскування виробів під час експлуатації. Це особливо актуально для виробів що експлуатуються в жорстких умовах і піддаються впливу УФ-випромінювання, опадів та зміни температури. Саме тому виникає потреба у додатковій захисній обробці. Тривалість служби дерев'яних конструкцій та оздоблювальних поверхонь значною мірою залежить від якості та правильності нанесення спеціальних захисних лакофарбових матеріалів.

Створення покриттів, стійких до атмосферних впливів, передбачає не лише забезпечення захисту від негативних чинників довкілля та відповідних декоративних властивостей, але й гарантію безпеки під час виробництва та подальшої експлуатації продукції.

Останніми роками виробники лакофарбових матеріалів запропонували низку екологічно безпечних і довговічних опоряджувальних засобів, які можна застосовувати для деревини, що використовується у відкритих атмосферних умовах. Нині у сфері опорядження дерев'яних виробів зростає зацікавленість підприємців у застосуванні матеріалів на основі олій та восків, що виступають альтернативою алкідним, поліуретановим і поліакриловим лакофарбовим покриттям [1]. Дослідження застосування олій та восків у наукових розробках іде в двох напрямках: розроблення нових матеріалів на основі олій та восків і вивчення їх властивостей та дослідження і порівняння

фізико-механічних та якісних показників найбільш традиційних матеріалів на основі олій та інших застосовуваних матеріалів для захисту деревини.

Дослідженню якісних показників лакофарбових матеріалів на основі олій та восків приділено велику увагу. Розглядалися такі основні властивості як товщина покриття, твердість, стійкість до дії УФ-випромінювання. Також захисні властивості олійних лакофарбових матеріалів та лакофарбових матеріалів що містять воски, порівнювалися з органорозчинними, що застосовуються для опорядження виробів, що піддаються атмосферному впливу. Так за дослідженнями [1] встановлено, що алкідні лакофарбові матеріали утворюють покриття більшої товщини при однакових витратах лакофарбового матеріалу, та швидше висихають. Виявлено, що олійні композиції глибше проникають у деревні підкладки, а відповідно утворюють більш стійке адгезійне покриття, яке має вищу стійкість плівки при експлуатації у підвищених атмосферних умовах. Також відмічено, що твердість покриттів на основі алкідних матеріалів у двічі вища, у порівнянні із твердістю олійних плівок, такі плівки мають кращі декоративні властивості.

Відомо, що ряд фізико-механічних показників залежать від товщини плівки захисно-декоративного покриття. Тому при виборі ЛФМ для створення покриттів, важливо визначити товщину покриття. Автором [2] було встановлено, що поліуретанові ЛФМ утворюють товщину плівки вищу у порівнянні з олійними та восковими і термін висихання їх коротший удвічі. Ряд показників, які забезпечують довговічність покриттів залежить від адгезії плівки до деревної підкладки. Було встановлено, що при збільшенні товщини плівки адгезія покриттів знижується. Адгезія олійних покриттів є вищою, на відміну від покриттів на основі поліуретанових ЛФМ. Відомо, що олійні матеріали глибоко проникають у пори деревини, збільшуючи площу контакту. Встановлено, що поліуретанові ЛФМ утворюють товщину плівки вищу, ніж олійні покриття, проте олійні лакофарбові матеріали показали високу адгезію.

Така ж тенденція була відмічена [3, 4].

В даний час, найбільш вивченими для промислового використання є лляна, соєва та соняшникова олії. У той же час інші види олій були вивчені не так детально. У дослідженні [5] було досліджено можливість використання бавовняної олії для розробки біосировини УФ-затверджуваної полімерної смоли. Оскільки склад жирних кислот бавовняної олії сильно відрізняється від соєвої олії, продукти з цієї олії можуть бути корисні в різних областях застосування. Поєднання бавовняної олії як сировини та ультрафіолетового (УФ) процесу як технологія затвердіння, представлене в цій роботі, забезпечує альтернативне «екологічне» вирішення проблем, з якими стикається промисловість. Акрилатно-епоксидована бавовняна олія (АЕСО) була синтезована шляхом епоксидування бавовняної олії пероцтовою кислотою з подальшим акрилуванням епоксидованої олії акриловою кислотою. Ця полімерна смола потім використовувалася як основний компонент в рецептурах і була перетворена на шпиту мережу шляхом фотополімеризації. Для досягнення бажаних механічних властивостей плівок на основі рослинної олії в рецептурі окремо додавалися два реактивні розріджувачі: 1,6-гександіолдіакрилат і триметилпропантріакрилат у різних вагових співвідношеннях. Були оцінені властивості покриттів, а також їх термічна та механічна стабільність. Крім того, шляхом порівняння смоли АЕСО з існуючим комерційно доступним продуктом була оцінена можливість промислового застосування АЕСО. Загалом результати свідчать про підвищену гнучкість матеріалів на основі АЕСО в порівнянні з матеріалами нафтового походження, що вигідно для багатьох сфер застосування, включаючи, крім іншого, дерев'яні підкладки, друковану електроніку та паперову продукцію. Дослідження дійшло висновку, що функціоналізовані смоли, отримані з бавовняної олії, можуть стати конкурентоспроможною та стійкою альтернативою, здатною задовольнити швидке зростання використання біоматеріалів, що затверджуються УФ-випромінюванням.

Швидкість затвердіння оліфи і інших широко вживаних олій досліджувалися дослідниками (Armingier, B., Jaxel, J., Bacher, M., 2020) [6].

Оліфа забезпечує вишукані оздоблювальні покриття на біологічній основі для виробів з деревини, але їхнє застосування обмежене тривалою полімеризацією. Дослідження та промислові розробки утруднені відсутністю наукових методів, що дозволяють відстежувати хід полімеризації олій, нанесених на деревину. Досліджували поведінку лляної олії, тунгової олії та їх суміші 1:1 при висиханні як з додаванням сикативу, так і без нього. Рідкі зразки показали більш швидку полімеризацію в основному сполученої та високоненасиченої тунгової олії, ніж некон'югованої лляної олії. Повторні вимірювання кута змочування водою масляних оздоблювальних покриттів, нанесених на деревину бука та дубу, показали чіткі відмінності у змочуваності. Тунгова олія забезпечувала гідрофобність всім зразкам деревини незабаром після нанесення, навіть при використанні без сикативу. Лляна олія вимагала більш тривалого часу сушіння і була більш сприйнятливою до впливу субстрату, але зрештою досягала найвищих кутів змочування при використанні сикативу. Крім того, ми спостерігали зв'язок між часом сушіння та стабільністю кута змочування. Як новий і простий інструмент для характеристики процесу висихання нанесених масляних покриттів було запропоновано розрахунок коефіцієнта зменшення контактного кута, який враховує як початковий контактний кут з водою, так і його стабільність протягом часу вимірювання

Використання відновлюваних ресурсів та їх похідних забезпечує «зелений» підхід до синтезу УФ-затверджуваної сировини і має безліч переваг, таких як захист навколишнього середовища та енергозбереження [7].

Лляна олія стала гарячою точкою досліджень через її високий вміст подвійних зв'язків та біорозкладність. У цьому дослідженні діетиловий ефір трифториду бору був використаний як каталізатор для успішного введення акрилової кислоти в подвійний зв'язок довгого ланцюга лляної олії. Таким чином, УФ-затверділі акрилатні преполімери лляної олії (ALO) були отримані в одну стадію. Характеристики $^1\text{H NMR}$ та FT-IR використовували для підтвердження успішного отримання ALO. В'язкість ALO була виміряна за

допомогою реологічного тесту, і вона дорівнювала 803 мПа·с, що вказує на те, що преполімери мають хороші технологічні властивості. Також було запропоновано механізм синтезу ALO, що каталізується діетиловим ефіром бору трифториду. Крім того, були отримані різні види УФ-затверділих плівок шляхом змішування ALO з поліуретанакрилатною смолою (PUA-2665), триметилпропантріакрилатом (ТМРТА) та фотоініціатором (PI-1173). Термостійкість затверділих плівок досліджувалась методом термогравіметричного аналізу (ТГА), динамічні механічні властивості – методом динамічного механічного аналізу (ДМА), а механічні властивості – методом випробування розтягування. Було виявлено, що збільшення вмісту ТМРТА сприяє підвищенню щільності зшивки, що призводить до поліпшення термостабільності, пружності модуля і міцності на розрив затверділих плівок. Крім того, вони демонструють чудову твердість, міцну адгезію та виняткову водостійкість (стійкість до розчинників) на поверхні деревини. Таким чином, дане дослідження пропонує новий одностадійний підхід до синтезу УФ-затверділих матеріалів з рослинних олій, а отримані вискоелективні плівки мають широкий потенціал застосування.

Важливим показником якості лакофарбових матеріалів є збереження підложкою або конструкційними елементами, на які носяться ці матеріали – форми та розмірів. Так, дослідження стійкості геометричних розмірів модифікованої деревини під дією вологи дало можливість оцінити ефективність процесу модифікації (просочення) і як наслідок оцінити термін використання. В дослідженнях були використані зразки з соснового бруса (ДСТУ ISO 738:2018) розміром 300x70x5 мм [8]. Для проведення досліджень були вибрані три групи зразків з радіальним (Р), тангенціальним (Т) та змішаним (З) напрямом волокон деревини. Для модифікації просоченням використовували лляну олію та сикатив в концентрації 25 г/л. У відповідності до технології модифікації зразки замочували у водному розчині з сикативом, далі занурювали в лляну олію нагріту до 130 ± 10 °С, а потім занурювали в лляну олію при температурі 20 °С. Отримані зразки висушували в

атмосферних умовах і для дослідження стійкості геометричних розмірів замочували у воді протягом доби. В результаті досліджень встановлено, що оптимальною температурою нагрівання зразків є діапазон 120–140 °С. Також встановлено, що найбільш стійкими до зміни геометричних розмірів є зразки зі змішаним напрямом волокон (З), в яких зміни розмірів склали 0,5 % у порівнянні з сухими зразками. Незалежно від напрямку волокон, вологопоглинання модифікованих зразків становило 0,07 об. %, що становить великий практичний інтерес і дозволяє оцінити терміни використання [9].

Вак Miklós (2025) [10] досліджував комбінований метод модифікації, що включав термічну модифікацію та просочення воском. Перевага цього методу полягає в тому, що обидва етапи модифікації виконуються за один етап. Досліджувалися два види деревини: бук (*Fagus sylvatica*) та сосна звичайна (*Pinus sylvestris*). Було протестовано вплив обробок на поглинання воску, втрату маси, щільність, рівноважний вміст вологи, набухання, крайовий кут змочування водою, властивості міцності і довговічність. Завдяки синергетичному ефекту комбінованої модифікації вдалося значно покращити розмірну стабільність та знизити гігроскопічність та рівноважний вміст вологи, при цьому анізотропія набухання не змінилася. Було доведено, що поглинання воску при цьому методі залежить від температури обробки, що призводить до значного збільшення щільності. Обробка також призвела до помітної зміни кольору. Міцність на вигин не постраждала від комбінованої обробки, тоді як ударна в'язкість, міцність на стиск та твердість за Брінеллем покращилися. Висока довговічність спостерігалася після комбінованої модифікації, що свідчить про те, що нижчі температури обробки є достатніми для ефективного захисту деревини.

Необхідно відмітити, що розроблення екологічних та біорозкладних покриттів із біомаси в даний час є провідним напрямом досліджень. Натуральний віск, гідрофобний матеріал, що відновлюється, широко використовується в покриттях на основі деревини завдяки своїй унікальній тактильній і візуальній привабливості. Однак його низька міцність і схильність

до розм'якшення та деформації є суттєвими обмеженнями в практичному застосуванні. Щоб вирішити цю проблему, зберігаючи при цьому екологічність покриттів, дослідники вводять біорозкладаючі полімери, наноксиди, наноглини та інші армуючі матеріали в натуральний віск для створення композитних покриттів, прагнучи покращити їх властивості та надати їм різні функціональні можливості.

