

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

УДК 674.1

ПОГОДЖЕНО
Директор ННІ
Лісового і садово паркового
господарства
Роман ВАСИЛИШИН

(підпис) (ПБ)
« _____ » _____ 2024 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
Технологій та дизайну виробів з
деревини
Андрій СПИРОЧКІН

(підпис) (ПБ)
« _____ » _____ 2024 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему Обґрунтування доцільності використання низькотоварної деревини для виготовлення стінових панелей

Спеціальність 187 «Деревообробні та меблеві технології»

Освітня програма «Деревообробні та меблеві технології»

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

Гарант освітньої програми

канд. техн. наук, доц.
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Андрій СПИРОЧКІН
(ПБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

канд. техн. наук, доц.
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Андрій СПИРОЧКІН
(ПБ)

Виконав

(підпис)

Богдан ОЛІЙНИК
(ПБ)

Київ – 2024 рік

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
В.о. завідувача кафедри
Технологій та дизайну виробів з деревини
к.т.н., доц. _____ **Андрій СПІРОЧКІН**
науковий ступінь, вчене звання (підпис) (ПІБ)
« _____ » _____ 2023 р.

**ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
СТУДЕНТУ**

Олійнику Богдану Олеговичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 187 «Деревообробні та меблеві технології»

(код і назва)

Освітня програма «Деревообробні та меблеві технології»

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

Тема магістерської кваліфікаційної роботи Обґрунтування доцільності використання низькотоварної деревини для виготовлення стінових панелей
затверджена наказом ректора НУБіП України від “31” 10 2023 р. № 1981 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедрі _____

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи

Звіти з наукової роботи кафедри. Результати попередніх експериментальних досліджень за обраною тематикою

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Детальний аналіз лісосировинної бази України

2. Аналіз можливості застосування низькотоварної деревини для виготовлення готової продукції

3. Дослідження властивостей низькотоварної деревини

Дата видачі завдання “ _____ ” _____ 20__ р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи _____

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____

(підпис)

(прізвище та ініціали студента)

РЕФЕРАТ

Структура та обсяг роботи. Робота складається зі вступу, п'яти розділів та висновків. Основна частина описана на 97 сторінках, проілюстровано рисунками у кількості 24 шт. та таблицями – 26 шт. Список використаних джерел включає 69 звернень.

У вступі обґрунтовано доцільність і актуальність використання низькотоварної деревини в сучасній деревообробній промисловості для виготовлення стінових панелей. Було описано, що використання такої сировини сприяє раціональному використанню ресурсів, розвитку екологічно орієнтованого виробництва та створенню продуктів з доданою вартістю.

У першому розділі проаналізовано лісосировинну базу України, включаючи характеристики низькотоварної деревини та тенденції її використання. Описано нормативно-правову базу, що регулює якість деревини, та можливості її класифікації за європейськими стандартами. Проведено огляд літератури щодо перспективних способів застосування низькотоварної деревини, таких як виготовлення меблів, декоративних панелей, облицювальних матеріалів та сувенірної продукції.

У другому розділі розглянуто методи, що існують для визначення властивостей деревини до формостійкості. Також оглянуті експлуатаційні ознаки матеріалів та їх властивості для виготовлення стінових панелей.

У третьому розділі використано метод аналізу ієрархій для вибору оптимальної низькотоварної деревини для виготовлення стінових панелей. Проведено багатокритеріальний аналіз властивостей обраних матеріалів, а саме аналіз: формостійкості, ціни, щільності, твердість в тангенціальному напрямку волокон. Обрано матеріал що має максимальний пріоритет та який буде прийнятий в технологічний процес виготовлення виробів з деревини, та його альтернативу.

У четвертому розділі описано методіку проведення експериментальних досліджень, спрямованих на оцінку формостійкості стінових панелей з

низькотоварної деревини при різних методах склеювання. Проведено експериментальні дослідження за описаною методикою, дані замірів під час дослідження занесені у таблицю. За даними що були занесені до таблиці проведено статистичний аналіз та створено діаграми із кривими нормального розподілу при точковому та суцільному методі склеювання. Встановлено, що суцільний метод склеювання забезпечує вищу стабільність панелей у поздовжньому напрямку, коли переріз виробу відповідає співвідношенню 1:2, тоді як точковий метод мінімізує деформації.

У п'ятому розділі описано технологічний процес виготовлення стінових панелей із низькотоварної деревини. Описано причини успішного впровадження декоративних стінових панелей із низькотоварної деревини, раціональність збереження лісових ресурсів, екологічності виробів.

Ключові слова: низькотоварна деревина, формостійкість, стінові панелі, методи склеювання.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ЛІСОСИРОВИННОЇ БАЗИ УКРАЇНИ.....	8
1.1. Аналіз звітів ДП «Ліси України» щодо кількості заготовленої деревини та наявних лісосировинних ресурсів в Україні.....	8
1.2. Огляд нормативної бази щодо низькотоварної деревини.....	10
1.3. Аналіз джерел літератури щодо можливих шляхів використання низькотоварної деревини.....	16
1.3.1. Вироби з епоксидної смоли.....	17
1.3.2. Використання «мертвої» деревини дуба для виготовлення меблів....	19
1.3.3. Будівельні матеріали з сухостійної деревини сосни.....	20
1.3.4. Утворення облицювального матеріалу.....	21
1.3.5. Виготовлення деревиннокомпозиційного матеріалу з лісосічних відходів.....	21
1.3.6. Сувенірна продукція.....	22
1.3.7. Використання амбарної деревини.....	22
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ФІЗИЧНИХ ТА МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕРЕВИНИ.....	25
2.1. Аналіз існуючих методик визначення властивостей деревини до формостійкості.....	25
2.2. Методика досліджень властивостей низькотоварної деревини для встановлення можливості її використання під час виготовлення готової продукції.....	27
РОЗДІЛ 3 ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПРІОРІТЕТНОГО МАТЕРІАЛУ ДЛЯ СТІНОВИХ ПАНЕЛЕЙ.....	42
3.1. Опис властивостей обраних матеріалів.....	42
3.2. Прийняття проектних рішень.....	48
3.3. Рішення багатокритеріальної задач методом аналізу ієрархій.....	60
РОЗДІЛ 4 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	67
4.1. Методика проведення експериментальних досліджень на випробовування декоративної панелі із низькотоварної деревини на формостійкість при різних методах склеювання деревини.....	67
4.2. Результати експериментальних досліджень властивостей низькотоварної деревини на формостійкість при різних методах склеювання деревини.....	72
РОЗДІЛ 5 РОЗРОБЛЕННЯ ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ НИЗЬКОТОВАРНОЇ ДЕРЕВИНИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ГОТОВОЇ ПРОДУКЦІЇ.....	80
5.1. Обґрунтування доцільності використання низькотоварної деревини	

для виготовлення стінових панелей.....	80
5.1.1. Раціональне використання та збереження лісових ресурсів.....	80
5.1.2. Розроблення нових технологій обробки низькотоварної деревини....	82
5.1.3. Екологічність виробів з низькотоварної деревини.....	83
5.2. Розроблення технологічного процесу виготовлення стінових панелей з низькотоварної деревини.....	85
ВИСНОВКИ.....	89
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	90

ВСТУП

В умовах сучасного розвитку деревообробної промисловості України важливим завданням є ефективне використання всіх видів деревини, включаючи низькотоварну. Використання низькотоварної деревини для виготовлення стінових панелей дозволяє не лише зменшити витрати на сировину, але й сприяє раціональному використанню лісових ресурсів, що є надзвичайно актуальним в умовах обмежених природних ресурсів та екологічних викликів.

Метою даної магістерської кваліфікаційної роботи є обґрунтування доцільності використання низькотоварної деревини для виготовлення декоративних стінових панелей. Це включає аналіз лісосировинної бази України, дослідження властивостей низькотоварної деревини та розробку технологічного процесу виготовлення стінових панелей.

Для досягнення поставленої мети були вирішені наступні завдання:

- Провести детальний аналіз лісосировинної бази України.
- Дослідити можливості застосування низькотоварної деревини для виготовлення готової продукції.
- Вивчити формостійкі властивості низькотоварної деревини.
- Розробити методику виготовлення стінових панелей з низькотоварної деревини та оцінити їх експлуатаційні властивості.

У роботі проведено дослідження можливостей використання низькотоварної деревини для виготовлення стінових панелей, що дозволяє розширити асортимент продукції деревообробної промисловості та підвищити ефективність використання лісових ресурсів.

Результати дослідження можуть бути використані в деревообробній промисловості для розробки нових технологій виготовлення стінових панелей з низькотоварної деревини, що сприятиме зниженню витрат на сировину та підвищенню конкурентоспроможності продукції.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ЛІСОСИРОВИННОЇ БАЗИ УКРАЇНИ

1.1. Аналіз звітів ДП «Ліси України» щодо кількості заготовленої деревини та наявних лісосировинних ресурсів в Україні

Оглядаючи публічний звіт голови державного агентства лісових ресурсів України за 2022 рік я відмітив, що загальна площа ділянок які належать до лісового фонду України становить 10,4 млн га, із яких вкриті рослинністю 9,6 млн га. Лісистість України складає 15,9% завдяки чому вона займає 7-ме місце за запасами деревини в Європі. Найбільша лісистість спостерігається у західних областях країни [1].

В структурі віку лісів домінують насадження середнього віку, а частка дозрілих та перезрілих насаджень складає 18,7%. Ліси в середньому мають вік більше 60 років і їх старіння відбувається поступово, що призводить до погіршення їх санітарного стану [1].

Ліси України складаються з більше ніж 30 видів дерев, серед яких найпоширенішими є сосна, дуб, бук, ялина, береза, вільха, ясен, граб, ялиця. Хвойні насадження займають 43% загальної площі, зокрема, сосна – 35%. Твердолистяні насадження також становлять 43%, зокрема, дуб і бук – 37% [1].

Державні лісові підприємства, що підпадають під управління Держлісагентства, проводять продаж лісоматеріалів відповідно до законів України, включаючи закони "Про товарні біржі", "Про ринки капіталу та організовані товарні ринки", "Про публічні закупівлі" та "Про оборонні закупівлі" [1].

З метою стабілізації постачання деревини на ринок, лісові підприємства проводили продаж лісоматеріалів на товарних біржах, які отримали ліцензії від Національної комісії з цінних паперів та фондового ринку [1].