Натуральний віск, природна гідрофобна речовина, видобувається чи очищається безпосередньо з біологічних чи геологічних джерел. Він відноситься до категорій відновлюваних джерел, включаючи воски рослинного та тваринного походження, та невідновлюваних джерел, таких як мінеральні воски [11]. Мінеральні воски поділяються на парафіновий віск, мікрокристалічні воски, монтан, лігніт, озокерит, церезин, юта, торф. Рослинні воски поділяються на восковницю, канделільську, карнаубську, бавовняну, еспарто, ялицеву, японську, урикуру, пальмову, рисову олію, цукрову тростину, укухуба, какао-масло. Тварини воску поділяються на бджолиний віск, китайський, шеллак, спермацет, вовняний віск.

Натуральний віск складається з висококристалічних компонентів з унікальною хімічною стабільністю, гідрофобністю та пластичністю. Його хімічний склад складається з довголанцюгових поліненасичених та мононенасичених ефірів, жирних кислот та ангідридів, а також коротколанцюгових вуглеводнів (приблизно 29–33 атоми вуглецю в ланцюгу) та смол, таких як тритерпени [12].

Деревні матеріали включають широкий спектр виробів, таких як масив деревини, фанера, папір та їх похідні. Ці матеріали характеризуються наявністю безлічі деревних волокон, що мають такі властивості, як шорсткість, пористість, гідрофільність, адсорбційна здатність та хімічна активність. Притаманна цим композитним матеріалам гігроскопічність та пористість дозволяють їм легко вбирати вологу з навколишнього повітря, що впливає на їх функціональні характеристики, естетичну привабливість та біологічну довговічність [13, 14].

Тому дослідження в галузі поверхневих покриттів є ключовим напрямом у галузі вивчення деревних матеріалів. Зі зростанням уваги до захисту навколишнього середовища розробка нових екологічних та високоефективних покриттів для деревних матеріалів стала актуальним напрямом досліджень [15].

У цьому спектрі натуральні воски виділяються завдяки своїм винятковим якостям, таким як унікальна тактильна чутливість, здатність зберігати природний зовнішній вигляд і колір деревини, простота нанесення та ремонту, проникність для регулювання внутрішньої вологості, а також їх нетоксичність та екологічність. Ці характеристики роблять натуральні воски кращим вибором для покращення та захисту якості виробів з деревини. Механізм зв'язування на межі розділу композитного воскового покриття та деревного матеріалу можна поділити на фізичну адсорбцію та хімічний зв'язок. Поверхня деревного матеріалу попередньо обробляється підвищення її шорсткості і адгезії. Активні функціональні групи, введені в композитне воскове покриття, є містком, з'єднуючи полярні групи на поверхні деревини з восковим покриттям, утворюючи водневі зв'язки або різні типи хімічних зв'язків, наприклад, ковалентні. [16].

Обмежена міцність і стабільність натуральних воскових покриттів може бути обумовлена їхньою незшитою молекулярною структурою та відсутністю полярних груп, що ускладнює їх застосування. Дослідники ввели до складу воскових покриттів наповнювачі, що підсилюють, такі як різні типи наноматеріалів. Включення цих підсилюючих наповнювачів не тільки підвищує міцність та стабільність покриттів, але й розширює їх функціональні властивості, роблячи їх придатними для застосування в більш жорстких умовах [16].

Натуральний віск вважається екологічно чистим матеріалом, що ідеально підходить для створення супергідрофобних поверхонь [17].

Попередні дослідження встановили тісний зв'язок між хімічним складом воску та його гідрофобними властивостями. Як правило, присутність довших

молекул алканів і довголанцюгових спиртів посилює гідрофобність воску. Віски з більш високим вмістом жирних кислот демонструють дещо меншу гідрофобність у порівнянні з восками, що складаються виключно з алканів.

Віск, як природний гідрофобний матеріал, широко застосовується у виробництві покриттів завдяки своїм унікальним перевагам, таким як екологічність, нетоксичність, простота виробництва, можливість великомасштабного виробництва, а також економічна ефективність та доступність. Серед різних областей застосування найбільш поширені дерев'яні матеріали (дерев'яні плити, папір тощо). Композитні покриття на основі воску можуть ефективно покращити гідрофільність, шорсткість і зносостійкість поверхонь, що торкаються деревних матеріалів [18].

Оскільки натуральні воски мають обмеження застосування то для них застосовуються механізми оптимізації характеристик покриттів на основі натурального воску. Для подальшого поліпшення водонепроникності, механічної міцності, термостійкості, стійкості до УФ-випромінювання, антибактеріальних та антиоксидантних властивостей цих покриттів застосовуються різні методи модифікації, включаючи додавання олій, що висихають (наприклад, лляної і тунгової), нанопоповнювачів (таких як наноксиди, наноглиноматеріали і наноглини), сикативів.

В останні роки лаки УФ затвердіння стали гарячою точкою досліджень у лакофарбовій промисловості та одним із напрямків розвитку в області покриттів для деревини. УФ-затверджені покриття для деревини володіють такими перевагами, як захист навколишнього середовища, енергозбереження і висока ефективність. Щоб впоратися з поточною ситуацією безперервного споживання викопної сировини та забрудненням навколишнього середовища, виготовлення УФ-затверджених покриттів для деревини з використанням відновлених і дешевих матеріалів із біомаси привернуло широку увагу дослідників. Як відомо, виробництво поліуретану вимагає більшої кількості нафтової сировини, тому з'явився поліуретан на біологічній основі. Рослинне масло є біорозчинним недорогим ресурсом біомаси, який може частково

замінити поліольний компонент у поліуретановому компоненті та знизити залежність від нафтових ресурсів.

Li L., Shan, Naoran S., Xiaoke J. (2022) [19] досліджували УФ-затверджувані поліуретанові покриття для деревини на водній основі (WPU) на основі тунгового масла, що було отримано з використанням модифікованого поліолу на основі тунгового масла (TOP) замість поліолу на основі нафти. Для характеристики емульсій і плівок WPU в даній роботі використовувалися інфрачервона спектроскопія з перетворенням Фур'є (FT-IR), ультрафіолетовий спектр, розмір частинок, аналіз кута контакту, термогравіметрія/динамічний термічний аналіз (TG-DTG) і механічні властивості. Результати показали, що при вмісті TOP 42,5 % механічні властивості плівки були найкращі. Міцність на розрив складала $(1,38 \pm 0,13)$ МПа, подовження при розриві складала $(179,32 \pm 4,05)$ %, а модуль пружності склав $(31,28 \pm 3,17)$ МПа. При вмісті 2,2-дигідроксиметилпропіонової кислоти 3 % можна отримати мутну дисперсію WPU. Діаметр емульсії склав 287,9 нм, кут контакту з водою склав $(75,89 \pm 0,91)^\circ$, водопоглинання складало 2,98 %, а водостійкість була гарною. Твердість, сила адгезії, блиск, шорсткість і витрати при стиранні склали 4Н, Рівень 1, $10,24^\circ$, 1,66 мкм і 0,003 г на 100 об. відповідно. Твердість, сила адгезії та матеріали при випробуванні виготовленого WPU відповідають стандартам випробувань GB / T 6739-2006 «Фарби і лаки. Визначення твердості плівки за методом олівця», GB / T 4893.4 - 2013 «Випробування фізико-хімічних властивостей плівки для поверхонь меблів. Частина 4. Визначення адгезії методом поперечного надрізування» и GB / T 4893. 8 - 2013 «Випробування фізико-хімічних властивостей плівок для опорядження поверхні меблів. Частина 8. Визначення зносостійкості». УФ-затверджувані водно-дисперсійні поліуретанові покриття для деревини на основі тунгового масла, отримані цим методом, мають широкі перспективи застосування.

Таким чином, підсумовуючи огляд літературних джерел, щодо напрямків дослідження лакофарбових матеріалів та покриттів на їх основі,

можна сказати, що наукова думка розвивається в двох напрямках: удосконалення існуючих лакофарбових матеріалів та пошук нових, екологічно безпечних, які б задовольняли сучасним вимогам.

1.2. Аналіз ринку лакофарбових матеріалів України

Сьогодні український ринок лакофарбових матеріалів вирізняється широким асортиментом продукції. Покупець має змогу обирати товар за видом чи типом, ціновою категорією, країною виробника та рівнем якості. Водночас простежується тенденція зміни співвідношення між продукцією на основі органічних розчинників та водно-дисперсійними лакофарбовими матеріалами [20].

Дослідження структури споживання лакофарбових матеріалів у натуральному вимірі (тонах) засвідчило, що основну частку ринку – близько 70 % – займають декоративні ЛФМ, тоді як промислові становлять лише 30 %. До групи декоративних належать ремонтно-будівельні матеріали для роздрібної торгівлі, продукція для корпоративних клієнтів, а також ЛФМ універсального призначення. Розвиток промисловості створює для споживачів широкий вибір у придбанні таких матеріалів. Варто підкреслити, що лакофарбова продукція є одним із економічно успішних секторів в Україні, що підтверджується співвідношенням імпортних і вітчизняних виробів на внутрішньому ринку даного сегмента.

У 2020 році, порівняно з 2019-м, імпортна продукція зберігала провідні позиції в більшості сегментів хімічного ринку. Лише у двох напрямках – виробництві лакофарбових матеріалів та виробів із пластмас – вітчизняні товари посіли провідні позиції, забезпечивши відповідно 46 % та 51 % ринку. В інших сегментах частка української продукції коливалася в межах від 37 % до 7 %.

В Україні близько 15 компаній зосереджують найбільшу частку ринку лакофарбових матеріалів. За інформацією ДП «Черкаський НДІТЕХІМ», у хімічній промисловості протягом 2010–2020 рр. спостерігалися істотні

коливання обсягів інвестицій в основний капітал. Найвищий рівень фінансування було зафіксовано у 2010 році – 690 млн дол. США, а найнижчий – у 2015 році, коли він становив лише 121 млн дол. США. Динаміка капітальних інвестицій у хімічну галузь відображала подібні тенденції: у 2020 році обсяг склав 1951,3 млн грн, що дорівнює лише 74% від рівня 2019 року [21]. Водночас ринок фасадних водно-дисперсійних фарб у 2021 році досягнув 790,8 млн грн у грошовому вираженні, що на 16,1% перевищує показник попереднього року (681,3 млн грн).

У 2021 році акрилові фарби забезпечили близько 60 % грошових продажів у сегменті фасадних фарб. Обсяг цього ринку досяг 521,2 млн грн, що на 12,8 % перевищує показник 2020 року (462,2 млн грн) [22]. За оцінками експертів, структура споживання ЛФМ характеризується тим, що 70 % припадає на матеріали на органічній основі, тоді як водно-дисперсійні складають 30 %. Водночас секторальна структура внутрішнього ринку хімічної продукції у 2023 році істотно змінилася порівняно з попереднім роком. Імпортні товари перестали домінувати в більшості сегментів хімічного ринку. Якщо у 2020 році лише у двох сегментах – лакофарбових матеріалів і виробів із пластмас – українська продукція займала провідні позиції (відповідно 46 % та 51 %), то вже у 2022 році через суттєве скорочення імпорту ринок здебільшого контролює саме вітчизняне виробництво [23].

Якщо говорити щодо споживання лакофарбових матеріалів, то у 2022 воно скоротилося на 55 %. В той же час, необхідно відмітити, що у 2023 році було помітно відновлення на 23-45 %, в основному у сегменті декоративних лакофарбових матеріалів [24].

За інформацією Держкомстату, нині в Україні працює понад 200 виробників лакофарбової продукції, проте близько 70 % від загального обсягу випускають лише близько двох десятків компаній. До числа лідерів входять «Снежка Україна», «Мефферт Ганза Фарбен» (ТМ «Dufa», ТМ «МГФ»), «ЗІП» (ТМ «Зебра», «Тріора», «Мальва»), «Тіккуріла Україна» (ТМ «Колорит»), «Капарол Дніпро» (ТМ «Альпіна»), «Фейдаль УА» (ТМ «Фейдаль»),

«Полісан» (ТМ «Полісан»), приватне підприємство Олейников (ТМ Smile) та інші [25]. Серед іноземних виробників на українському ринку найбільш відомими є Caparol, Tikkurila, Akzo Nobel, Remmers, Johnstones та Teknos. У 2010 році понад 85 % загальнонаціонального виробництва водних лакофарбових матеріалів забезпечили такі підприємства, як «Снежка Україна», українсько-німецьке СП «Мефферт Ганза Фарбен» (м. Дніпропетровськ), «Поліфарб», ТОВ «Тіккуріла», «ЗІП», «Капарол Дніпро» та «Елакс».

В Україну лакофарбові матеріали постачаються більш ніж із 30 країн. Структура імпорту органорозчинних та водно-дисперсійних ЛФМ суттєво відрізняється. У 2019 – 2021 рр. загальні обсяги ввезення зросли на 18 % та 16 % відповідно. Однак у 2022 році, порівняно з 2021, імпорт скоротився на 46,4 %, а у 2023р. – ще на 20 % відносно аналогічного періоду попереднього року. Таким чином, хоча імпорт ЛФМ на органічній основі й перевищує обсяги імпорту водно-дисперсійних матеріалів, простежується стійка тенденція до скорочення поставок обох категорій.

У період повномасштабного вторгнення росії в Україну лакофарбова промисловість зазнала суттєвого спаду. Частина підприємств втратила виробничі потужності внаслідок руйнувань від обстрілів чи окупації територій. Додатковими чинниками кризи стали розриви логістичних ланцюгів постачання сировини та збуту продукції, втрата готових виробів і запасів на складах компаній та торговельних мереж, а також вихід з українського ринку низки європейських виробників. Усе це призвело до тимчасових зупинок виробництва та загального падіння галузі.

Військові дії внесли свої корективи у виробництво та споживання лакофарбової продукції. Наразі Україна зосереджена на задоволенні потреб внутрішнього ринку, виробляючи фарби дешевого сегменту. Продукція більш високої якості імпортується.

Підсумовуючи, можна сказати, що український ринок лакофарбових матеріалів суттєво залежить від стану галузей споживання, що працюють в

сегменті декоративних ЛФМ. Оскільки основним фактором розвитку буде відновлення будівельної галузі та початок відбудови країни, то саме ці процеси визначатимуть динаміку попиту на лакофарбову продукцію. У міру активізації будівництва житлових, інфраструктурних та промислових об'єктів зростатиме потреба у різних видах ЛФМ – від масового сегмента до спеціалізованих покриттів із підвищеними захисними та декоративними властивостями. Це створюватиме умови для розширення виробництва, впровадження інноваційних технологій і поступового зменшення залежності від імпорту продукції вищого цінового сегмента.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ОБГРУНТУВАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Опис властивостей обраних матеріалів

Лакофарбові матеріали – це не просто суміш пігментів і розчинників. Вони є інструментом, який дозволяє трансформувати світ навколо себе, надаючи предметам нове життя і захищаючи їх від руйнівного впливу навколишнього середовища. Від найдавніших печерних розписів до сучасних високотехнологічних покриттів, лакофарбові матеріали супроводжують нас на всьому шляху розвитку людства.

Історія використання лакофарбових матеріалів сягає глибини століть. Перші люди використовували природні пігменти та жири для створення наскальних малюнків. З розвитком цивілізацій асортимент і складність фарб значно зросли. Мистецтво живопису, декоративно-ужиткове мистецтво, будівництво – всі ці сфери не можуть обійтися без використання лакофарбових матеріалів.

Сьогодні лакофарбова промисловість пропонує широкий вибір продукції, яка відрізняється за своїм складом, призначенням і властивостями. Олійні, акрилові, емалеві фарби, лаки, ґрунтовки – кожен вид матеріалу має свої особливості і підходить для вирішення певних завдань.

Садові меблі – це не просто предмети інтер'єру, це своєрідні острови затишку посеред природи. Вони перетворюють наш сад або терасу на місце для відпочинку, спілкування та насолоди свіжим повітрям. Вибір садових меблів – це мистецтво, яке поєднує в собі функціональність, естетику та довговічність.

Історично садові меблі були простими і функціональними. З розвитком суспільства та зростанням вимог до комфорту, садові меблі стали більш різноманітними за формою, матеріалами та дизайном. Садові меблі – це невід'ємна частина будь-якого присадибної ділянки. Вони служать не лише для відпочинку, а й є важливим елементом ландшафтного дизайну. Щоб садові меблі довго зберігали свій привабливий зовнішній вигляд і служили вірою і

правдою, необхідно правильно підібрати лакофарбові матеріали для їх обробки.

Для дослідження були обрані найбільш популярні лакофарбові матеріали, що застосовуються для захисту садових меблів.

1. Pinotex (terrace & wood oil) (рис.2.1) – атмосферостійка олія для захисту терас і садових меблів. Легко наноситься, повністю вбирається в поверхню та підкреслює природну красу деревини, роблячи її більш виразною за текстурою. Не утворює помітної плівки і зберігає відчуття натурального дерева. Оброблена поверхня залишається паропроникною і деревина продовжує «дихати», тим самим забезпечується профілактичний захист проти синяви та плісняви. Також містить віск, що надає посилені водовідштовхувальні властивості.



Рис. 2.1. Pinotex (terrace & wood oil) [26]

2. Osmo terrassen (рис.2.2) – олія для терас та садових меблів на основі натуральних рослинних олій (соняшникова, соєва, осотова) та воски (карнаубовий та канделіловий), парафін, пігменти. Сикативи (осушувачі), водовідштовхувальні присадки. Підходить для порід як з екзотичних, так і європейських порід деревини. Олії для модрини, дуглазії, бангкірай і термодеревини надають додатковий захист від УФ-променів. Не тріскаються,

не лущаться, не відшаровуються. Для оновлення поверхні просто нанесіть новий шар олії для деревини поверх старого (без шліфування), ґрунтовка не потрібна.



Рис. 2.2. Osmo terrassen [27]

3. Pinotex Fence LASUR (рис.2.3) – призначений для декоративного оздоблення деревини. Містить віск для надання поверхні найкращих водовідштовхувальних властивостей. Містить активні речовини, що перешкоджають розповсюдженню плісняви та водоростей на поверхні, обробленій. Виділяє природну текстуру деревини. Має незначний запах і швидко сохне. Добре вбирається та легко наноситься на поверхню.



Рис. 1.3. Pinotex Fence LASUR [28]

4. Polifarb деревозахист impregnat (рис.2.4) – це високоякісне алкідне просочення для деревини, що призначене для декоративного фарбування виробів з деревини. Завдяки вмісту ефективних біоцидів, просочення практично запобігає розвитку грибка та цвілі. Надає колір і вид цінних порід деревини зі збереженням характерного малюнка. Просочення має хорошу здатність проникати, що забезпечує глибокий захист в товщі оброблюваних матеріалів.



Рис. 2.4. Polifarb деревозахист impregnat [29]

5. Remmers hk lasur (рис.2.5) – деревозахисна, декоративна лазур, що містить розчинник, для зовнішніх робіт з найсучаснішою комбінацією діючих речовин. Підходить для всіх видів деревини, що знаходиться на вулиці, без контакту з ґрунтом (для воріт, парканів, фасадів, облицювання, навісів, альтанок тощо). Має 6-кратний захист від синяви, гнилі, водоростей, грибків, комах, ультрафіолету. Не тріскається, не відшаровується. Глибоко проникає в структуру деревини. Відштовхує воду і регулює вологість дерева. Можливе перефарбування без видалення або шліфування.



Рис. 2.5. Remmers hk lasur [30]

Вибір ЛФМ проведено з розрахунком на певні критерії. З усього ринку ЛФМ обрано п'ять вищенаведених та описаних лакофарбових матеріалів. Вони мають гарні властивості та характеристики за доступну ціну і ідеально можуть підійти для поставлених цілей.

2.2 Прийняття проектного рішення

З розглянутих у попередньому розділі характеристик, було вибрано 5 властивостей для кожного з 5 ЛФМ для порівняння та встановлення пріоритетів, які перенесено до табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Перелік і характеристики ЛФМ

Назва ЛФМ	Норма витрати, гр./м ²	Час висихання, год	Сухий залишок, %	Температура нанесення, °С	Вартість, грн/л
Pinotex (terrace & wood oil)	90	12	38	19	590
Osmo terrassen	50	10	50	5	1600
Pinotex Fence LASUR	100	12-24	12	18	680
Polifarb деревозахист impregnat	90	16	20	17,5	280
Remmers hk	200	12	40	5	580

Аналогічним чином складено матриці бінарних відношень для порівняння іншого обладнання за обраними характеристиками.

Таблиця 2.2

Матриця порівняння обладнання за нормою витрат

		X1	X2	X3	X4	X5	К	W
		90	50	100	90	225		
X1	90	=	>	<	=	<	4,50	0,74
X2	50	<	=	<	<	<		
X3	100	>	>	=	>	<		
X4	90	=	>	<	=	<		
X5	225	>	>	>	>	=		

Показник норми витрат для лакофарбових матеріалів вказує на кількість матеріалу, необхідну для покриття певної площі. Низьке значення норми витрат зазвичай є кращим, оскільки означає, що для покриття одиниці площі потрібно менше матеріалу.

Числові оцінки використовують для кількісної оцінки характеристик, які надали експерти для кожної характеристики. За формулою (2.1), розраховують значення K_j , щоб встановити різницю між найкращим і найгіршим показником. Потім розраховують коефіцієнт ω_j , за формулою (2.2):

Метод дозволяє 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 обладнання за часом висихання

		X1	X2	X3	X4	X5	К	W
		12	10	10	16	12		
X1	12	=	>	>	<	=	1,60	0,33
X2	10	<	=	=	<	<		

X3	10	<	=	=	<	<		
X4	16	>	>	>	=	>		
X5	12	=	>	>	<	=		

Показник часу висихання для лакофарбових матеріалів вказує на те, скільки часу потрібно для того, щоб матеріал повністю висох після нанесення. Нижче значення часу висихання зазвичай вважається кращим, оскільки дозволяє швидше завершити процес фарбування і перейти до наступних етапів роботи або експлуатації пофарбованої поверхні.

Таблиця 2.4

Матриця порівняння обладнання за сухим залишком

		X1	X2	X3	X4	X5	К	W
		38	50	12	20	40		
X1	38	=	<	>	>	<	4,17	0,71
X2	50	>	=	>	>	>		
X3	12	<	<	=	<	<		
X4	20	<	<	>	=	<		
X5	40	>	<	>	>	=		

Показник відсотку сухого залишку для лакофарбових матеріалів (ЛФМ) вказує на кількість твердих речовин, що залишаються після повного висихання або затвердіння матеріалу. Для захисту садових меблів краще обирати ЛФМ з більшим сухим залишком, оскільки це дозволяє отримати більш товсте і міцне покриття

Таблиця 2.5

Матриця порівняння обладнання за температурою нанесення

		X1	X2	X3	X4	X5	К	W
		19	5	18	17,5	5		
X1	19	=	>	>	>	>	3,80	0,68
X2	5	<	=	<	<	=		

X3	18	<	>	=	>	>		
X4	17,5	<	>	<	=	>		
X5	5	<	=	<	<	=		

Показник температури нанесення для лакофарбових матеріалів (ЛФМ) вказує на діапазон температур, в яких матеріал може бути ефективно нанесений і висохнути з досягненням бажаних властивостей покриття. Зазвичай надають більший пріоритет з найменшим значенням часу висихання. Але, важливо знаходити баланс між швидкістю використання та ефективністю захисту.

Таблиця 2.6

Матриця порівняння обладнання за вартістю

		X1	X2	X3	X4	X5	К	W
		590	1600	350	280	870		
X1	590	=	<	>	>	<	5,71	0,80
X2	1600	>	=	>	>	>		
X3	350	<	<	=	>	<		
X4	280	<	<	<	=	<		
X5	870	>	<	>	>	=		

Однією з не менш важливим характеристик є вартість ЛФМ. Зазвичай більший пріоритет надають ЛФМ з меншою вартістю, але потрібно знаходити баланс між ціна - якість.

Щоб встановити пріоритет кожного ЛФМ за кожною характеристикою P_{ij} і пріоритет показника P_j , використовують поняття потужності критерію L -го порядку $P(L)$, яке обчислюють по рядках за формулами [31]:

Перша ітерація:

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

$$P_j(1) = \sum_{i=1}^n a_{ij}, \quad (2.6)$$

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

Друга ітерація:

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

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

Третя ітерація:

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

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

Результати розрахунків занесено в табл. 2.7.