У 2022 році державні лісові підприємства, що належать до сфери управління Держлісагентства, заготовили приблизно 13,5 млн м³ лісоматеріалів, включаючи 7,5 млн м³ хвойних порід, 4,5 млн м³ твердолистяних порід та 1,4

млн м³ м'яко листяних порід. На внутрішній ринок було реалізовано 10,9 млн м³ лісоматеріалів, з яких 4,2 млн м³ круглих лісоматеріалів, 3,2 млн м³ промислової дровини та 3,5 млн м³ непромислової дровини. Загальний обсяг проданих лісоматеріалів за поточні оптові ціни (без ПДВ) становив приблизно 18,9 млрд грн. Середньозважена вартість одного знеособленого кубометра лісоматеріалів у 2022 році становила 1740 грн (без ПДВ), що на 327 грн або (або 23 %) більше, ніж за аналогічний період минулого року [1].

Нормативно-правові акти, прийняті у передвоєнний рік, дозволили забезпечити розвиток внутрішнього ринку лісоматеріалів, вдосконалити й осучаснити біржову торгівлю лісоматеріалами, а також забезпечити додаткові фінансові надходження у лісове господарство України. Незважаючи на зменшення на 1813 тис. м³ загального обсягу реалізації порівняно до минулого року, лісові підприємства забезпечили збільшення на 998 млн грн доходу від реалізації лісоматеріалів [1].

За результатами проведених електронних аукціонів (конкурентних процедур) обсяг продажу лісоматеріалів становив понад 7 млн м³, загальна реалізаційна вартість становила близько 15,5 млрд грн. За "прямими" договорами, де покупцями виступали фізичні особи – громадяни України реалізовано 3,8 млн м³, загальна реалізаційна вартість становила понад 3,4 млрд грн [1].

Ми вважаємо, що розвиток біржової торгівлі деревиною сприяє розвитку конкуренції на ринку, дозволяє створити в Україні об'єктивну ринкову вартість ресурсу та балансує попит і пропозицію на ринку лісоматеріалів [1].

Військова агресія Росії проти України призвела до значних наслідків для лісової галузі України – 2.9 млн га лісових масивів постраждали в різному ступені. Враховуючи ліси АР Крим, а також Луганської та Донецької областей, які були окуповані до 2022 року, наразі приблизно 1 млн га лісів перебувають під окупацією або зазнають впливу активних бойових дій [1].

Після повного визволення території та проведення розмінування буде проведено детальний аналіз пошкоджень лісів та збитків лісового господарства.

На сьогодні найбільшою проблемою лісового господарства є забруднення лісів вибухонебезпечними предметами. Зараз 690 тис. га потребують розмінування, але ця площа зростає щодня не тільки через визволення територій, але й через подальше мінування територій на кордоні України та Білорусі [1].

Іншою важливою проблемою є руйнування та пошкодження об'єктів лісового господарства. Навіть якщо окуповані підприємства не були зруйновані, російські військові вивозять всю техніку та обладнання. Найбільш значними руйнуваннями для лісового господарства є пошкодження ВО «Укрдержліспроєкт», відповідального за лісовпорядне планування, та селекційно-насінного центру в м. Лиман, Донецької області, який було відкрито лише в грудні 2021 року і який був призначений для забезпечення східних підприємств посадковим матеріалом з закритою кореневою системою. Крім того, необхідно врахувати кількість мобілізованого обладнання та проблеми з електропостачанням у 2022 році [1].

1.2. Огляд нормативної бази щодо низькотоварної деревини

З січня 2019 року лісова промисловість України перейшла на європейські стандарти класифікації та вимірювання лісо та пило продукції [2].

Раніше ділова деревина в Україні розподілялася на три сорти, але з 2019 року вона розподіляється на чотири класи якості (А, В, С, D), подібно до європейських стандартів [2].

Нові національні стандарти були розроблені Технічним комітетом України зі стандартизації лісових ресурсів та затверджені ДП "Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості" [2].

Принципи класифікації європейської системи стандартизації круглого лісу засновані не на присвоєнні сортів, а на розмірах колод і показниках якості; більший діаметр і мінімальний вміст дефектів деревини при заданих кроках - вищі класи якості:

- клас якості А – деревина вищого сорту, переважно з нижньої частини колоди, з чистою деревиною або з незначними дефектами, що не обмежують її використання, зазвичай позначається як клас якості А [2];
- клас якості В – зазвичай відноситься деревина середньої якості, без особливих вимог до чистої деревини, а кількість сучків знаходиться в межах середнього значення для кожної породи дерева [2];
- клас якості С - пиломатеріали якості нижче середнього, де допускаються дефекти, але вони істотно не знижують природних властивостей деревини як матеріалу [2];
- клас якості D - включає деревину, яка не відповідає жодному з класів якості А, В, С, але з якої все ще можна отримати пиломатеріал для подальшого використання [2].

Весь інший круглий лісоматеріал, з якого неможливо отримати деревину загального призначення, класифікується як:

- деревина дров'яна для промислового використання, довжиною 2,0-4,0 метри (виробництво тріски для технічних або паливних цілей, розколу на дрова тощо) [2];
- деревина дров'яна для непромислового використання, довжиною до 2,0 метрів (можна продавати як паливо фізичним та юридичним особам) [2].

Таким чином на мою думку деревина, яка відноситься до низькотоварної, може бути класифікована за класом якості С або клас якості D, залежно від її властивостей та використання.

Для визначення класу якості деревини присутні певні правила відсортування. Наприклад для деревини сосни звичайної є «Правила сортування для сосни звичайної (*Pinus sylvestris*) по ДСТУ ENV 1927-2:2005» в яких наведена таблиця що зазначає яка кількість і вид вад допускається для призначення певного сорту (рис.1.1).

Сосни	Класи			
	А	В	С	Д
Характеристики				
Сучки, см				
— зрослий, здоровий	не дозволено	≤ 5	дозволено	дозволено
— порохнявий	не дозволено	≤ 4	≤ 7	дозволено
— нездоровий	не дозволено	не дозволено	≤ 5	дозволено
Пожолобленість	не дозволено	не дозволено ²⁾	дозволено	дозволено
Смоляна кишенька	не дозволено ¹⁾	1 на секцію	дозволено	дозволено
Норма приросту, мм				
<i>Pinus radiata</i>	≤ 6	≤ 8	без обмежень	без обмежень
<i>Pinus pinaster</i>	≤ 6	≤ 8	без обмежень	без обмежень
<i>Pinus sylvestris</i>	≤ 4	≤ 6	без обмежень	без обмежень
<i>Pinus nigra</i>	≤ 5	≤ 7	без обмежень	без обмежень
Нарости				
Нахил волокна, см/м	≤ 3	≤ 7	без обмежень	без обмежень
Зміщена серцевина, %	10	20	без обмежень	без обмежень
Кріль, % ³⁾	не дозволено	10	30	без обмежень
Кривизна, см/м	≤ 2	≤ 2	≤ 4	≤ 6
Збіжистість, см/м ⁴⁾ < 35 см	без обмежень	≤ 1,5	без обмежень	без обмежень
≥ 35 см	без обмежень	≤ 2	без обмежень	без обмежень
Тріщини				
Серединні тріщини < 35 см	не дозволено	не дозволено	≤ 1/2 Ø	дозволено
(крім сухих тріщин) ≥ 35 см	≤ 1/4 Ø	≤ 1/3 Ø	≤ 1/2 Ø	дозволено
Кільцеві тріщини < 35 см	не дозволено	не дозволено	не дозволено	дозволено
≥ 35 см	≤ 1/4 Ø	≤ 1/4 Ø	≤ 1/3 Ø	дозволено
Ураження комахами				
< 3 мм (наприклад: <i>Trypodendron lineatum</i>)	не дозволено	не дозволено	не дозволено ¹⁾	дозволено
≥ 3 мм (наприклад: <i>Sirex</i> , <i>Cerambyciden</i>)	не дозволено	не дозволено	не дозволено	дозволено
Гнилизна	не дозволено	не дозволено	не дозволено	дозволено
Плями	не дозволено	не дозволено	дозволено ⁵⁾	дозволено

¹⁾ Посилання на загальне описання класів якості.
²⁾ Замовляється контрактом.
³⁾ Метод вимірювання: ширина крїлі як функція діаметра поперечного перерізу (в додатку до EN 1310).
⁴⁾ Серединний діаметр під корою.
⁵⁾ Дозволено тільки в заболоні.

Рис. 1.1. Таблиця що зазначає яка кількість і вид вад сосни звичайної [3]

Для деревини дуба є «Класифікація за якістю. Дуб і бук ДСТУ EN 1316-1:2005) » в якому наведена таблиця, що зазначає яка кількість і вид вад допускається для призначення певного класу якості (рис.1.2).

Ознаки	Клас			
	Q—A	Q—B	Q—C	Q—D ⁵⁾
Мінімальні розміри мінімальна довжина, м ¹⁾ мінімальний серединний діаметр без кори, см ¹⁾	2,5 ²⁾ 40 ²⁾	3 ²⁾ 35 ²⁾	2 ²⁾ 30 ²⁾	без обмежень ²⁾ без обмежень ²⁾
Заболонь (вздовж радіуса), см	≤ 3	≤ 4	дозволено	дозволено
Показник приросту, мм	≤ 4	дозволено	дозволено	дозволено
Забарвлення	однорідне ²⁾	дозволено ²⁾	дозволено	дозволено
Відкритий здоровий сучок, мм/м	≤ 15/ 2,5 ³⁾	4)	дозволено	дозволено
Гнилий сучок (відкритий), мм/м	не дозволено		≤ 50/2	дозволено
Сліди на корі (пагін водяний, зарослі сучки, наріст) кількість/м	1 боковий відросток /2,5 ³⁾		дозволено	дозволено
Нахил волокна, см/м	≤ 5	≤ 9	дозволено	дозволено
Зміщена серцевина, %	< 10	< 20	дозволено	дозволено
Внутрішня заболонь	не дозволено	не дозволено	не дозволено	дозволено
Проста кривизна, см/м	≤ 2	≤ 4	≤ 10	дозволено
Овальність, %	< 10	дозволено	дозволено	дозволено
Прості серцевинні тріщини	дозволено в серединній третині діаметра	не дозволено наскрізні тріщини	дозволено	дозволено
Зірчасті тріщини	не дозволено	дозволено в середині на 1/3 діаметра	дозволено в середині на 2/3 діаметра	дозволено
Морозні тріщини	не дозволено	не дозволено	не дозволено ²⁾	дозволено
Кільцеві тріщини	не дозволено	дозволено тільки в середині на 1/5 діаметра з товстого кінця	дозволено тільки з товстого кінця	дозволено
Тріщини усихання	не дозволено	дозволено	дозволено	дозволено
Червоточини	не дозволено	не дозволено	дозволено в заболоні	дозволено
М'яка гнилизна	не дозволено	не дозволено	не дозволено	дозволено
Бурі плями	не дозволено	дозволено в 15 % діаметра в середині	дозволено	дозволено
Буре ядро	не дозволено	не дозволено	дозволено в середині на 1/3 діаметра	дозволено

¹⁾ Довжину та діаметр вимірюють, використовуючи метод, зазначений у prEN 1309.
²⁾ Вилучити ті пункти, що обумовлені контрактом.
³⁾ Тільки якщо немає інших ознак сортування.
⁴⁾ Максимальна сума: 100 мм/3 м сучків (охоплюючи інші ознаки). Здоровий відкритий сучок не повинен бути понад 60 мм та сума гнилих сучків повинна бути ≤ 20 мм. Водяні пагони розглядають як сучки діаметром 5 мм.
⁵⁾ Для всіх ознак класу Q—D понад 40 % об'єму деревини повинно бути придатне до використання.

Рис. 1.2. Таблиця що зазначає яка кількість і вид вад дуба [4]

Для деревини вільхи та берези є «Класифікація за якістю. Вільха і береза» в якому наведена таблиця що зазначає яка кількість і вид вад допускається для призначення певного класу якості (1.3-1.4).

№ п/п	Ознаки ¹⁾	Класи		
		А	В	С
1	Мінімальні розміри ²⁾ :			
1.1	- довжина, м	1 ³⁾	1 ³⁾	1 ³⁾
1.2	- серединний діаметр без кори ⁴⁾ , см	15 ³⁾	15 ³⁾	15 ³⁾
2	Відкриті здорові сучки, см	допускаються кількістю 1 шт. на сортимент розміром ≤ 6 см ³⁾	допускаються кількістю 1 шт. (розміром ≤ 12 см) на 1 м або 1 мутовка на 2 м (кожен одиничний сучок – діаметром ≤ 8 см)	дозволені розміром ≤ 12 см
3	Відкриті гнилі (порохняві) сучки, см	не дозволено	не дозволено	1 шт. (розміром ≤ 8 см) на 1 м
5	Шпильки та водяні пагони, шт.	1 шт. на 3 м	дозволено	дозволено
6	Зарослі сучки та здуття, шт.	не дозволено	допускається макс. 1 шт. на 1 м	дозволено
7	Зміщена серцевина, %	< 10	< 20	дозволено
8	Проста кривизна ⁵⁾ , см/м	< 2 см/м	< 5 см/м	не лімітується
9	Овальність	< 10 %	не лімітується	не лімітується
10	Рибриста окоренкуватість ³⁾	не дозволено	дозволено	дозволено
11	Метикові тріщини (прості і складні)	дозволено в центральній частині до 1/5 серединного діаметра	дозволено в центральній частині до 1/3 серединного діаметра	дозволено в центральній частині: - до 1/2 серединного діаметра для складних; - до 2/3 серединного діаметра та без виходу на бічну поверхню для простих
12	Бічні тріщини всихання	не дозволено	допускаються глибиною до:	

Рис. 1.3. Таблиця що зазначає яка кількість і вид вад вільхи та берези [5]

№ п/п	Ознаки ¹⁾	Класи		
		А	В	С
			1/20	1/10
			діаметра відповідного торця і довжиною на поверхні колоди:	
			меншою, ніж серединний діаметр ³⁾	меншою, ніж подвійний серединний діаметр ³⁾
13	Відлуплені тріщини	не дозволено	допускаються ті, що вкладаються у полосу, величиною до 1/10 серединного діаметру, з виходом на один торець	допускаються ті, що вкладаються у полосу, величиною до 1/5 серединного діаметру
14	Морозні тріщини	не дозволено	не дозволено	дозволено
15	Ураження комахами (червоточини)	не дозволено	не дозволено	дозволено в незначній кількості – в середньому до 10 отворів на 1 м довжини
16	Прорість закрита	не дозволено	дозволено	дозволено
			дозволено в заболоні та в центральній частині, сумарно до:	
17	Гнилизна	не дозволено	1/5 серединного діаметру з виходом на один торець ⁶⁾	до 1/3 серединного діаметру, з виходом на два торця або до 1/2 серединного діаметру, з виходом на один торець ⁶⁾
18	Грибні забарвлення, побуріння, плямистість	не дозволено	дозволено у межах 1/10 серединного діаметру	дозволено у межах 1/5 серединного діаметру

Примітки:

- 1) Обмеження за ознаками, що не включені до цих норм, повинні бути обумовлені контрактом.
- 2) Мінімальні розміри лісоматеріалів встановлено з урахуванням національних особливостей, пов'язаних з наявним досвідом заготівлі круглих лісоматеріалів, із загальним рівнем технічної оснащеності лісопромислових і деревообробних підприємств, а також із торговельною практикою лісового ринку країни.
- 3) За винятком положень, обумовлених контрактом.
- 4) Класифікацію за серединним діаметром в корі чи без кори слід погодити між продавцем та покупцем у контракті.
- 5) Складна кривизна допускається у межах половини простої кривизни, встановленої для кожного класу якості.

Рис. 1.4. Продовження таблиці що зазначає яка кількість і вид вад вільхи та берези [5]

1.3. Аналіз джерел літератури щодо можливих шляхів використання низькотоварної деревини

Наразі існує велика кількість потенційно корисної, але мало використовуваної деревини, яку можна перетворити на продукцію з доданою вартістю.

Під час аналізу лісових ресурсів мною було підмічено що ліси часто містять велику кількість деревини малого діаметра, яка недостатньо використовується. Такі надмірні посадки не лише підвищують ризик пошкодження комахами, хворобами, пожежами та посухою, але й вимагають значних витрат на управління. Пошук економічного та ринкового використання такої деревини може допомогти пом'якшити ці проблеми, надати можливості місцевим громадам та компенсувати витрати на управління лісами.

Деревина низькотоварна, часто відрізняються за якістю та структурою та виглядом, може бути ефективно використана для виготовлення різноманітних виробів, таких як стелажі, огорожі та меблі. Однак, оскільки ця деревина може мати недоліки, такі як нерівномірна текстура, тріщини чи нерівності, можна вдосконалити її зовнішній вигляд та стійкість за допомогою різних композиційних матеріалів.

Один з способів поліпшення властивостей низькотоварної деревини – використання епоксидної смоли. Епоксидна смола є міцним та стійким матеріалом, який може використовуватися для заповнення тріщин, склеювання розщеплених частин та надання деревині більшої стійкості. Змішуючи епоксидну смолу з фарбами або пігментами, можна також створювати цікаві декоративні ефекти та вдосконалювати зовнішній вигляд виробу.

Клей також може бути використаний для ліквідації недоліків в низькотоварній деревині. Сильний клей може з'єднати розділені частини та заповнити порожнечі, підвищуючи міцність та стійкість виробу. Важливо вибирати клей, який підходить для роботи з деревом і має хорошу адгезію.

Ще однією ефективною методикою є використання різних смол, наприклад, поліуретанової смоли. Ці смоли можуть бути нанесені на поверхню

деревини, утворюючи тонку захисну плівку, яка захищає виріб від вологи, подряпин та інших негативних впливів.

Використовуючи вищезгадані матеріали, можна створити вироби, які не лише мають покращену якість та стійкість, але й мають унікальний зовнішній вигляд завдяки можливості експериментувати з кольорами, текстурами та формами.

Такий підхід дозволяє максимально використовувати можливості низькотоварної деревини та створювати естетично привабливі та функціональні вироби. Надалі наведено можливі шляхи використання низько товарної деревини.

1.3.1. Вироби з епоксидної смоли

Увага до якості та довговічності є ключовою при виготовленні виробів з дерева та епоксидної смоли. Епоксидна смола є надзвичайно корисним матеріалом у меблевому виробництві, оскільки вона володіє рядом властивостей, які підсилюють якість та дизайн продуктів [6]. Комбінуючи дерево та епоксидну смолу, можна створювати вражаючі твори мистецтва, які відзначаються деталізацією текстури дерева та вираженою палітрою кольорів. Різноманітні проекти, від столів до серфінгу та обробних дощок зі смоли та дерева, а також прикрас, набирають популярність у світі дизайну інтер'єрів [6].

Висока міцність на розрив, хімічна стійкість та водостійкість роблять епоксидну смолу ідеальним вибором для меблів, особливо тих, які мають контакт з водою або хімічними речовинами. Її використання разом з деревом додає природного шарму та елегантності, створюючи меблі з унікальним дизайном та високою міцністю [6].

Епоксидна смола також відмінно підходить для захисту та обробки деревини. Вона не лише запобігає вологості, гнилі та іншим формам розкладу, але й підвищує міцність матеріалу, зберігає його текстуру та красу. Ця смола відмінно витримує важкі умови експлуатації, допомагає запобігти деформації через зміни температури та вологості і надає деревині гладку, блискучу поверхню [6]. До недоліків роботи із епоксидною смолою варто віднести необхідність великої уважності до термінів і часу заливання шарів смоли, щоб

запобігти утворенню бульбашок чи нерівномірному процесу твердіння смоли [6].

Смолу часто поєднують зі слемами з деревини. Слєбом називають заготівку матеріалу з оригінальним малюнком. Раніше даним терміном називали продукцію у каменеобробній галузі [7]. На сьогодні даним терміном більше називають деревину що розпилена в здовж стовбура деревини. Головною особливістю слєба є його оригінальність та неповторність що досягається завдяки оригінальній текстурі та наявності різних вад таких як тріщини, випадаючі чи загниваючі сучки, неприродні забарвлення, борозни від шкідників [7]. Через наявність даних вад в деревині, слєб можна назвати не товарною деревиною яка в силу дизайнерського розвитку дозволяє створювати вироби з великою доданою вартістю. Відбір відповідних порід деревини, таких як в'яз, дуб, карагач, модрина та горіх, є важливим для забезпечення якості та естетичного вигляду виробів [7].

Сушіння деревини перед використанням є також важливим етапом, що впливає на якість кінцевого продукту. Висушена деревина до 8% вологості забезпечує стійкість та довговічність виробу.

Науково-практична конференція про дослідження якості та тривалості меблевих виробів з дерева та епоксидної смоли підкреслила, що меблі з епоксидною смолою володіють високою міцністю та тривалістю [6]. Однак це залежить від якості використаних матеріалів, як правильно підготовлено поверхню перед застосуванням смоли, а також від техніки її нанесення та з'єднання елементів меблів. Важливими факторами є умови експлуатації та індивідуальний догляд за меблями. З правильною технологією виготовлення та догляду, меблі з епоксидною смолою можуть прослужити дуже довго [6].