Аналогічно розраховано та заповнено табл. 2.8 - 2.11.

Таблиця 2.7

Матриця суміжності для порівняння матеріалів за нормою витрат

		X1	X2	X3	X4	X5	К	W	P _{i1}	P _{i1} *	P _{i2}	P _{i2} *	P _{i3}	P _{i3} *
		90	50	100	90	225								
X1	90	1,00	1,74	0,26	1,00	0,26	4,50	0,74	4,26	0,17	15,82	0,15	62,36	0,15
X2	50	0,26	1,00	0,26	0,26	0,26			2,04	0,08	8,01	0,08	33,02	0,08
X3	100	1,74	1,74	1,00	1,74	0,26			6,48	0,26	26,92	0,26	105,71	0,25
X4	90	1,00	1,74	0,26	1,00	0,26			4,26	0,17	15,82	0,15	62,36	0,15
X5	225	1,74	1,74	1,74	1,74	1,00			7,96	0,32	37,61	0,36	153,46	0,37
Σ									25,00	1,00	104,19	1,00	416,91	1,00

Таблиця 2.8

Матриця суміжності для порівняння матеріалів за часом висихання

		X1	X2	X3	X4	X5	К	W	P _{i1}	P _{i1} *	P _{i2}	P _{i2} *	P _{i3}	P _{i3} *
		12	10	10	16	12								
X1	12	1,00	1,33	1,33	0,67	1,00	1,60	0,33	5,33	0,21	25,56	0,21	123,60	0,21
X2	10	0,67	1,00	1,00	0,67	0,67			4,01	0,16	19,40	0,16	93,93	0,16
X3	10	0,67	1,00	1,00	0,67	0,67			4,01	0,16	19,40	0,16	93,93	0,16
X4	16	1,33	1,33	1,33	1,00	1,33			6,32	0,25	31,16	0,26	150,75	0,26
X5	12	1,00	1,33	1,33	0,67	1,00			5,33	0,21	25,56	0,21	123,60	0,21
Σ									25,00	1,00	121,08	1,00	585,80	1,00

Таблиця 2.9

Матриця суміжності для порівняння матеріалів за сухим залишком

		X1	X2	X3	X4	X5	К	W	P _{i1}	P _{i1*}	P _{i2}	P _{i2*}	P _{i3}	P _{i3*}
		38	50	12	20	40								
X1	38	1,00	0,29	1,71	1,71	0,29	4,17	0,71	5,00	0,20	18,95	0,18	74,59	0,18
X2	50	1,71	1,00	1,71	1,71	1,71			7,84	0,31	37,18	0,35	152,87	0,36
X3	12	0,29	0,29	1,00	0,29	0,29			2,16	0,09	8,78	0,08	36,64	0,09
X4	20	0,29	0,29	1,71	1,00	0,29			3,58	0,14	12,86	0,12	52,01	0,12
X5	40	1,71	0,29	1,71	1,71	1,00			6,42	0,26	27,06	0,26	107,26	0,25
Σ									25,00	1,00	104,84	1,00	423,36	1,00

Таблиця 2.10

Матриця суміжності для порівняння матеріалів за температурою нанесення

		X1	X2	X3	X4	X5	К	W	P _{i1}	P _{i1*}	P _{i2}	P _{i2*}	P _{i3}	P _{i3*}
		19	5	18	17,5	5								
X1	19	1,00	1,68	1,68	1,68	1,68	3,80	0,68	7,72	0,31	36,75	0,34	155,49	0,35
X2	5	0,32	1,00	0,32	0,32	1,00			2,96	0,12	12,03	0,11	50,73	0,11
X3	18	0,32	1,68	1,00	1,68	1,68			6,36	0,25	27,18	0,25	112,02	0,25
X4	17,5	0,32	1,68	0,32	1,00	1,68			5,00	0,20	19,45	0,18	80,31	0,18
X5	5	0,32	1,00	0,32	0,32	1,00			2,96	0,12	12,03	0,11	50,73	0,11
Σ									25,00	1,00	107,43	1,00	449,29	1,00

Таблиця 2.11

Матриця суміжності для порівняння матеріалів за вартістю

		X1	X2	X3	X4	X5	K	W	P _{i1}	P _{i1} *	P _{i2}	P _{i2} *	P _{i3}	P _{i3} *
		590	1600	350	280	870								
X1	590	1,00	0,20	1,80	1,80	0,20	5,71	0,80	5,00	0,20	17,32	0,17	61,00	0,17
X2	1600	1,80	1,00	1,80	1,80	1,80			8,20	0,33	38,44	0,39	148,17	0,40
X3	350	0,20	0,20	1,00	1,80	0,20			3,40	0,14	10,60	0,11	38,66	0,10
X4	280	0,20	0,20	0,20	1,00	0,20			1,80	0,07	6,44	0,06	25,03	0,07
X5	870	1,80	0,20	1,80	1,80	1,00			6,60	0,26	26,60	0,27	96,14	0,26
Σ									25,00	1,00	99,40	1,00	369,00	1,00

Таблиця 2.12

Результати експертної оцінки пріоритетів показників

Кількість експертів	Норма витрати, гр./м ²			Час висихання, год			Сухий залишок, %			Температура нанесення, °С			Вартість, грн/л		
	X _i	X _{сеп} -X _i	(X _{сеп} -X _i) ²	X _i	X _{сеп} -X _i	(X _{сеп} -X _i) ²	X _i	X _{сеп} -X _i	(X _{сеп} -X _i) ²	X _i	X _{сеп} -X _i	(X _{сеп} -X _i) ²	X _i	X _{сеп} -X _i	(X _{сеп} -X _i) ²
1	2	0,14	0,02	2	0,71	0,51	2	0,43	0,18	2	0,57	0,33	4	-1,571	2,4694
2	1	1,14	1,31	3	-0,29	0,08	2	0,43	0,18	2	0,57	0,33	1	1,4286	2,0408
3	2	0,14	0,02	3	-0,29	0,08	2	0,43	0,18	5	-2,43	5,90	4	-1,571	2,4694
4	3	-0,86	0,73	1	1,71	2,94	2	0,43	0,18	2	0,57	0,33	1	1,4286	2,0408
5	1	1,14	1,31	3	-0,29	0,08	2	0,43	0,18	2	0,57	0,33	1	1,4286	2,0408
6	2	0,14	0,02	2	0,71	0,51	2	0,43	0,18	2	0,57	0,33	4	-1,571	2,4694
7	4	-1,86	3,45	5	-2,29	5,22	5	-2,57	6,61	3	-0,43	0,18	2	0,4286	0,1837
Середнє значення балу	2,14			2,71			2,43			2,57			2,43		
Середнє квадратичне відхилення	1,07			1,25			1,13			1,13			1,51		
Коефіцієнт варіації / 100%	0,50			0,46			0,47			0,44			0,62		
	K _{експ.1}		0,50	K _{експ.2}		0,54	K _{експ.3}		0,53	K _{експ.4}		0,56	K _{експ.5}		0,38
Загальний коефіцієнт погодження експертів	0,50														

За формулами (2.1 - 2.2) ми обчислюють середнє значення \bar{x}_{ij} та середнє квадратичне відхилення S_{ij} по кожному ряду відповідей (табл. 2.10) [31]:

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

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

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

m – кількість експертів.

Розраховують коефіцієнт варіації V_{ij} за формулою [31]:

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

Загальний коефіцієнт погодження експертів визначають за формулами [31]:

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

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

де: n – кількість характеристик в анкеті;

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

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
		2,14	2,71	2,43	2,57	2,43		
Y1	2,14	=	<	<	<	<	1,27	0,22
Y2	2,71	>	=	>	>	>		
Y3	2,43	>	<	=	<	=		

Y4	2,57	>	<	>	=	>		
Y5	2,43	>	<	=	<	=		

Співвідношення між об'єктами виражено математичними символами.

Використовують формулу (2.1), щоб визначити, у скільки разів кращий об'єкт відрізняється від найгіршого. Далі знаходять коефіцієнт ω_j , за формулою (2.2). Суміжні члени матриць визначено за формулами (2.3 - 2.4). Замінюють математичні символи значеннями α_{ij} . Після цього складено матрицю суміжності для порівняння показників в (табл. 2.14).

Таблиця 2.14

Матриця суміжності для порівняння показників, що характеризують обладнання

		Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	K	W	P _{i1}	P _{i1} *	P _{i2}	P _{i2} *
		2,14	2,71	2,43	2,57	2,43						
Y1	2,14	1,00	0,78	0,78	0,78	0,78	1,27	0,22	4,12	0,16	20,41	0,17
Y2	2,71	1,22	1,00	1,22	1,22	1,22			5,88	0,24	29,21	0,24
Y3	2,43	1,22	0,78	1,00	0,78	1,00			4,78	0,19	23,42	0,19
Y4	2,57	1,22	0,78	1,22	1,00	1,22			5,44	0,22	26,72	0,22
Y5	2,43	1,22	0,78	1,00	0,78	1,00			4,78	0,19	23,42	0,19
Σ									25,00	1,00	123,16	1,00

Розрахунок аналогічний до попередніх таблиць за формулами (2.7 - 2.11). За отриманими результатами побудовано загальну матрицю для обчислення комплексного пріоритету (табл. 2.15).

Таблиця 2.15

Підсумкова матриця

Назва ЛФМ	Пріоритет ЛФМ по одиничних показниках					Пріоритет показника		Комплексний пріоритет ЛФМ
	1	2	3	4	5	номер	значення	
Pinotex (terrace & wood oil)	0,15	0,21	0,18	0,35	0,17	3	0,17	0,21
Osmo terrassen	0,08	0,16	0,36	0,11	0,40	2	0,24	0,22
Pinotex Fence LASUR	0,25	0,16	0,09	0,25	0,10	4	0,19	0,17
Polifarb	0,15	0,26	0,12	0,18	0,07	5	0,22	0,16

деревозахист impregnat								
Remmers hk lasur	0,37	0,21	0,25	0,11	0,26	1	0,19	0,23

За результатами розрахунків найбільший пріоритет має ЛФМ Remmers hk lasur, з показником 0,23. Даний матеріал буде рекомендовано для використання в поставленій меті, а саме опорядження садових меблів.

2.3. Рішення багатокритеріальної задачі методом аналізу ієрархій

Для вирішення завдання необхідні наступні дані:

Мета: вибір кращого матеріалу.

Кількість альтернатив – 5.

Кількість критеріїв – 5.

Позначено альтернативи та критерії скороченими назвами:

№	Критерії
Кр1	Витрати
Кр2	Час висихання
Кр3	Сухий залишок
Кр4	Температура нанесення
Кр5	Вартість

№	Альтернативи
A1	Pinotex (terrace & wood oil)
A2	Osmo terrassen
A3	Pinotex Fence LASUR
A4	Polifarb деревозахист impregnat
A5	Remmers hk lasur

Щоб обрати найкраще обладнання створено та заповнено матрицю парних порівнянь (МПП) (табл. 2.16) за критеріями, що відповідають меті.

Розраховують значення середнього геометричного значення елементів матриці за формулою [31]:

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

де: i – номер рядка матриці;

s – кількість елементів в s -му рядку матриці;

$$a_{i1} = w_1/w_1; a_{i2} = w_2/w_2; \dots; a_{is} = w_s/w_s.$$

Обчислюють значення ЛПр для першого рядка за формулою [31]:

$$ЛПр_1 = \frac{[(w_1/w_1) \cdot (w_2/w_2) \cdot \dots \cdot (w_n/w_n)]^{\frac{1}{s}}}{(G_1 + G_2 + \dots + G_n)}, \quad (2.18)$$

Розрахунок ЛПр для інших рядків виконується аналогічним чином.

Перевіряють чи чіткі та консистентні експертні оцінки в матрицях парних порівнянь. Використано дві важливі характеристики: індекс узгодженості (CI) і відношення узгодженості (CR), які знаходять за формулами [31]:

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

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

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 максимальне власне число МПП - λ_{max} , його також позначають як L_{am} .