Використання епоксидної смоли є ефективним методом для вирішення певних недоліків, які можуть виникнути при роботі з низькотоварною деревиною. Цей матеріал дозволяє приховати деякі дефекти та недоліки, а також надати виробам більш естетичний вигляд. Ось кілька

способів, якими епоксидна смола може бути використана для вдосконалення низькотоварної деревини:

- заповнення тріщин і щілин. Низькотоварна деревина може мати тріщини або щілини, які впливають на зовнішній вигляд. Епоксидна смола може бути використана для заповнення цих дефектів, створюючи рівну поверхню. Після затвердіння смоли, вона може бути оброблена та пошліфована для отримання гладкої поверхні [6];

- співвідношення текстур. Якщо текстура деревини нерівномірна або неоднакова, епоксидна смола може використовуватися для створення рівномірного покриття. Додавання смоли на поверхню деревини дозволяє створити однорідний вигляд і вирівняти текстуру [6];

- відновлення втрачених частин. Якщо деякі частини деревини відсутні або пошкоджені, епоксидна смола може бути використана для відновлення цих областей. Заповнення порожнечі або відламаних частин смолою дозволяє відновити структуру виробу [6];

- декоративні вставки та додатки. Епоксидна смола може бути використана для створення декоративних вставок або додатків, щоб додати унікальний дизайн виробу. Наприклад, можна вкладати кольорові пігменти чи навіть малюнки в смолу [6];

- захист від вологи та зносу. Покриття деревини епоксидною смолою допомагає захистити її від вологи, зносу та інших негативних факторів, зберігаючи вигляд та міцність виробу на тривалий час [6].

Важливо враховувати, що правильний вибір епоксидної смоли, а також правильна техніка її застосування, є ключем до досягнення високої якості та ефективності виробу.

1.3.2. Використання «мертвої» деревини дуба для виготовлення меблів

Аналізуючи літературні джерела було проаналізовано публікації, що присвячені використанню «мертвої» деревини дуба, зараженої шкідниками, для виготовлення меблевих виробів [8]. Автори аналізують різні методи дезінфекції деревини від шкідників, такі як антисептики, фумігація, обробка струмом

надвисокої частоти та термічна модифікація [8]. Визначають пріоритетний метод дезінфекції деревини, який є термічною модифікацією [8]. Автори проводять експериментальні дослідження термічної обробки деревини дуба з існуючими шкідниками, зокрема *Xyleborus dispar*, і доводять, що високі температури ($t > 110^{\circ}\text{C}$) забезпечують повну стерилізацію деревини. Вони також демонструють практичне застосування цього екологічного методу для виготовлення стільниць з деревини [8]. Стаття є науковою новизною, оскільки вона пропонує альтернативний спосіб використання мертвої деревини дуба, яка щорічно збільшується в Україні через всихання дубових деревостанів, і яка має низьку вартість. Стаття також має практичне значення, оскільки вона сприяє розвитку меблевої промисловості, яка використовує продукцію з більшою доданою вартістю [8].

1.3.3. Будівельні матеріали з сухостійної деревини сосни

Оглядаючи літературу з відкритих наукових джерел проаналізовано статтю, що досліджує фізико-механічні властивості сухостійної деревини сосни. Автори визначають показники щільності, модуля Юнга, межі міцності на розрив, стиск та згин за міжнародними стандартами ISO. Вони також аналізують вплив температури термічної обробки на механічні характеристики деревини. Метою статті було встановлення можливості використання деревини соснового сухостою як конструкційного матеріалу. Основні результати статті такі [9]:

- деревина сосни не ослабленої сушінням та сухостою з деревостанів I групи має найвищі показники щільності та міцності серед досліджених зразків [9];
- температура термічної обробки (77 та 120°C) не впливає суттєво на механічні властивості деревини сосни не ослабленої сушінням та сухостою з деревостанів I групи, що дозволяє розглядати таку деревину як конструкційний матеріал [9];
- для деревини сосни не ослабленої сушінням та сухостою з деревостанів I групи отримано рівняння регресії для залежності межі міцності

на розрив для статичного вигину від модуля пружності для статичного вигину [9].

1.3.4. Утворення облицювального матеріалу

Під час пошуку інформації для написання магістерської роботи проаналізовано наукову роботу на тему: «Дослідження про використання облицювального матеріалу з матеріалу з відходів лісозаготівлі».

Основна технологія полягає в поздовжньо-торцевому струганні деревини малих діаметрів. Через що в результаті цього процесу отримують зрізи товщиною від 0,5 до 5 мм. Для проведення досліджень авторами було реалізовано вертикальний метод стругання зразка гілки. Для експериментальних досліджень використовувались гілки свіжозрубаної сосни вологістю більше 60% і діаметром 60 мм. Якість зрізів визначалась оптичним методом з допомогою мікроскопу МИС-11, та становила 60 мкм, це показує що метод стругання що запропонований авторами дозволяє отримати нижчу шорсткість поверхні [10]. Так як гілка під час стругання мала вологість 60 % то сушіння зрізів проводилось за температури 100 градусів, а для запобігання жолобленню зрізи затискали у перфорованих касетах. Для личкування торцевими зрізами плити ДСП, перші вкладались поверх попередньо сформованого килима стружки [10].

Ця технологія може бути використана в сфері виготовлення стінових панелей з низькоякісної деревини, так як вона дозволяє отримати деревинно композиційний матеріал з декоративним ефектом і високою зносостійкістю. Такий матеріал може бути застосований для личкування стін, стільниць, дверей, меблевих фасадів тощо [10].

1.3.5. Виготовлення деревиннокомпозиційного матеріалу з лісосічних відходів

Ця тема розкрита у авторефераті дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук у галузі технології деревообробки. Автор досліджує технологічні особливості виготовлення деревинно-композиційного матеріалу з лісосічних відходів, таких як гілки, які не ефективно

використовуються в інших виробництвах. Автор запропонував новий спосіб отримання деревного компоненту для таких плит методом роздавлювання, що дозволяє зберегти природну міцність волокон [11].

Також автор обґрунтував структуру деревинно-композиційних плит з пелетив кількох фракцій із різною орієнтацією волокон, які отримують методом роздавлювання. Автор також розробив реологічну модель багат шарового деревинно-композиційного матеріалу для оцінки часу формостабільності та визначив раціональні параметри режиму пресування, які забезпечують необхідні фізико-механічні властивості та формостабільність деревинно-композиційних плит. Автор провів експериментальні дослідження з визначення фізичних та механічних властивостей отриманого деревинно-композиційного матеріалу та показав його перспективність та альтернативність плитам OSB [11].

Суть інновації, яку запропонував автор, полягає в тому, що він використовує гілки дерев як сировину для виготовлення деревинно-композиційних плит. Зазвичай, гілки дерев є низькотоварними відходами, які не мають широкого застосування. Автор запропонував новий спосіб отримання деревного компоненту для плит методом роздавлювання. Таким чином, він створив новий матеріал, який має схожі властивості з плитами OSB, але використовує менше в'язучого, що робить матеріал більш екологічним. Ця інновація може сприяти покращенню екологічного стану довкілля та використанню лісосічних відходів [11].

1.3.6. Сувенірна продукція

На даний час існує інтерес до творчого та ефективного використання низько товарної деревини для створення сувенірної продукції. Цей підхід не тільки стає важливим екологічним рішенням, але також допомагає виготовити товари з доданою вартістю з продукції що не має широкого використання. Даний метод виготовлення потребує розуміння різноманітних технік і методів художнього перетворення деревини та приховування її недоліків [12].

Створення унікальних малюнків і декорацій на дерев'яних поверхнях розширює можливості використання низько товарної деревини. Яскраві кольори та різні техніки, можуть ефектно відвернути увагу від недоліків і створити вишуканий вигляд виробу. Техніка випалювання дає можливість красиво вирізати або випалити зображення на поверхні деревини. Ця техніка дещо ускладнює технологічний процес, але й дозволяє приховати дефекти або нерівності. Гравіювання для створення глибоких рельєфів і зображень, які можуть приховати недоліки матеріалів може бути розумним способом приховати недоліки та додати вишуканості продукту [12].

Поєднання цих прийомів не тільки надає сувеніру кращого вигляду, але й розкриває творчий потенціал роботи з деревиною низької якості. Такий підхід дозволяє створювати унікальні та красиві вироби, які вражають своєю вишуканістю та стилем [12].

1.3.7. Використання амбарної деревини

Амбарна деревина відноситься до деревини, яка була врятована зі старих сараїв або інших споруд. Ця деревина часто цінується за її зовнішній вигляд і унікальний характер, оскільки вона, можливо, набула певного вигляду від багаторічного впливу стихії [13, 14].

Процес отримання амбарної деревини зазвичай включає ретельний демонтаж конструкції, збереження деревини, а потім підготовку її до повторного використання. Після порятунку деревину можна очистити, видалити цвяхи та фрезерувати, щоб видалити будь які недоліки чи пошкодження. Загалом, обробка амбарної деревини передбачає поєднання збереження, очищення та, можливо, повторну обробку, щоб підготувати її до використання в різних проектах, таких як меблі, підлога або декоративні акценти [13, 14].

Демонтована дошка з будівель 19–20 століття має лицьову сторону, оброблену спеціальними щітками, зберігаючи природну, оригінальну патину та фактуру. Зі зворотного боку вона гладка. Ці старовинні дошки використовуються для облицювання стін, стель, при облаштуванні

перегородок, ширм. Цей вид старих дощок найбільш зручний для виготовлення меблів таких як ресепшн, бар, комод, журнальний столик, шафа та інші [13, 14].

Амбарна деревина в оформленні дає можливість створити атмосферу інтер'єру з багатою старовинною історією. Такий матеріал можна використовувати як у замських будинках, так і квартирах, ресторанах, барах, а також для створення атмосферної фотозони або для зонування приміщення [13, 14].

Отже низькотоварна деревина, завдяки своїй легкості та пористості, є ідеальним матеріалом для виготовлення штучної амбарної деревини. Цей процес зазвичай включає обробку деревини спеціальними речовинами для надання їй вигляду старовинної та зношеної, що є характерним для амбарної деревини. Також можливе застосування технік штучного старіння, таких як патинування, щоб досягти бажаного ефекту. Важливо зазначити, що при виробництві штучної амбарної деревини необхідно дотримуватися екологічних стандартів та використовувати безпечні для здоров'я матеріали.

РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ФІЗИЧНИХ ТА МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕРЕВИНИ

2.1. Аналіз існуючих методик визначення властивостей деревини до формостійкості

Методика проведення дослідження формостійкості клеєних щитів з масивної деревини дуба наведена в роботі [41]. Вона полягає виготовленні експериментальних зразків розміром 18×280×380 мм, із деревини дуба. Під час склеювання заготовок було дотримано відповідних вимог [41]:

- вологість деревини не перевищувала 8 % [41];
- різниця вологості між двома сусідніми заготовками не перевищувала 2 % [41].

Шорсткість поверхні заготовок для склеювання на гладку фугу не перевищувала 200 мкм для параметра шорсткості $R_m \text{ max}$. Заготовки склеювали у щити на гладку фугу за допомогою полівінілацетатного клею CASCOL 3326, який забезпечує необхідну міцність, стійкість до тепла й води, а також є безпечним для здоров'я [41].

Експеримент був спрямований на дослідження впливу агресивного середовища на деформацію клеєних щитів, зокрема їх розбухання і прогин після циклів розбухання та всихання. Дослідження тривало протягом 30 діб, протягом яких щоденно змінювалися температура і відносна вологість повітря для моделювання умов, характерних для кухні. Експеримент поділено на 6 етапів, кожен з яких включав кілька днів із циклічними змінами температури та вологості. Ураховано, що приготування їжі в середньому займає 4-5 годин на добу, протягом яких температура повітря змінювалася від 18 до 25-30 °С, а відносна вологість – від 50 до 92 %. Це впливало на деревину, спричиняючи її розбухання й усихання, що, в свою чергу, призводило до деформацій фасадних деталей. За нормальних умов відносна вологість повітря була в межах 60–65 %, а для створення агресивного середовища її підвищували до 70–75 % і, в окремих випадках, до 92 %. Під час проведення експерименту для визначення

величини розбухання та прогину клеєних щитів після їх розбухання й всихання, прийняті за вихідні значення, на результат впливали й інші фактори, які було поділено на три основні групи [41]:

- змінні чинники: ширина заготовок і нахил річних шарів. За результатами аналізу спеціалізованої літератури та попередніх досліджень було встановлено значення для змінних чинників: ширина заготовок (В) у межах 40,0...100,0 мм, нахил річних шарів (Р) – від 0 до 90° [41];
- постійні чинники: порода деревини – дуб, товщина заготовок – 18 мм, використаний клей – ПВА-дисперсія (CASCOL 3326) [41];
- Збурюючі чинники: відносна вологість навколишнього середовища в межах 50...92 %, температура повітря 18...30 °С, вологість зразків $6...8\pm 1$ %, тривалість впливу агресивного середовища – приблизно 4 години щоденно протягом 30 діб [41].

Вивчення стійкості стінових панелей до змін умов навколишнього середовища є важливим аспектом у столярному виробництві. Методики, розроблені на основі досвіду випробувань дверних полотен, дозволяють глибше зрозуміти, як коливання вологості та температури впливають на формостійкість клеєних дерев'яних конструкцій. Це знання є ключовим для забезпечення довговічності та надійності виробів, особливо в умовах, що часто змінюються. Розробка точних методик випробувань для стінових панелей не тільки підвищує якість кінцевого продукту, але й сприяє створенню більш стабільних та безпечних конструкцій для використання в будівництві та дизайні інтер'єрів. Таким чином, інтеграція цих методик у виробничий процес може значно покращити загальні характеристики столярних виробів, забезпечуючи їх відповідність сучасним стандартам якості та довговічності тому було додатково оглянуто і наведено методики випробування на формостійкість дверних полотен [69].

Згідно із методикою визначення формостійкості дверних полотен у ДСТУ Б В.2.6-99:2009 випробування дверних полотен наступне: зразком є полотно одноствулкового дверного блока або два полотна двостулкового дверного блока.

Кількість зразків для випробувань визначають залежно від обсягу партії, але не менше трьох. Випробувальне обладнання та вимірювальні засоби: штангенциркуль, комплект щупів, контрольна лінійка. Проведення випробувань: дверне полотно встановлюють і закріплюють у вертикальному положенні так, щоб не викликати його деформацій, точки для вимірювання відхилення кута дверного полотна від площинності мають бути на відстані не більше 20 мм від його країв. Точки кутів мають розміщуватись в одній площині, відхилення кута полотна від площинності вимірюють штангенциркулем і плоским щупом як відстань між точками, відхилення країв полотна від площинності визначають у місцях найбільшого відхилення від прикладеної контрольної лінійки з чотирьох боків, вимірювання відхилення кута полотна та його країв від площинності проводять із похибкою $\pm 0,1$ мм [69].

Відхилення полотна від площинності визначають як середнє арифметичне значення двох вимірювань [69].

2.2. Методика досліджень властивостей низькотоварної деревини для встановлення можливості її використання під час виготовлення готової продукції

Декоративні стінові панелі, які з кожним роком набувають все більшої популярності, є не лише естетичним, але й функціональним рішенням для облаштування інтер'єрів. Одними із ключових експлуатаційних характеристик цього матеріалу є його екологічність, вогнестійкість, стійкість до побутових хімічних речовин, вологостійкість, теплопровідність, зносостійкість, здатність утримувати металеві кріплення та простота монтажу. Виготовлені з природних компонентів, вони не шкодять здоров'ю людини та не впливають негативно на навколишнє середовище. Вогнестійкість стінових панелей забезпечує додатковий рівень безпеки, оскільки вони здатні уповільнити поширення вогню у випадку пожежі. Стійкість до побутових хімічних речовин дозволяє панелям не втрачати свій естетичний вигляд під час прибирання, також стійкість дозволить протистояти речовинам що могли бути випадково пролиті. Так як

зробити монолітну панель досить важко і зовсім не доцільно в даному випадку. Також слід звернути увагу на здатність панелі утримувати металеві кріплення, що відіграють ключову роль у забезпеченні надійності та довговічності конструкції. Вони мають бути спроектовані так, щоб ефективно розподіляти навантаження та запобігати пошкодженню панелей. Здатність утримувати металеві кріплення залежить від матеріалу та типу кріплення. Наприклад, деревина як конструкційний матеріал має хорошу здатність утримувати кріплення, такі як цвяхи чи шурупи, завдяки своїм фізико-механічним властивостям, в той час як більш рихла за своєю структурою ДСП справляється із поставленим завданням гірше. Вологостійкість для використання в приміщеннях з високою вологістю, таких як ванні кімнати чи кухні. Простота монтажу дозволяє легко та швидко встановити панелі, не вдаючись до складних будівельних процедур. Низька теплопровідність дозволяє, навіть, декоративному виробу надати оселенню не лише декоративних ознак а й при правильному підході зменшити тепловтрати в приміщенні. Таким чином, декоративні стінові панелі є відмінним вибором для тих, хто цінує красу, довговічність та екологічність у своєму домі чи офісі. Здатність до звукоізоляції дозволяє декоративний виріб зробити більш функціональним адже використання матеріалів, які поглинають звук дозволяє ефективно блокувати передачу звукових хвиль і знижувати рівень шуму, що є актуальним як в житлових приміщеннях так і в офісних.

Використання дерев'яних стінових панелей в інтер'єрі створює серйозну проблему щодо вогнестійкості виробу, так як деревина є легкозаймистою сировиною і в інтер'єрах завжди є ризик загоряння. Деревина широко використовується як конструктивний або декоративний елемент у будівництві, і необхідно профілактично захищати її антипіренами [21]. Питання пожежної безпеки мають велике значення, і вимоги до застосування повинні бути дотримані. Для того, щоб відповідати стандартам, дерев'яні стінові та стельові панелі в громадських місцях повинні відповідати двом суворим

випробуванням: на реакцію на вогонь (тест на займистість) та одному тесту на горіння, або SBI, які передбачені європейськими стандартами [22, 23].

Щоб забезпечити екологічність слід звернути увагу на сертифіковані варіанти деревини, які мають ознаку відповідального вибору постачальників та екологічної турботи. Сертифікати ланцюга зберігання FSC та PEFC і гарантування, що закупівлі надходять із добре керованих лісів з екологічною цілісністю. Використання екологічно чистого виробу не тільки узгоджує бачення дизайну з екологічними цінностями, але й сприяє сталому та регенеративному підходу до декору інтер'єру. Вибір декоративних дерев'яних панелей з екологічно чистим слідом не тільки підвищує візуальну привабливість вашого простору, але й сприяє відчуттю відповідальності за нашу планету, роблячи кожен вибір дизайну кроком до більш сталого майбутнього [24].

Також важливо, щоб деревина не була хімічно оброблена та не мала шкідливих речовин, а замість цього була покрита безпечними, екологічно безпечними або органічними засобами. Це забезпечує не тільки безпеку для здоров'я людини, але й сприяє збереженню навколишнього середовища. Матеріал, з якого виготовляються панелі, має виключати наявність шкідливих хімічних сполук, таких як формальдегід, який може викликати алергічні реакції або інші проблеми зі здоров'ям.

Виготовлення декоративних панелей часто включає використання MDF, що є основою для подальшого приклеювання декоративних елементів. Композиційна плита є популярним виробом через її гладкість, рівномірність та легкість у обробці. Однак, MDF може виділяти формальдегід – летку органічну сполуку, яка може мати довгострокові негативні наслідки для здоров'я, особливо при тривалому вдиханні. Щоб мінімізувати ризики, важливо застосовувати методи, які запобігають випаровуванню формальдегіду:

- закрюкування країв MDF та личкування пластів плівками є одним із способів обмеження випаровування формальдегіду. Цей процес включає нанесення захисного шару на краї плити, що може бути зроблено за допомогою

спеціальних кромок або лаків, які блокують випаровування шкідливих речовин [25, 26].

- також існують MDF плити з низьким вмістом формальдегіду, які виробляються з використанням клеїв з низьким випаровуванням цієї сполуки. Вибір таких матеріалів може значно знизити ризик випаровування формальдегіду, навіть без додаткових заходів захисту [25, 26].

У сукупності, правильне закріплення та покриття MDF ламінацією, а також вибір матеріалів з низьким вмістом формальдегіду допомагає не тільки захистити здоров'я людей, які працюють з цими матеріалами, але й забезпечують довговічність та високу якість кінцевого продукту [25, 26].

Якщо декоративна панель буде використовуватись у приміщенні з підвищеною вологістю або ж ззовні приміщення то слід також подумати про те з яких матеріалів і чим вона має бути оброблена для того щоб під дією вологи матеріал не зазнавав деформації або пошкоджень. Під вологостійкою деревиною мається на увазі деревина, яка в тій чи іншій мірі або повністю стійка до вологи та гниття. Цей тип деревини не почне жолобитися або тріскатися навіть при постійному контакті з водою. Теоретично водонепроникний матеріал – це те, що повністю стійке до води або не пропускає вологу через свою поверхню. Жодна натуральна деревина не є на 100% водостійкою. Більшість деревини, яка продається як водонепроникна, є лише стійка до вологи, але вбирає трохи вологу, якщо постійно піддається її впливу. Однак також доступні методи покращити стійкість до води – вони полягають в зануренні деревини в суміш хімічних розчинів на основі консервантів і гідроізоляційних агентів. Вони проникають у клітинну структуру та допомагають захистити деревину від вологи та гниття [28, 29]:

- термічне оброблення деревини.

Деревина піддається впливу високих температур, щоб змінити її хімічну структуру та підвищити водостійкість. Таким чином, матеріал менше пропускає вологу і рідше уражається грибками і бактеріями [28, 29].

- Використання герметиків і покриттів

Вони створюють фізичний бар'єр, який запобігає проникненню води в структуру деревини. Герметики зазвичай виготовляються з масла, синтетичних смол або полімерів [28, 29].

- Просочення натуральними маслами

Такі олії, як лляне, тикове або тунгове масло відповідають за закриття пір деревини та підвищення її стійкості до вологи. У той же час вони підкреслюють свою природну красу [28, 29].

- Силіконові сполуки, та інші речовини

Вони утворюють на поверхні деревини водонепроникний бар'єр, який перешкоджає проникненню води всередину [28, 29].

Для плит MDF можуть під час виготовлення додавати парафін що забезпечує водовідштовхувальні властивості, а з додатковою ламінацією та кромкуванням усіх торців плита стає ще більш вологонепроникною [28, 29].

Дерев'яні декоративні панелі, відомі своєю естетичною привабливістю та здатністю додавати тепло та характер будь-якому простору, також мають важливу експлуатаційну характеристику – теплоізоляцію. Використання деревини як ізоляційного матеріалу має довгу історію, адже деревина має низьку теплопровідність завдяки своїй пористій структурі, що дозволяє зберігати тепло взимку та прохолоду влітку. Це робить дерев'яні панелі ідеальним виробом для внутрішнього оздоблення, особливо в регіонах з холодним кліматом або для будівель, де необхідно зберігати стабільну температуру [31, 34].

Теплоізоляційні властивості дерев'яних панелей можуть бути покращені за допомогою додаткових матеріалів, таких як мінеральна вата або спеціальні ізоляційні плівки, які встановлюються за панелями. Це дозволяє створити більш ефективну теплоізоляційну систему, яка зменшує втрати тепла та сприяє енергоефективності будівлі. Крім того, деякі сучасні технології дозволяють обробляти дерев'яні панелі спеціальними речовинами, які підвищують їхню стійкість до вогню та вологи, що також може позитивно вплинути на їхні теплоізоляційні характеристики [31, 34].

Вибір дерев'яних декоративних панелей для будь-якого проекту повинен базуватися на ретельному аналізі їхніх характеристик та вимог до експлуатації. Це дозволить не тільки досягти бажаного естетичного ефекту, але й забезпечити довговічність, функціональність та комфорт приміщення. Теплоізоляція є ключовим фактором, який необхідно враховувати, оскільки вона впливає на енергоефективність та екологічність будівлі, а також на здоров'я та комфорт її мешканців. Таким чином, дерев'яні декоративні панелі є не тільки красивим, але й практичним рішенням для сучасного будівництва [31, 34].

Звукоізоляційні властивості є ключовими параметром при виготовленні декоративних стінових панелей, оскільки вони забезпечують не лише естетичний вигляд, але й комфорт та приватність у приміщенні. Використання звукоізоляційних матеріалів дозволяє значно знизити рівень зовнішнього шуму, що особливо важливо для багатоповерхових будинків, де проблема шуму від сусідів може бути досить актуальною. Панелі, що мають звукоізоляційні властивості, можуть бути виготовлені з різних матеріалів, таких як пористі або тверді волокна, які поглинають або відбивають звук, відповідно [33].

Серед декоративних дерев'яних панелей що мають звукоізоляційні властивості слід відзначити панелі Tetrakustik (рис. 2.12)



Рис. 2.12. Панелі Tetrakustik [33]

Панельна система Tetrakustik складається з міцних декоративних панелей, створених з пресованого деревного волокна від 1 до 3 мм, відомого як фіброліт. Ці панелі є повністю натуральним продуктом, виготовленим з деревини високої

якості, мінерального зв'язуючого агента та води. Комбінація природних характеристик деревини з мінеральним зв'язуючим агентом робить панелі високо вогнетривкими. Для виробництва панелей використовується лише деревина з сертифікованих лісових господарств, сертифіковану за стандартом PEFC що гарантує їхню «біологічну безпеку» як будівельного матеріалу [33].

Панелі Tetrakustik дозволяють покращити акустичний комфорт у приміщенні завдяки високим звукопоглинаючим властивостям.

Графіки ревербераційних коефіцієнтів звукопоглинання (рис. 2.13):

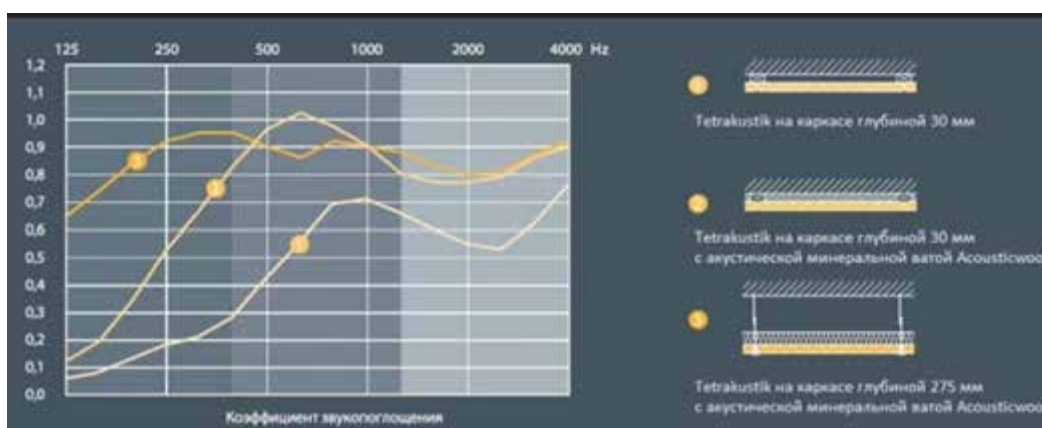


Рис. 2.13. Графіки ревербераційних коефіцієнтів звукопоглинання [33]

Такі панелі не тільки покращують звукоізоляцію, але й можуть виконувати декоративну функцію, зберігаючи при цьому звук всередині приміщення. Це робить їх багатофункціональними, що є великою перевагою, особливо в умовах обмеженого простору. Невелика товщина та вага таких панелей спрощують їх транспортування та монтаж, не навантажуючи при цьому конструкцію стін. Простота монтажу звукоізоляційних панелей також є важливою, оскільки вона не вимагає спеціальних інструментів чи підготовчих робіт зі стінами, що економить час та кошти [33].

Панелі Tetrakustik монтуються на несучий каркас з дерев'яного бруса 30x60мм, змонтованого з кроком 300/600 мм. Панелі Tetrakustik закріплюються до дерев'яного каркаса за допомогою саморізів або цвяхів за допомогою пневматичного будівельного пістолету [33].

Для розширення діапазону звукопоглинання панелі Tetrakustik рекомендується застосовувати спільно з плитами з акустичної мінеральної вати

AcousticWool товщиною 20 мм. Під час проведення монтажу акустична мінеральна вата укладається у внутрішній простір каркасу облицювання стін [33].

Панелі Tetrakustik фарбуються лакофарбовими матеріалами на водній або синтетичній основі. Практично будь-який тон можна вибрати з найпоширеніших колірних систем, таких як RAL, NCS, StoColor, Caparol 3 D Plus [33].

Загалом, звукоізоляційні властивості декоративних стінових панелей відіграють вирішальну роль у створенні комфортного житлового або робочого простору, де можна насолоджуватися тишею та спокоєм, незалежно від зовнішніх шумів [33].

Формостійкість дерев'яних декоративних панелей є ключовим аспектом при виборі матеріалів для обробки інтер'єрів. Деревина, як природний матеріал, володіє унікальними естетичними характеристиками та забезпечує тепло і затишок простору. Водночас, важливо враховувати її здатність зберігати форму і структуру під впливом різних факторів, таких як вологість і температурні коливання. Декоративні панелі з деревини можуть бути виготовлені з масиву, MDF, ДСП, а також з використанням шпону цінних порід дерева, що дозволяє досягти бажаного зовнішнього вигляду за більш доступною ціною.

Для приміщень з високою вологістю, таких як кухні та ванні кімнати, рекомендується використовувати дерев'яні панелі з вологостійким покриттям. Це допомагає запобігти деформації та забезпечує довговічність матеріалу. Монтаж дерев'яних панелей також є важливим етапом, який впливає на їх формостійкість. Загальні принципи монтажу включають правильну підготовку поверхні, використання спеціальних кріплень та дотримання технології укладання, що забезпечує рівномірне розподілення навантаження і запобігає виникненню напруг у матеріалі.

Вибір дерев'яних декоративних панелей залежить від багатьох факторів, включаючи стиль інтер'єру, особисті переваги, а також практичність використання. Незалежно від вибору, дерев'яні панелі додають приміщенню

унікальний характер і створюють приємну атмосферу. Завдяки сучасним технологіям обробки деревини, можливо досягти високої формостійкості та довговічності, що робить дерев'яні декоративні панелі популярним виробом для оформлення інтер'єрів.

Аналізуючи наукову статтю[40], можна зрозуміти що ступінь жолоблення плит після розкроювання часто перевищує допустимі норми, що пов'язано з порушенням рівноважного стану плити під час її розкроювання. До обробки плита перебуває в рівновазі, однак після розкрою цей стан порушується. Схожа проблема виникає при калібруванні щитових заготовок перед личкуванням [40].

Початкові внутрішні напруження у поперечних перерізах заготовки є врівноваженими, проте калібрування призводить до їх зміни. Зокрема, калібрування з одного боку заготовки викликає її викривлення у напрямку зняття матеріалу. Калібрування опуклого боку заготовки зменшує стрілу прогину, тоді як калібрування увігнутого боку призводить до її збільшення [40].