Результати розрахунків занесено в табл. 2.17.

За допомогою цього методу розраховано та заповнено табл. 2.18 – 2.19.

Таблиця 2.18

Матриця МПІ критеріїв відносно мети

	Назва	Кр1	Кр2	Кр3	Кр4	Кр5	G	ЛПр1
Кр1	Витрати	1	1,14	1,60	1,33	0,89	1,167	0,229
Кр2	Час висихання	0,88	1	1,40	1,17	0,78	1,021	0,200
Кр3	Сухий залишок	0,63	0,71	1	0,83	0,56	0,730	0,143
Кр4	Температура нанесення	0,75	0,86	1,20	1	0,67	0,875	0,171
Кр5	Вартість	1,13	1,29	1,80	1,50	1	1,313	0,257
Сума							5,107	1,00

Показники: $N=5$; $\lambda_{\max}=5,432$; $CI=0,108$; $CR=0,097$

Найбільше значення ЛПр=0,257

Таблиця 2.19

Матриця МПІ альтернатив по відношенню до витрати

	Назва	A1	A2	A3	A4	A5	G	ЛПр2
A1	Pinotex (terrace & wood oil)	1	0,78	1,17	0,88	1,75	1,068	0,206
A2	Osmo terrassen	1,29	1	1,50	1,13	2,25	1,373	0,265
A3	Pinotex Fence LASUR	0,86	0,67	1	0,75	1,50	0,915	0,176
A4	Polifarb деревозахист impregnat	1,14	0,89	1,33	1	2,00	1,221	0,235
A5	Remmers hk lasur	0,57	0,44	0,67	0,50	1	0,610	0,118
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 час висихання

	Назва	A1	A2	A3	A4	A5	G	ЛПр3
A1	Pinotex (terrace & wood oil)	1	0,75	0,67	1,20	0,86	0,875	0,171
A2	Osmo terrassen	1,33	1	0,89	1,60	1,14	1,167	0,229
A3	Pinotex Fence LASUR	1,50	1,13	1	1,80	1,29	1,313	0,257
A4	Polifarb деревозахист impregnat	0,83	0,63	0,56	1	0,71	0,730	0,143
A5	Remmers hk lasur	1,17	0,88	0,78	1,40	1	1,021	0,200
Сума							5,107	1,00

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

Найбільше значення ЛПр=0,257

Таблиця 2.21

Матриця МПП альтернатив по відношенню до критерію сухий залишок

	Назва	A1	A2	A3	A4	A5	G	ЛПр4
A1	Pinotex (terrace & wood oil)	1	1,40	0,78	0,88	1,17	1,021	0,200
A2	Osmo terrassen	0,71	1	0,56	0,63	0,83	0,730	0,143
A3	Pinotex Fence LASUR	1,29	1,80	1	1,13	1,50	1,313	0,257
A4	Polifarb деревозахист impregnat	1,14	1,60	0,89	1	1,33	1,167	0,229
A5	Remmers hk lasur	0,86	1,20	0,67	0,75	1	0,875	0,171
Сума							5,107	1,00

Показники: $N=5$; $\lambda_{\text{am}}=5,432$; $CI=0,108$; $CR=0,097$

Найбільше значення $ЛПр=0,257$

Таблиця 2.22

Матриця МПП альтернатив по відношенню до критерію температура нанесення

	Назва	A1	A2	A3	A4	A5	G	ЛПр5
A1	Pinotex (terrace & wood oil)	1	0,63	0,83	0,71	0,56	0,730	0,143
A2	Osmo terrassen	1,60	1	1,33	1,14	0,89	1,167	0,229
A3	Pinotex Fence LASUR	1,20	0,75	1	0,86	0,67	0,875	0,171
A4	Polifarb деревозахист impregnat	1,40	0,88	1,17	1	0,78	1,021	0,200
A5	Remmers hk lasur	1,80	1,13	1,50	1,29	1	1,313	0,257
Сума							5,107	1,00

Показники: $N=5$; $\lambda_{\text{am}}=5,432$; $CI=0,108$; $CR=0,097$

Найбільше значення $ЛПр=0,257$

Таблиця 2.23

Матриця МПП альтернатив по відношенню до критерію вартість

	Назва	A1	A2	A3	A4	A5	G	ЛПр6
A1	Pinotex (terrace & wood oil)	1	1,75	0,88	0,78	1,17	1,068	0,206
A2	Osmo terrassen	0,57	1	0,50	0,44	0,67	0,610	0,118
A3	Pinotex Fence LASUR	1,14	2,00	1	0,89	1,33	1,221	0,235
A4	Polifarb деревозахист impregnat	1,29	2,25	1,13	1	1,50	1,373	0,265
A5	Remmers hk lasur	0,86	1,50	0,75	0,67	1	0,915	0,176
Сума							5,187	1,00

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

Найбільше значення $ЛПр=0,265$

Побудовано матрицю пріоритетів критеріїв відносно мети та альтернатив відносно кожного з критеріїв (табл. 2.24).

Таблиця 2.24

Матриця пріоритетів критеріїв відносно мети та альтернатив відносно кожного з критеріїв

	Назва	ПрКр	A1 Pinotex (terrace & wood oil)	A2 Osmo terrassen	A3 Pinotex Fence LASUR	A4 Polifarb дерезозахист impregnat	A5 Remmers hk lasur
Кр1	Витрати	0,229	0,206	0,265	0,176	0,235	0,118
Кр2	Час висихання	0,200	0,171	0,229	0,257	0,143	0,200
Кр3	Сухий залишок	0,143	0,200	0,143	0,257	0,229	0,171
Кр4	Температура нанесення	0,171	0,143	0,229	0,171	0,200	0,257
Кр5	Вартість	0,257	0,206	0,118	0,235	0,265	0,176

Обчислено значення глобального пріоритету ГлПр. Значення ГлПр для рядка A1 визначають шляхом додавання добутоків значень стовпця «ПрКр» (табл. 2.24) на значення у стовпці «A1». Так само визначають значення ГлПр для всіх інших рядків [31]. Отримані дані занесено у табл. 2.25

Таблиця 2.25

Глобальні пріоритети альтернатив

	Назва	ГлПр
1	Pinotex (terrace & wood oil)	0,187
2	Osmo terrassen	0,196
3	Pinotex Fence LASUR	0,218

4	Polifarb деревозахист impregnat	0,217
5	Remmers hk lasur	0,181

З табл. 2.25 Альтернатива А3 (Pinotex Fence LASUR) має найбільше значення глобального пріоритету – 0,218 і є найкращим рішенням для досягнення поставленої мети. – опорядження садових меблів.

За результатами розрахунків визначено які ЛФМ слід використовувати для поставленої мети – опорядження садових меблів. За першим методом розрахунків «Метод експертних оцінок», найкращим ЛФМ є Remmers hk lasur. За другим методом розрахунків «Метод ієрархій», найкращим ЛФМ вийшов Pinotex Fence LASUR. На практиці потрібно порівняти ці два ЛФМ, щоб встановити який є кращим для поставленої мети.

РОЗДІЛ 3. НАПРЯМИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження якісних показників лакофарбових матеріалів і плівок на їх основі має важливе значення. Під час дослідження можна вирішити наступні задачі:

Оцінити захисну ефективність покриття та його здатність запобігати руйнуванню деревини під дією вологи, сонячного випромінювання, біологічних шкідників та інших чинників.

Визначити експлуатаційну довговічність матеріалу, тобто час збереження декоративних і захисних властивостей у реальних умовах використання.

Перевірити відповідність стандартам і нормативним вимогам, що гарантує безпечність і якість продукції.

Забезпечити декоративно-естетичні властивості, важливі для інтер'єрних та екстер'єрних робіт (колір, блиск, текстура).

Порівняти різні види ЛФМ для вибору оптимального матеріалу залежно від умов експлуатації та вимог замовника.

Сприяти вдосконаленню технологій виробництва, розробці нових, більш екологічних і функціональних матеріалів.

Найчастіше проводяться наступні випробування: адгезія, твердість, вологостійкість, стійкість до дії хімічних реагентів

3.1. Методика дослідження адгезії

Одним з найважливіших показників якості та довговічності покриття є адгезія.

Адгезія від (лат. *adhaesio* – прилипання, зчеплення) – зчеплення прилипання, злипання) приведених в контакт різнорідних твердих або рідких

фаз; комплекс явищ, які здатні утворити зв'язки між матеріалами, що склеюються. Може бути обумовлена як міжмолекулярними взаємодіями, так і хімічними зв'язками [32].

Методи визначення адгезії поділяються на руйнівні та не руйнівні. Також необхідно відмітити, що всі методи визначення адгезії стандартизовано.

Самим популярним і простим є метод решітчастих надрізувань, що виконується за ДСТУ ISO 2409:2019 [33].

Метод передбачає нанесення на покриття ряду паралельних надрізів різальним інструментом із заданою відстанню між ними, після чого зразок повертають на 90° та виконують другу серію перехресних надрізів. Далі проводять візуальне визначення характеру пошкоджень та оцінюють результати випробування.

Надрізи виконуються спеціальним ручним пристроєм із закріпленими лезами; окремі моделі такого інструменту оснащені «плаваючою» головкою, що дозволяє компенсувати нерівності поверхні зразка (рис.3.1).



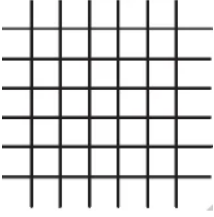
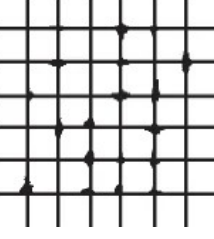
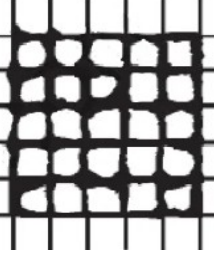

Рис.3.1. Ручний прилад для надрізів [34]

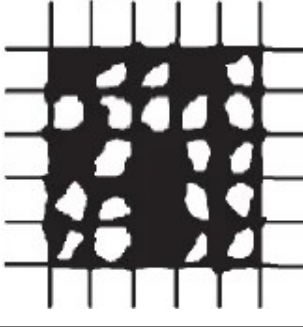
Кількість ріжучих кромки може коливатися від 6 до 11. Залежно від товщини покриття відстань між лезами встановлюють 1, 2 або 3 мм. Для товщини покриття до 60 мкм – 1 мм; для товщини покриття 61-120 мкм - 2 мм, для товщини покриття 121-250 мкм – 3 мм. Після нанесення надрізів наклеюють липку стрічку (скотч) і різким рухом відривають. Пензлем

очищують область надрізів і оцінку результатів проводять згідно стандарту ISO 2409 за 6 бальною системою (табл.3.1).

Таблиця 3.1.

Оцінка адгезії методом решітчастих надрізувань [34].

Оцінка в балах	Опис поверхні лакофарбового покриття після нанесення надрізів у вигляді решітки	Вигляд поверхні
0	Краї розрізів абсолютно гладкі; жоден із квадратів решітки не відокремився.	
1	Відшарування дрібних лусочок покриття у місцях перетину зрізів. Торкається площа поперечного перерізу трохи більше 5 %.	
2	Покриття відшарувалося по краях та/або в місцях перетину розрізів. Площа поперечного перерізу понад 5%, але не більше 15%.	
3	Покриття частково або повністю відшарувалося по краях розрізів великими стрічками та/або частково або повністю відшарувалося на різних частинах квадратів. Площа поперечного перерізу понад 15%, але не більше ніж 35%.	

4	Покриття відшарувалося по краях розрізів великими стрічками і деякі квадрати частково або повністю відірвалися. Площа поперечного перерізу понад 35%, але не більше 65%.	
5	Будь-який ступінь відшаровування, який неможливо віднести навіть до категорії 4.	

Для звичайних вимірювань, як правило, проводиться одне випробування, для точніших результатів необхідно провести кілька випробувань (3-5). Розріз покриття робиться до підкладки, залишаючи на ній подряпину або проникаючи на невелику глибину. Метод решітчастих надрізів підходить для випробувань як у лабораторіях, так і його можна використовувати в виробничих умовах.