При двосторонньому обробленні заготовок, коли знімають шари однакової товщини з обох боків, спостерігається зменшення початкової величини жолоблення. Проте, після цієї операції, заготовки все ще демонструють порушену формостійкість у вигляді залишкового жолоблення.

Операція личкування шпоном є критичною, оскільки саме на цьому етапі формуються конструктивні властивості щитових заготовок. Під час личкування, незалежно від попереднього калібрування, відбувається часткове вирівнювання заготовок. Проте після короткого часу витримки заготовки можуть повторно деформуватися через відновлення напружень і подальшу дію пружних деформацій [40].

Витримка личкованих заготовок може проводитися в різних умовах: у вільному стані, в щільному стосі з або без додаткових навантажень, а також зі штучним охолодженням. Витримка спрямована на стабілізацію напружень і досягнення певної формостійкості заготовок. Важливо зазначити, що вільна витримка призводить до збільшення жолоблення, тоді як витримка в стосах під навантаженням або з прокладками допомагає зменшити його [40].

У дослідженнях, проведених у межах роботи [40], вивчався вплив різних методів підготовки поверхні заготовок під личкування шпоном, що дозволило зробити висновки про оптимальні способи стабілізації напружень та мінімізації жолоблення.

Заготовки, калібровані з обох боків зі зняттям рівних шарів, після личкування та витримки демонструють значно меншу величину жолоблення порівняно з тими, що калібровані лише з увігнутого або випуклого боків. Особливо помітно, що заготовки, калібровані з увігнутого боку, мають вдвічі більший ступінь жолоблення, ніж ті, що калібровані з випуклого боку або з обох боків [40].

Процес личкування допомагає випрямити заготовки, причому після вивільнення з-під пресу їх прогин зменшується майже вдвічі. Цей ефект особливо виражений у заготовках, що були калібровані з обох боків. Зменшення стріли прогину пояснюється тим, що під час личкування заготовки повністю випрямляються під тиском преса, а процес затвердіння клею фіксує їх форму. Напруження стиснення, що виникають на увігнутому боці, не можуть перевищити межу міцності клеєного з'єднання, що додатково сприяє зменшенню жолоблення [40].

Витримка заготовок у щільному стосі є ефективним способом зменшення стріли прогину. Для заготовок, які калібровані різними методами, процес зменшення прогину відбувається плавно та рівномірно. Щитові заготовки, що личковані в одноциклових пресах з тривалістю циклу 45–60 секунд, достатньо витримувати протягом 24 годин або більше для досягнення стабільності [40].

Охолодження заготовок має бути рівномірним з обох боків. Недотримання цих умов може призвести до збільшення жолоблення відносно початкового стану. Нерівномірне охолодження спричиняє виникнення залишкових напружень, що мають різну інтенсивність на кожному боці заготовки. При інтенсивному охолодженні напруження стають значними, а розподіл їх по перетину заготовки стає асиметричним, що зрештою призводить до жолоблення під час витримки [40].

У науковій статті [41] вказано, що Клеєний щит великої ширини необхідно виготовляти із вузьких заготовок. Це пояснюється тим, що широкі клеєні конструкції більш схильні до жолоблення через вплив розташування волокон, напрямку річних шарів та різні зони деревини в окремих ділянках. Залежно від того, як розташовані річні шари і волокна в заготовках, що використовуються для склеювання щита, не завжди вдається уникнути жолоблення під час його експлуатації [41].

Наприклад, якщо щит склеюється з широких ділянок тангенціального випилювання з річними шарами, що йдуть в одному напрямку (рис. 2.14), жолоблення буде однобічним, і поверхня залишиться гладкою. Проте, якщо заготовки розташувати по чергово з річними шарами у двох напрямках (рис. 2.15), то жолоблення стане складнішим, а поверхня щита буде хвилястою [41].

Викривлення заготовок тангенціального випилювання пов'язане з різницею в ступені всихання між ранньою і пізньою деревиною. Пізня зона всихає більше, через що річне кільце прагне вирівнятися, спричиняючи жолоблення заготовки [41].

Клеєний щит з ділянок радіального випилювання, де річні шари розташовані перпендикулярно до площини (рис. 2.16), зазвичай не піддається жолобленню. Однак його поверхня може бути нерівною через неоднакове всихання заболонної та ядрової частин деревини [41].



Рис. 2.14. Клеєний щит з широких ділянок тангенціального випилювання із розміщенням в однаковому напрямку річних шарів [41]



Рис. 2.15. Клеєний щит з широких ділянок тангенціального випилювання із розміщенням в перемінному напрямку річних шарів [41]

Для забезпечення належної якості клеєних щитів, зокрема їх стійкості до деформацій, оптимальним рішенням є склеювання щитів із вузьких ділянок радіального випилювання, взятих із заболонної або ядрової частини деревини. Важливо розташовувати ці ділянки так, щоб напрям волокон на сусідніх сегментах був розвернутий на 180° один відносно одного (рис. 2.17), при цьому зберігаючи декоративні властивості поверхні. Однак, цей метод, хоч і підвищує якість та стійкість щитів, не завжди є оптимальним з точки зору раціонального використання сировини, витрат праці та фінансових ресурсів [41].

У науково-технічній літературі питання вибору оптимальної ширини заготовок для виготовлення клеєних щитів залишається дискусійним. Одні фахівці вважають, що співвідношення ширини ділянки до її товщини не повинно перевищувати 1,5 раза, тоді як інші допускають співвідношення до 2,2. Деякі науковці дотримуються думки, що максимально допустима ширина брусків із масивної деревини для виготовлення меблів не повинна перевищувати 100 мм [41].

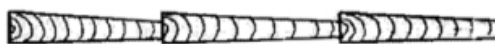


Рис. 2.16. Клеєний щит з широких ділянок радіального випилювання, річні шари яких розміщені перпендикулярно до площини [41]

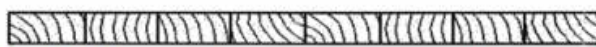


Рис. 2.17. Клеєний щит з широких ділянок радіального випилювання, річні шари яких розміщених так, щоб напрям волокон на сусідніх ділянках був розвернений на 180 градусів один від одного [41]

Аналіз методики проведення досліджень наведений в роботі [41] показав, що для виготовлення експериментальних зразків (розміри $18 \times 280 \times 380$ мм) було використано деревину дуба. При склеюванні заготовок дотримувалися всіх вимог: вологість деревини не перевищувала 8 %, а різниця вологості між двома сусідніми заготовками складала менше 2 %. Шорсткість поверхні при склеюванні на гладку фугу не перевищувала 200 мкм за параметром шорсткості

Rm max. Для склеювання заготовок у щити використовувався полівінілацетатний клей CASCOL 3326, який відповідає вимогам міцності, стійкості до тепла, води і є безпечним для здоров'я [41].

Експеримент з дослідження впливу агресивного середовища на жолоблення клеєних щитів, а також на їх розбухання і стрілу прогину після розбухання та всихання, тривав 30 діб. Агресивні умови, створені під час експерименту, імітували умови кухонної кімнати. Експеримент було поділено на 6 етапів, кожен з яких тривав кілька днів. Щодня циклічно змінювалися температура та відносна вологість повітря до необхідних значень. Враховувалося, що під час приготування їжі протягом 4–5 годин на добу відбувається зміна температури повітря від 18 до 25–30 °С, а відносна вологість змінювалася від 50 до 92 %. Такі коливання негативно впливають на деревину, викликаючи її розбухання та всихання, що може призвести до жолоблення фасадних деталей. В нормальних умовах вологість повітря трималася на рівні 60–65 %, а для створення агресивного середовища її підвищували до 70–75 %, а іноді до 92 % [41].

Говорячи про формостійкість слід також згадати за ваду деревини таку як сучки. Сучки в деревині можуть суттєво впливати на її формостійкість, особливо під час склеювання. Це пов'язано з тим, що сучки створюють неоднорідності в структурі деревини, що може призводити до нерівномірного розподілу напружень і, як наслідок, до деформацій. Під час процесу склеювання, ці неоднорідності можуть ускладнити з'єднання, оскільки клейові речовини можуть взаємодіяти з сучками інакше, ніж з рештою деревини. Також, сучки можуть впливати на процеси сушіння деревини, що є важливим етапом перед склеюванням. Тому, для забезпечення якісного склеювання і формостійкості, важливо враховувати наявність сучків і відповідно адаптувати технологічні процеси [39, 42–44].

Коли справа доходить до міцності та довговічності, мертві вузли зазвичай забезпечують кращу стабільність і надійність порівняно з живими вузлами. Мертві менш схильні до випадання або викликання структурних слабкостей в

деревині. Їх порожнечі можна заповнити наповнювачами або епоксидною смолою, забезпечуючи більш однорідний і міцний матеріал. З іншого боку, живі вузли можуть створювати проблеми з точки зору стабільності та потенційної слабкості. У міру зростання дерева живі можуть змінюватися в розмірі та формі, що може призвести до розтріскування, деформації або відділення від навколишньої деревини [39, 42–44].

Для того щоб нівелювати порушення формостійкості деревини із сучками можна використати спеціальну методику склеювання яка забезпечить кращу форм остійкість склеєного виробу.

Точкове склеювання деревини є важливим процесом у виробництві столярних виробів, який значно впливає на формостійкість готових виробів. Цей метод дозволяє з'єднувати окремі шматки деревини в єдину конструкцію, забезпечуючи не тільки естетичну цілісність, але й механічну міцність. Використання точкового склеювання дозволяє контролювати внутрішні напруження в деревині, що є критично важливим для збереження форми виробу під час експлуатації. Згідно з дослідженнями, оптимальне співвідношення товщини до ширини рейки при склеюванні може значно підвищити формостійкість столярних плит. Крім того, точкове склеювання дозволяє використовувати вторинні ресурси деревини, що не тільки економічно вигідно, але й сприяє збереженню довкілля [45–47].

Вживана деревина, з низькою вологістю та стабільними внутрішніми напруженнями, підходить для виготовлення столярних плит, оскільки ці характеристики позитивно впливають на формостійкість. Таким чином, точкове склеювання відіграє ключову роль у забезпеченні довговічності та надійності дерев'яних конструкцій [45–47].