Ще один популярний методи випробування адгезії - випробування на відрив. Він вимагає спеціального обладнання. Також від застосовується до лакофарбових покриттів, що мають плівку. В нашому випадку, матеріали, що застосовуються, відносяться до класу просочуючих, що мають тонку плівку. То ж цей метод не дасть точних результатів.

Використання ДСТУ ISO 2409 для визначення адгезії покриттів забезпечує комплексний контроль якості, що дозволяє виробникам підтверджувати відповідність продукції встановленим нормам та підвищувати її конкурентні переваги на ринку.

3.2. Методика дослідження водостійкості покриття

Водостійкість лакофарбового матеріалу, яке наноситься на виріб, що експлуатується назовні і піддається дії вологи, дуже важливий показник. Дослідження проводили за ДСТУ EN 927-5:2015 [35].

Водостійкість лакофарбового покриття – це його здатність витримувати тривалий вплив води (прісної або морської) без зміни своїх захисних та декоративних властивостей, таких як набухання, проникність та кольоростійкість. Ця характеристика залежить від товщини покриття та зниження розчинності плівки, а також від якості самого матеріалу та технології нанесення [36].

Дослідження на водостійкість проводяться наступним чином.

Перед випробуванням, зразки, розміром менше 90 x 120 мм, на які було нанесено лакофарбовий матеріал, витримують за температури $20 \pm 2 \text{ C}^0$ терміном не менше 5 діб [37].

Зразок встановлюють горизонтально, щоб вода не стікала, та наносять дистильовану воду по 10-15 крапель. Щоб вода швидко не випаровувалася, місце випробування закривають скляними бюксами. Залежно від технічних умов та завдань, що ставляться до покриття, його оглядають та відмічають зміни, що в ньому відбулися. Випробування можна проводити терміном від 20 хвилин до декількох діб. Після випробування фільтрувальним папером видаляють надлишки води і ретельно оглядають поверхню на наявність пошкоджень. Зміни блиску, пошкодження цілісності та інші дефекти порівнюють з ділянкою, на якій не випробувалася (контрольною).

3.3. Визначення твердості лакофарбового покриття

Твердість – одна з найважливіших фізико-механічних характеристик лакофарбового покриття, що дає уяву про його когезійну міцність, ступінь висихання та можливість експлуатації виробу у різних умовах. Недостатня твердість призводить до втрати захисних та декоративних функцій покриття в процесі експлуатації виробів [38-41].

Для визначення твердості зразків був застосований прилад твердомір Novotest ТШ-А [42]. Цей прилад призначений для визначення твердості за Shore (рис. 3.2., а, б). Твердість цим приладом визначалася наступним чином:

зразки встановлювалися на тверду нерухому поверхню, прилад включався натисканням на клавішу «ON». Прилад встановлюють на випробуваний зразок на відстані не менше ніж 12 мм від його краю та плавно натискають до упору. Показники фіксують за шкалою приладу, після чого проводять щонайменше п'ять вимірювань у різних точках, дотримуючись відстані не менше 6 мм між ними (для пористих матеріалів – не менше 15 мм).

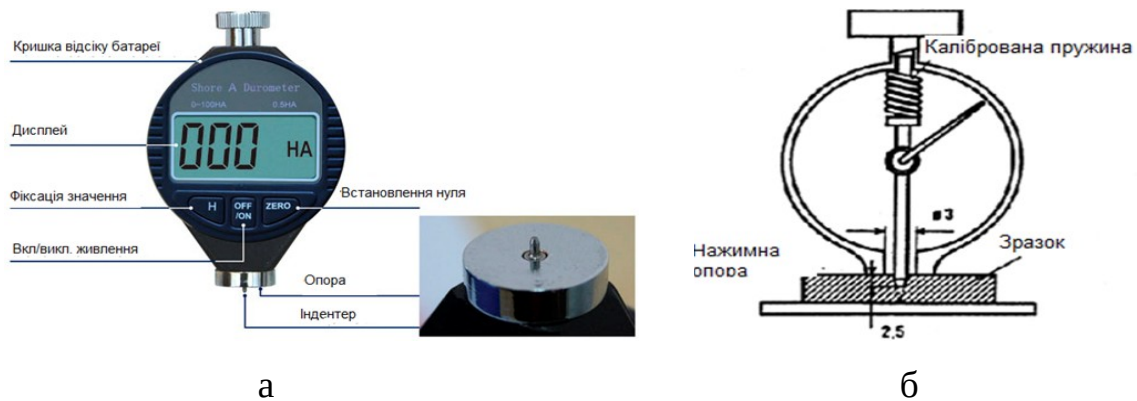


Рис. 3.2. Твердомір Novotest ТШ-А: а - конструкція, б - схема роботи [42]

Під час випробування нажимну опору намагалися встановлювати як в ранній деревині, так і в пізній, оскільки будова деревини, а саме різна щільність річних шарів у сосни, суттєво може вплинути на показники твердості.

Аналізуючи напрями та методи дослідження якості лакофарбових покриттів необхідно відмітити велику кількість цих методів, які стосуються самих різних показників. Ці методи випробувань дають змогу комплексно оцінити експлуатаційні, захисні та декоративні властивості лакофарбових матеріалів, встановити їхню відповідність нормативним вимогам і умовам

експлуатації, а також забезпечити обґрунтований вибір оптимальних лакофарбових систем для захисту та опорядження деревини.

РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ РЕЗУЛЬТАТИ

4.1. Характеристика підприємства

Підприємства ТОВ «Кирмакс» спеціалізується на виготовленні та обробці дерев'яних деталей для меблів, меблів на замовлення та садових меблів. Виробничі операції виконуються на непоганому обладнанні, яке дозволяє отримати високу якість та точність оброблення (рис.4.1).



Рис.4.1. Деревообробний цех підприємства

Для високоточних операцій з розкрою деревних плитних матеріалів та масивної деревини на підприємстві використовується форматно-розкрійний верстат «SCM сі 300n» (рис.4.2). Процес розкрою вимагає ретельної підготовки – налаштування напрямних лінійок, правильного закріплення матеріалу, вибору оптимального режиму подачі. Він забезпечує високу якість різку та придатність заготовки для опорядження.



Рис.4.2. Форматно-розкрійний верстат «SCM si 300n»

Точність товщини деталей та усунення початкових нерівностей після розкрою проводиться на шліфувальному верстаті.

На підприємству є малярна дільниця та дільниця для змішування лакофарбових матеріалів (рис.4.3).

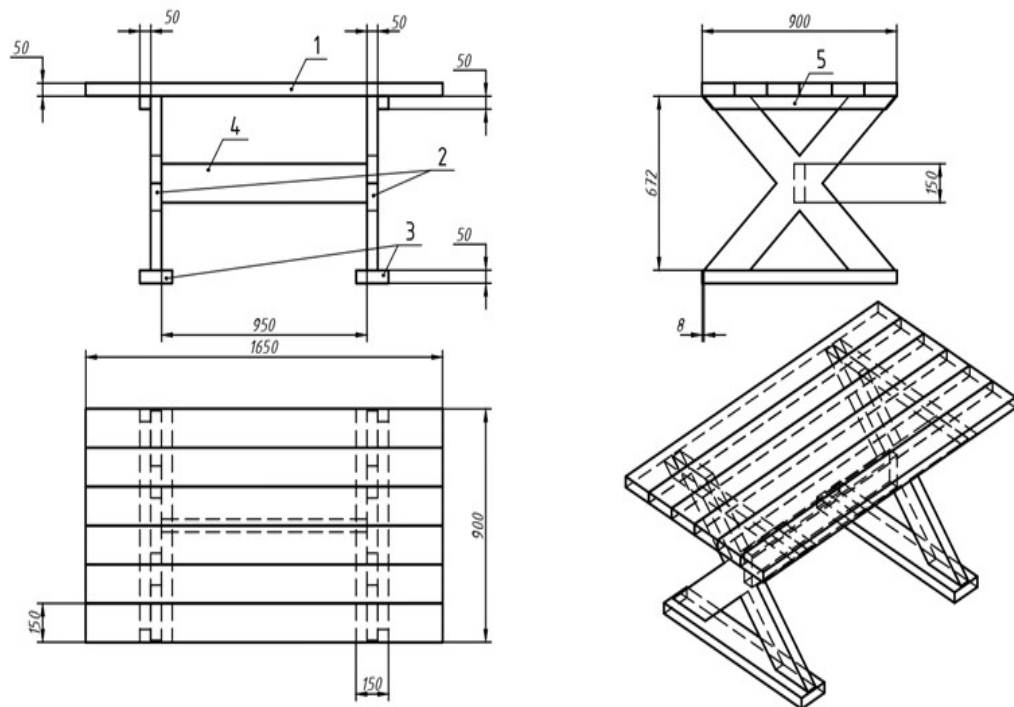


Рис.4.3. Дільниця змішування лакофарбових матеріалів

Таким чином, можна сказати, що підприємство має всі виробничі потужності, щоб випускати високоякісну продукцію.

4.2. Підготовка зразків для дослідження

Для дослідження якості лакофарбових покриттів був обраний садовий стіл (рис.4.4).



а



б

Рис.4.4. Садовий стіл «Нора»: а – креслення, б – готовий виріб

На підприємстві для опорядження садових меблів використовують лінійку лакофарбових матеріалів «Pinotex». За методом експертних оцінок, найкращим лакофарбовим матеріалом був визначений Remmers hk lasur. Порівняння технічних характеристик цих матеріалів наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

**Порівняння технічних характеристик досліджуваних
лакофарбових матеріалів**

Назва лаку	Сухий залишок, %	Час висихання, год	Кількість нанесень	Розчинник	Витрати г/м ²	Ціна, грн/л	Гарантія покриття, рік
Pinotex Fence LASUR	12	12-24	2	вода	100	680	5
Remmers hk lasur	40	12	2	вода	200	580	6

Як видно з таблиці, за технічними характеристиками обидва матеріали знаходяться на приблизно однаковому рівні, оскільки забезпечують необхідні експлуатаційні властивості. Водночас, окремі показники, такі як сухий залишок та час висихання відрізняються.

Для випробування фізико-механічних показників лакофарбових матеріалів на форматно-розкрійному верстаті була виготовлено серію однакових заготовок з деревини сосни. Далі вони були відкалібровані та відшліфовані для отримання ідеально рівної поверхні. Після підготовки матеріалу заготовки були розділені на дві групи, на які наносилися різні лакофарбові покриття (рис.4.5). Перша група була оброблена засобом «Remmers НК Lasur», що поєднує захисні та декоративні властивості, надійно захищає деревину від вологи, ультрафіолетового випромінювання та біологічних пошкоджень.

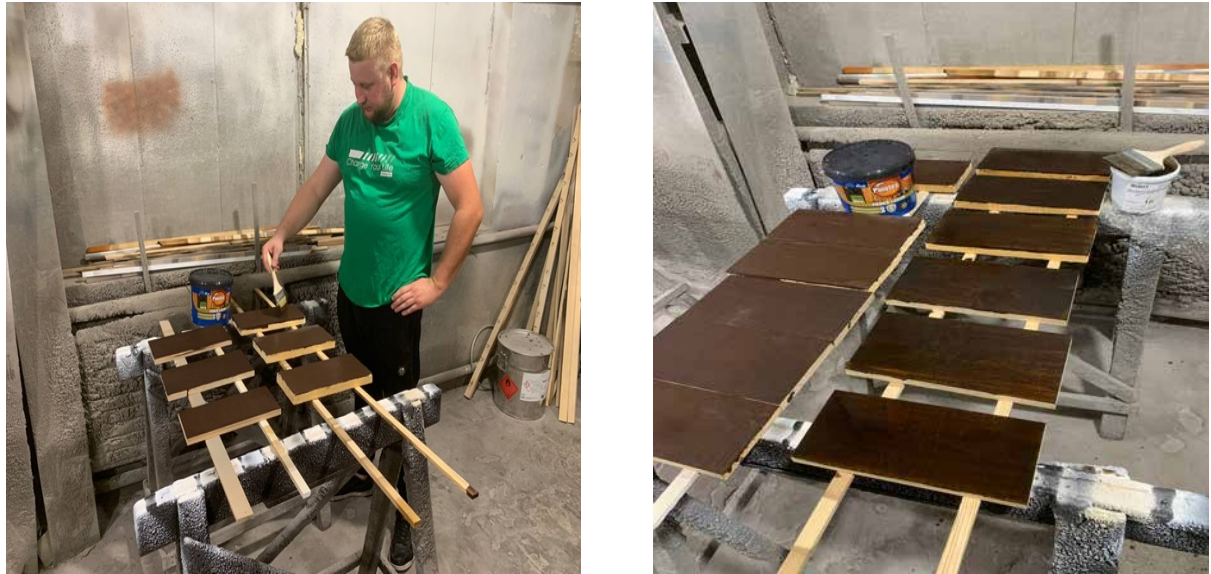


Рис.4.5. Підготовка зразків до випробування

Друга група заготовок була покрита матеріалом «Pinotex Fence Lasur», який широко застосовується для опорядження зовнішніх дерев'яних конструкцій, характеризується високою стійкістю до атмосферних впливів та здатністю глибоко проникати в структуру деревини. Всього було виготовлено 10 зразків, по п'ять з кожним лакофарбовим матеріалом.

Процес нанесення проходив у кілька етапів: очищення заготовок від пилу, нанесення першого шару покриття, витримання часу висихання, повторне шліфування дрібнозернистим абразивом та нанесення другого шару. Така послідовність дозволяє досягти рівномірності покриття та підвищити його довговічність.

На даному етапі ще зарано робити остаточні висновки, адже для цього необхідно оцінити поведінку покриттів у реальних умовах експлуатації. Результати експериментальних досліджень дозволять зробити практичні висновки про доцільність використання цих матеріалів саме для опорядження садових меблів, що постійно піддаються впливу сонця, вологи та перепадів температури.

4.3. Результати визначення адгезії покриття

Для визначення адгезії зразки деревини були розташовані на горизонтальній поверхні та ріжучим інструментом були нанесені надрізи. Оскільки обидва матеріали скоріше відносяться до просочуючих складів, ніж до плівкоутворюючих, то товщина плівки у них незначна – 60 мкм (рис.4.6).



Remmers hk lasur

Pinotex Fence LASUR

Рис.4.6. Результати визначення адгезії

Тож надрізи наносили на відстані 1 мм один від одного. Всього на кожному зразку було проведено п'ять випробувань адгезії методом решітчастих надрізувань. Після нанесення надрізувань приклеювалася липка стрічка, яка потім видривалася. Результати випробувань оцінювалися візуально в балах та заносилися в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2

Результати випробування адгезії

Назва лаку	Бали				
Pinotex Fence LASUR	1,0,0,1,0	0,0,0,0,1	0,0,0,0,0	0,0,0,0,1	0,0,0,0,0
Remmers hk lasur	0,0,0,0,0	0,0,0,0,0	0,0,0,0,1	0,0,0,0,0	0,0,0,0,0

Обидва зразки виявили високу адгезію.

4.4. Результати визначення водостійкості покриття

Водостійкість – один з головних показників якості лакофарбових покриттів для деревини, що експлуатується на відкритому повітрі. На кожний зразок було нанесено дистильовану воду в кількості 20 крапель. Для попередження передчасного випаровування зверху поклали змочену водою марлю та накрили чашкою Петрі (рис.4.7).



Рис. 4.7. Результати визначення водостійкості

Випробування проводили впродовж 5 діб. Після закінчення дослідження поверхні промокнули фільтрувальним папером, висушили і провели

візуальний огляд. Відмічено, що обидва покриття не втратили цілісність, але Pinotex Fence LASUR трохи втратив забарвлення (побілів) (рис.4.8). Таким чином, можна стверджувати, що Pinotex Fence LASUR має меншу водостійкість.

4.5. Результати визначення твердості покриття

Дослід проводився за допомогою твердоміра, технічна характеристика якого була наведена в попередній главі. Твердомір (дюрометр) – вимірювальний прилад, що використовується для визначення твердості матеріалів за шкалою Шора шляхом вдавлювання індентора у поверхню зразка. Дане обладнання застосовується для дослідження механічних властивостей гуми, смол та термопластичних матеріалів а також полімерних плівок, забезпечуючи високу точність завдяки широкому діапазону вимірювань. Конструктивні особливості приладу включають компактні розміри, наявність великого LCD-дисплея для зручного зчитування показників та функцію збереження результатів, що дозволяє підвищити ефективність проведення експериментальних досліджень.

Твердість вимірювали на зразках сосни, вкритих Pinotex Fence LASUR та «Remmers НК Lasur». Зразки були розміщені на горизонтальній поверхні. Прилад притискали до поверхні таким чином, щоб голка дюрометра повністю увійшла в деревину (рис. 4.9). Під час проведення дослідження намагалися щоб випробування охопили як ранню зону деревини так і пізню. Всього на кожному зразку було зроблено по 60 вимірів. Результати вимірювання занесені в табл. 4.3.



Рис.4.9. Визначення твердості цифровим твердоміром (дюрометром)

Шора

Таблиця 4.3

Результати вимірювання твердості покриттів

Лакофарбовий матеріал	Номер зразка	Результати вимірювання твердості									
Pinotex Fence LASUR	1	59	55	60	59	58	53	66	69	59	61
	2	62	53	64	68	53	57	63	62	68	56
	3	58	66	61	60	58	55	54	64	63	65
	4	57	54	56	58	60	63	58	55	54	63
	5	60	62	53	54	55	56	54	53	61	60
	6	58	54	61	60	55	53	52	66	55	53
Remmers HK Lasur	1	67	59	71	65	72	66	53	73	66	69
	2	58	68	69	73	72	74	56	72	70	69
	3	72	75	69	68	66	59	57	65	68	73
	4	70	71	69	59	65	68	67	73	73	74
	5	68	68	72	73	70	77	72	70	68	77
	6	70	56	67	65	59	69	72	70	71	69

Отримані результати обчислюємо за допомогою методів математичної статистики.

Визначаємо середнє значення отриманої твердості за загальною відомою формулою (4.1) [43-45]:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (4.1)$$

де:

$\sum_{i=1}^n x_i$ – сума значень твердості покриття;

n – кількість вимірювань.

Для Pinotex Fence LASUR:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{3522}{60} = 58,7$$

Для Remmers НК Lasur:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{4086}{60} = 68,1$$

Дисперсію розраховуємо за формулою (4.2) [43-45]:

$$D = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (4.2)$$

де:

x_1, x_2, \dots, x_n - значення вимірюваної величини;

\bar{x} – середнє значення;

n – кількість вимірювань

Середнє квадратичне відхилення розраховується за формулою (4.3) [46-47]:

$$\sigma = \sqrt{D}, \quad (4.3)$$

де:

D – дисперсія

Похибка середнього значення визначена за формулою, що дає змогу оцінити точність результату (4.4) [46-47]:

$$\Delta = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (4.4)$$

де:

σ – середнє квадратичне відхилення;

n – кількість вимірів.

Коефіцієнт варіації розраховуємо за наведеною формулою (4.5) [47-50]:

$$V = \frac{\sigma \cdot 100\%}{\bar{x}}, \quad (4.5)$$

Показник точності дослідження розраховується за формулою (4.6) [47-50]:

$$P = \frac{V}{\sqrt{n}}, \quad (4.6)$$

де:

n – кількість вимірювань

Кількість вимірів розраховано за формулою (4.7) [48-50]:

$$n = \frac{t^2 \cdot V^2}{P^2}, \quad (4.7)$$

де:

t – коефіцієнт Стюдента (табличне значення, при ймовірності результатів 0,99 становить 2,58) [48]);

P^2 – показник точності (для деревообробної галузі становить 5%).

Результати статистичних розрахунків заносимо до табл. 4.4. та 4.5.

Таблиця 4.4

Результати статистичних розрахунків твердості лакофарбового покриття Pinotex Fence LASUR

Середнє арифметичне,	Дисперсія, D	Середнє квадратичне відхилення, σ	Похибка середнього, Δ	Коефіцієнт варіації V, %	Показник точності досліду P	Коефіцієнт Стюдента, t	Необхідна кількість вимірів n
58,7	77,64	8,81	2,93	15,01	5	2,58	59

Таблиця 4.5

Результати статистичних розрахунків твердості лакофарбового покриття Remmers HK Lasur

Середнє арифметичне,	Дисперсія, D	Середнє квадратичне відхилення, σ	Похибка середнього, Δ	Коефіцієнт варіації V, %	Показник точності досліду P	Коефіцієнт Стюдента, t	Необхідна кількість вимірів n
68,1	104,45	10,22	3,4	15	5	2,58	60

За результатами проведених досліджень та зроблених статистичних розрахунків можна бачити, що твердість покриття Remmers HK Lasur була вищою на 14 %.

Таким чином, підприємству пропонується наступний технологічний процес опорядження садових меблів (табл. 4.6).

Таблиця 4.6

Технологічний процес опорядження садових меблів

№	Операція	Матеріал, який наноситься та інструмент
1	Шліфування	Шліфшкірка
2	Нанесення першого шару, $t \approx 20-23 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Remmers НК Lasur, фарборозпилювач
3	Сушіння	на етажерках
4	Шліфування	шліфшкірка
5	Нанесення другого шару, $t \approx 20-23 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Remmers НК Lasur, фарборозпилювач
6	Контроль якості	Візуально

Запропонований технологічний процес дозволить підприємству розширити асортимент продукції, підвищити конкурентоспроможність на ринку та забезпечити стабільне зростання виробничих показників в умовах сучасного ринкового розвитку

ВИСНОВКИ

Метою магістерської кваліфікаційної роботи було обґрунтування технології опорядження садових меблів на ТОВ «Кирмакс».

Згідно поставлених задач та проведених експериментів були зроблені наступні висновки:

1. Аналіз літературних джерел щодо напрямків дослідження лакофарбових матеріалів та покриттів для зовнішніх робіт показав, що наукова думка та дослідження рухаються в двох напрямках: розроблення нових лакофарбових матеріалів на основі натуральних та екологічних інгредієнтів та удосконалення існуючих матеріалів та методів їх нанесення.

2. Оцінка лакофарбових матеріалів, що застосовуються для захисту садових меблів «Методом експертних оцінок» та «Методом ієрархій визначила пріоритетними лакофарбовими матеріалами для дослідження Pinotex Fence LASUR та Remmers HK Lasur.

3. Результати експериментальних досліджень якісних показників лакофарбових покриттів дозволили встановити наступне:

- всі досліджувані зразки виявили високу адгезію. Зразок оброблений Pinotex Fence LASUR мав трошки гіршу адгезію, але на якість покриття це суттєво не впливає;

- кращі результати дослідження водостійкості показали зразки опоряджені Remmers HK Lasur. На зразках Pinotex Fence LASUR було відмічено незначне побіління;

- результати визначення твердості показали, що покриття на основі Remmers HK Lasur мали кращі показники на 14 %.

Хоча різниця між лакофарбовими матеріалами є незначною та не має суттєвого впливу на якість покриття, аналіз технічних характеристик свідчить, що за більшістю показників (окрім витрати на 1 м²) Remmers HK Lasur переважає Pinotex Fence LASUR. Тому підприємству доцільно рекомендувати використовувати для опорядження садових меблів саме продукцію компанії Remmers.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Yaremchuk L.A. Comparison of technological characteristics of linseed oil and alkyd varnish. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*. 2019. Vol. 45, P.55-58. URL: [http:// C:/Users/User/Downloads/55-58.pdf](http://C:/Users/User/Downloads/55-58.pdf) <https://doi.org/10.36930/42194508> (дата звернення 28.06.2025).
2. Яремчук Л.А., Кропотов А.В. Вплив температури термомодифікації деревини на товщину захисно-декоративної плівки. *Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем*. Зб. матеріалів доп. XIV Міжнародної наук.-практ. конф., м.Чернігів, 23-25 травня 2024 р. Чернігів, 2024. С.236-237.
3. Brock T., Groteclaus M., Mischke P. European Guide to Paints and Coatings: Paint-Media. 2015. 548 p. URL: [http:// chrome-extension: // efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://download.e-bookshelf.de / download/0000/8409/12/L-G-0000840912-0019948100.pdf](http://chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://download.e-bookshelf.de/download/0000/8409/12/L-G-0000840912-0019948100.pdf) (дата звернення 18.06.2025).
4. Prieto, J., & Kiene, J. Wood Coatings. *European Coatings*. 2018. 392 p.
5. Vonsul M., Dean C. Investigation of cottonseed oil as renewable source for the development of highly functional UV-curable materials. *Progress in Organic Coatings*. 2023. Vol. 185. 107883. URL: [https:// www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0300944023004794](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0300944023004794). DOI : 10.1016/j.porgcoat.2023.107883 (дата звернення 3.07.2025).

6. Armingier B., Jaxel J., Bacher M., Gindl-Altmutter W., Hansmann C. On the drying behavior of natural oils used for solid wood finishing. *Progress in Organic Coatings* 2020. Vol. 148. URL: [https:// www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0300944020305245](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0300944020305245).

DOI:10.1016/j.porgcoat.2020.105831 (дата звернення 3.07.2025).

7. Su Y., Zhang S., Chen Y., Yuan T., Yang Z. One-step synthesis of novel renewable multi-functional linseed oil-based acrylate prepolymers and its application in UV-curable coatings. *Progress in Organic Coatings*. 2020. Vol. 148, 105820. URL: [https:// www.researchgate.net /publication/342026338](https://www.researchgate.net/publication/342026338) One-step synthesis of novel renewable multi-functional linseed oil-based acrylate prepolymers and its application in UV-curable coatings/ doi.org/10.3390/polym12051165. (дата звернення 3.07.2025).

8. ДСТУ ISO 738:2018. Пиломатеріали хвойних порід. Розміри. Допустимі відхилення та усихання. (ISO 738:2015, IDT). [Чинний від 05.11 2018]. Вид офіційне: УкрНДНЦ, 2020. 4с.

9. Yaris V., Ved V., Zybalyo S., Chaban O., Karpenko V. Research of stability of geometric parameters of wood under the moisture action. *Technology Audit and Production Reserves*. 2020. Vol. 3, No. 1(53). P. 32-35. URL: [https://www.researchgate.net/ publication/343060701](https://www.researchgate.net/publication/343060701) Research of stability of geometric parameters of wood under the moisture action. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2020.206335>. (дата звернення 3. 07. 2025).

10. Miklós Bak. Improving the physical characteristics and durability of wood through a combined modification process using thermal treatment and wax impregnation in one step. *Forests*. 2025. Vol.16(8), 1317 URL: <https://www.mdpi.com/1999-4907/16/8/1317>. doi.org/10.3390/f16081317 (дата звернення 9.07.2025).

11. Barthlott W., Mail M., Bhushan B. and Koch, K. Plant surfaces: Structures

and functions for biomimetic innovations. 2017 *Nano-Micro Letters*. Vol. № 9, P. 23. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30464998/> DOI:10.1007/s40820-016-0125-1 (дата звернення 9.07.2025).

12. Won S., Koo J., Crawford K., Mickle A., Xue Y., Min S., McIlvred L., Yan Y., Kim S., Lee, M., Kim H., Jang H., MacEwan R., Huang Y., Gereau W., Rogers J. Natural wax for transient electronics. *Adv. Funct. Mater.* 2018. Vol. 28 (32). URL: <https://www.researchgate.net/publication/325977965> Natural Wax for Transient Electronics. doi.org/10.1002/adfm.201801819. (дата звернення 9.07.2025).

13. Burgert I., Cabane E., Zollfrank C., Berglund L. Bio-inspired functional wood-based materials – hybrids and replicates. *International Materials Reviews*. 2016. Vol. 60, P. 431-450. URL: <https://www.researchgate.net/publication/291417500> Bio-inspired functional wood-based materials - hybrids and replicates. doi.org/10.1179/1743280415Y.0000000009. (дата звернення 9.07.2025).

14. Kristak L., Réh R., Kubovský I. New challenges in wood and wood-based materials II. *Polymers*. 2023. Vol. 15 (6). 1409. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4360/15/6/1409> (дата звернення 9.07.2025).

16. Evans F., Vollmer S., Doh J., Kim D., Chan G., Gibson S. Improving the performance of clear coatings on wood through the aggregation of marginal gains. *Coatings*. Vol. 6 (4). URL: <https://www.mdpi.com/2079-6412/6/4/66>. <https://doi.org/10.3390/polym15061409>. (дата звернення 9.07.2025).

17. Wang X., Wei X., Liang Y., Peng Y., Chen S., Niu X. Advances and perspectives in natural wax composite coatings on wood-based materials: Mechanisms and applications. *Materials Today Communications Review*. 2025. Vol. 42(2). 111377. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352492824033592>. DOI:10.1016/j.mtcomm.2024.111377 (дата звернення 9.07.2025).

18. Celik N., Torun I., Ruzi M., Esidir A., Onses S. Fabrication of robust superhydrophobic surfaces by one-step spray coating: evaporation driven self-

assembly of wax and nanoparticles into hierarchical structures. *Chemical Engineering Journal*. 2020. Vol. 396. [125230](https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.125230). URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894720312225>.

DOI:10.1016/j.cej.2020.125230. (дата звернення 9.07.2025).

19. Li L., Haoran S., Xiaoke J., Shijie D., Yujie G. Study on UV curable tung oil based waterborne polyurethane wood coatings. *Journal of Forestry Engineering*. 2022. Vol.7(4). P.115 – 125. URL: <https://www.scopus.com/pages/publications/85149022182>. DOI:10.1016/j.ijbiomas.2023.128114.

(дата звернення 9.07.2025).

20. Трофименко О. О., Дорошкевич Д. В., Джадан І. М. Використання засад глобальних цілей сталого розвитку для забезпечення розвитку промисловості України. Підприємництво та Інновації. 2020. Вип. 11–1. С. 118–125. URL: <https://doi.org/10.37320/2415-3583/11.40> (дата звернення 9.07.2025).

21. Мазаракі А. А., Босовська М. В. Теоретико-методологічні основи формування інтеграційної стратегії підприємств. *Бізнес інформ*. 2021. № 7. С. 299-308.

22. Шкода В.М. Мережко Н.В. Аналіз ринку лакофарбових товарів в Україні. URL: <https://naukam.triada.in.ua/index.php/konferentsiji/38-vosma-vseukrajinskapraktichno-piznavalna-konferentsiya-naukova-dumka-suchasnosti-i-majbutnogo/91analiz-rinku-lakofarbovikh-materialiv> (дата звернення 9.07.2025).

23. Хімічна промисловість та хімічний ринок України у 2020 році: факти, оцінка стану, тенденції, прогноз. ДП «Черкаський НДІТЕХІМ». Черкаси, 2021. С 53.

24. Аналіз ринку лакофарбових матеріалів в Україні. URL: https://bizmart.info/publications/publications/pub_obz/6368/ (дата звернення 23.07.2025).

25. Аналіз ринку лакофарбових матеріалів на міжнародному та національному рівні у сфері промислового сектору економіки URL: <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/86911> (дата звернення

23.07.2025).

26. Олія для захисту терас і садових меблів Pinotex Wood&Terrace Oil: веб-сайт. URL: <https://pinotex.com.ua/shop/pinotex-wood-terrace-oil/> (дата звернення 9.07.2025).

27. Масло Osmo Terrassen-Öle: веб-сайт. URL: https://maslo-osmo.com.ua/terrassen-ole/?gad_source=1&gclid=EAIaIQobChMIqff (дата звернення 9.07.2025).

28. Лазур для дерева Pinotex Fence: веб-сайт. URL: <https://pinotex.com.ua/shop/pinotex-fence/> (дата звернення 9.07.2025).

29. Древозахист пропитка: веб-сайт. URL: <https://polifarb.ua/uk/products/drevozahist-propitka-2/> (дата звернення 9.07.2025).

30. НК-Lasur: веб-сайт. URL: <https://remmers.net.ua/catalog/detail/id/13> (дата звернення 9.07.2025).

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

32. Адгезія. Веб-сайт. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki>. (дата звернення 9.07.2025).

33. ДСТУ ISO 2409:2019 Фарби та лаки. Випробування методом решітчастих надрізів (ISO 2409:2013, IDT) [Чинний від 01.10 2020]. Вид офіційне: Держпоживстандарт України, 2020. 23 с. (дата звернення 10.08.2025).

34. Адгезія. Методи випробування та оцінки. веб-сайт. URL: <https://tecsa.com.ua/uk/adgeziya-metody-vyprobuvannya-ta-oczinky/> (дата звернення 10.08.2025).

35. ДСТУ EN 927-5:2015 Фарби та лаки. Лакофарбові матеріали та системи покриттів для дерев'яних поверхонь для зовнішнього застосування. Частина 5. Оцінювання водопроникності. [Чинний від 01.01 2016]. Вид офіційне: Держпоживстандарт України, 2016. 10 с. (дата

звернення 10.08.2025).

36. Контроль якості лакофарбового покриття. веб-сайт. URL: <https://studfile.net/preview/7709007/page:22/> (дата звернення 10.08.2025).

37. Буйських Н.В. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Технологія захисно-декоративних покриттів» для студентів навчально-наукового інституту лісового і садово-паркового господарства ОС Бакалавр ОПП «Деревообробні та меблеві технології» денної та заочної форм навчання. К. : Вид-во НУБІП, 2025. 54 с.

38. Буйських Н.В., Морокова Д.В. дослідження та оцінка твердості лакофарбових покриттів на штучно зістарених зразках. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2015. № 219. С. 266–269.

39. Контроль якості лакофарбових матеріалів. веб-сайт. URL: <https://airless.com.ua/ua/stati/kontrol-yakosti-lakofarbovikh-materialiv.html>. (дата звернення 10.08.2025).

40. Наскільки точні стандарти в лакофарбовій промисловості? веб-сайт. URL: <https://www.coatings.net.ua/artykuly/naskilki-tochni-standarti-v-lakofarbovij-promislovosti,1445>. (дата звернення 10.08.2025).

41. Методи дослідження лакофарбових покриттів. веб-сайт. URL: <https://joiner.org.ua/tekhnohiiia-stoliarnykh-robit/oporiadzhennia-stoliarnykh-vyrobiv/metody-doslidzhennia-lakofarbovykh-pokryttiv.html>. (дата звернення 10.08.2025).

42. Твердомір по Шору (аналоговий) ТШ-А (шкала А). веб-сайт. URL: <https://novotest.ua/ua/katalog-priborov/tverdomer-po-shoru-analogovyj-tsh-a> (дата звернення 10.08.2025).

43. Руденко В.М. Математична статистика. Київ : Центр навчальної літератури, 2019. 304 с.

44. Данілов В.Я. Статистична обробка даних. навч. посіб. Київ, 2019. 156 с. URL: <https://chrome-extension://efaidnbmn nnibpcjap>

[cglclefindmkaj/https://www.mechmat.univ.kiev.ua/wp-content/uploads/2020/03/statustushna-obrobka-danilov-2019.pdf](https://www.mechmat.univ.kiev.ua/wp-content/uploads/2020/03/statustushna-obrobka-danilov-2019.pdf)

45. Королюк Д. В. Основи статистичної обробки даних: Ймовірність і статистика: навч. посіб. КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 78 с. URL: <https://files.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi82/0062317.pdf>

46. Григулич С.М., Лісов-ська В.П., Макаренко О.І. та ін. Математична статистика : навч. посіб. [Електронне видання]. К. : КНЕУ, 2015. 203 с. URL: <https://core.ac.uk/reader/43282100>

47. Бахрушин В.Є. Методи аналізу даних: навч. посіб. / Запоріжжя. Класичний приватний університет. Запоріжжя : КПУ, 2011. 268 с.

48. Огірко О.І., Галайко Н.В. Теорія ймовірностей та математична статистика: навч. посіб. / Львів. Львівський державний університет внутрішніх справ. Львів : ЛьвДУВС, 2017. 292 с.

49. Опря А.Т. Статистика (модульний варіант з програмованою формою контролю знань): навч. посіб. / Київ. Центр учбової літератури, 2012. 447с.

50. Мармоза А.Т. Теорія статистики: підручник / Київ. Центр учбової літератури, 2013. 593с.