Суцільне склеювання деревини з сучками є технологією, яка може істотно вплинути на формостійкість матеріалу. Сучки в деревині можуть виступати як точки концентрації напружень, що під час склеювання можуть бути в структурі матеріалу, зменшуючи ймовірність виникнення тріщин та інших дефектів. Водночас, сучки можуть знижувати однорідність деревини, що

потенційно може вплинути на її міцність та еластичність. Дослідження показують, що правильно виконане склеювання може покращити фізико-механічні властивості деревини, зокрема її міцність, деформативність та вологостійкість. Модифікація деревини перед склеюванням, така як термічна обробка або просочення спеціальними речовинами, також може сприяти підвищенню формостійкості готового продукту. Важливо зазначити, що процеси сушіння та захисту деревини перед склеюванням відіграють критичну роль у забезпеченні якості клеєного з'єднання та стабільності форми виробів. Таким чином, суцільне склеювання деревини з сучками, за умови дотримання технологічних норм та використання якісних матеріалів, може значно підвищити формостійкість, а також інші експлуатаційні характеристики дерев'яних конструкцій [45–47].

РОЗДІЛ 3 ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПРІОРІТЕТНОГО МАТЕРІАЛУ ДЛЯ СТІНОВИХ ПАНЕЛЕЙ

3.1. Опис властивостей обраних матеріалів

Термін «низькотоварна деревина» може вказувати на деревину низької якості або низької товарної цінності. Це може бути деревина, яка не відповідає високим стандартам якості або має обмежені використання через свої властивості. Така деревина може бути відокремлена від високоякісних частин дерева під час обробки або може включати менш цінні ділянки дерева, такі як гілки або серцевина, які не відповідають вимогам для використання у високоякісних виробках.

Деревина низької якості може бути використана для деяких виробів, де вимоги до якості менш суворі, наприклад, у виробництві палет, дерев'яних упаковок, або елементів конструкцій, де важливість зовнішнього вигляду менш висока.

Зокрема, низькотоварна деревина може включати в себе частини деревини, які зазвичай не використовуються у високоякісних виробках через їхню меншу міцність, неправильну форму або інші дефекти (рис. 3.1).



Рис. 3.1. Деревина що пошкоджена шашелем [48]

Обираючи породи деревини для порівняння, я виділив широкий спектр деревин, кожна з яких має свої унікальні властивості та характеристики. Такий підхід дозволяє провести зрозуміле та цікаве порівняння, особливо в контексті використання їх для різних цілей.

Дуб є однією з найпоширеніших і важливих порід деревини. Він відзначається високою міцністю і стійкістю, і використовується в будівництві, меблевому виробництві та інших галузях. Дуб також відомий своєю прекрасною текстурою і зносостійкістю. Ця порода деревини може слугувати як стандарт для порівняння з іншими породами [49].

Деревина дуба (рис. 3.2) славиться своєю високою міцністю і довговічністю. Вона витримує великі навантаження тому її часто використовують для виготовлення меблів та конструкцій. Деревина дуба має стійкість до розбухання [50].

Деревина дуба має природну красу і текстуру. Її гладка поверхня та природні відтінки можуть бути відмінно використані в меблевому виробництві та дизайні інтер'єру.

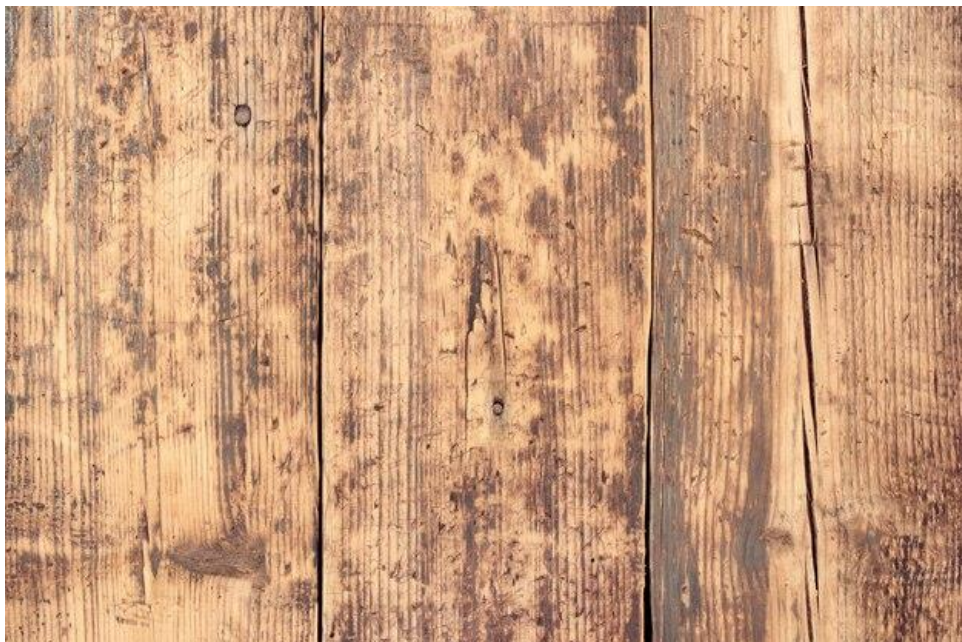


Рис.3.2. Деревина дуба [51]

Деревина сосни володіє своєрідними властивостями, такими як доступність, легкість та стійкість до вологи. Вона часто використовується для зовнішніх конструкцій, підлоги та ін. Порівняння її з дубом допомагає виділити

властивості, які можуть бути важливими при виборі деревини для конкретних завдань [52].

Текстура породи – груба, з дрібною зернистістю, є яскраво-виражений природний блиск (рис. 3.3). Пори розташовані рівномірно, присутні рясні смолянисті вкраплення. Колір ядра – жовтий і навіть червонуватий. При зберіганні та сушінні порода темніє. Світло-жовті тони набувають золотистого відтінку. Тобто, за забарвленням текстури можна відразу визначити скільки приблизно років деревині.



Рис.3.3. Текстура пиломатеріалу сосни [53]

Фізико-хімічні властивості сосни дуже цікаві. Заболонь породи легко уражається комахами та грибок. А серцевина стійка до будь-яких зовнішніх умов. Тому, при виготовленні вуличних конструкцій активно використовуються хімічні засоби захисту, якими обробляються заготовки з деревини.

Незважаючи на наявність смол, сосна чудово обробляється струганням, фугуванням, пилянням і фрезеруванням. Деревини утримує елементи кріплення, склеюється, фарбується, просочується та мориться. У рідких випадках, при підвищеному вмісті смол у заготовках, механічна ручна обробка деревини може бути ускладнена. На світовому ринку пиломатеріалів прийнято класифікувати деревину сосни за вмістом смол.

Вільха – це менш поширена, але все ж декоративна порода деревини з природними текстурами та красивою природною текстурою. Текстура вільхи слабо виражена. Річні шари помітні, але на радіальному зрізі практично не помітні [54].

Рідкі серцевинні промені на тангенціальному спилі утворюють довгі штрихи, на радіальному – вигнуті поблискуючі штрихи. На деревині зустрічаються серцевинні повторення у вигляді смужок, рисок, цяток, замкнених контурів, що нагадують серцевину.

При нагріванні деревини до 100 °С вона набуває малиновий тон, завдяки якому це дерево називають "червоним" (рис. 3.4).



Рис.3.4. Текстура деревини вільхи [55]

Присутність у фактурі вільхи мінеральних вкраплень створює схожість з мармуровими прожилками, які проявляються після обробки лаком. Механічні показники: деревина вільхи має низьку щільність. Має рівномірну будова і легко піддається обробці. Більш товсті рівні стовбури йдуть на виготовлення столярних виробів і виробів, інша, велика частина, йде на дрова. Вільхова деревина легка і м'яка, добре ріжеться. При сушінні дуже мало жолобиться, добре тримає форму, забарвлюється, протравлюється і полірується.

Вільха довго зберігає свої якості під водою – деревина дуже стійка до вологи. Використання: вільха широко використовується для виробництва меблів. У промисловості деревину обробляють парами нашатирного спирту, а потім пресують. За технічними і декоративними властивостями після такої

обробки дерева вільхи перевершує горіхову. Лущений шпон застосовується у виробництві фанери. Дерева добре обробляються ріжучими інструментами, її охоче використовують у скульптурному мистецтві. Ще в давні часи з неї точили всіляке кухонне приладдя. З розпареної вільхової дерева виготовляють гнуті меблі.

Дерева берези також відзначається своєю природною красою та текстурою. Вона може використовуватися для декоративних цілей та добре співвідноситься з іншими породами для надання інтер'єру вишуканості [56, 57].

Дерева берези однорідна, середньої щільності, характеризується високою міцністю. Однак, дерева схильна до загнивання і викривлення. Через свою міцність дерева берези знайшла широке застосування у виробництві деталей для інструментів (держакі лопат, рукоятки сокир і молотків). Ще одна основна сфера застосування берези – виробництво фанери [56, 57].

Дерева берези має світлу, нейтральну текстуру з яскраво вираженими волокнами та м'якими зернами. Ця текстура створює природний, теплий і нейтральний вигляд, який підходить для різних стилів дизайну і легко комбінується з іншими матеріалами [56, 57].

Дерева берези володіє гладкою поверхнею, що допомагає рівномірно наносити фарбу, лак або інші види фінішного покриття. Це робить її ідеальною для створення декоративних панелей з різними кольорами та декоративними ефектами [56, 57].

Дерева берези часто використовуються для виготовлення декоративних панелей, які можуть бути встановлені на стінах, стелях або меблях для додання стилю та художньої виразності приміщенням. Завдяки своїм властивостям вона є відмінним матеріалом для цих цілей і може створити неповторний дизайнерський ефект.

Дерева горіха (рис.3.5) має елегантний вигляд та красивий природний колір. Вона часто використовується для створення високоякісних меблів і декоративних виробів [58, 59].



Рис. 3.5. Текстура деревини горіха [60]

Порода горіха зазвичай темно-коричневого кольору, вона міцна, однорідна, щільна і пружна. До основних переваг можна віднести естетичний зовнішній вигляд, простоту в обробці, стійкість до механічних пошкоджень. Деревина горіха не схильна до псування цвіллю і бактеріями [58, 59].

Деревина горіха відзначається природною красою та багат шаровою текстурою з видимими волокнами і відтінками, які надають панелям природний та вишуканий вигляд. Ця текстура робить її ідеальною для декоративних панелей [58, 59].

Глибока, тепла кольорова палітра горіхової деревини, а також природні зернини та маркери роблять її ідеальною для створення ефектних декоративних панелей. Вона може додати природний шарм та ексклюзивний вигляд до приміщень [58, 59].

Загалом, низькосортна деревина горіха відмінно підходить для виготовлення декоративних панелей завдяки своїм природним красивим властивостям, міцності та обробним можливостям. Вона може надати приміщенням елегантність та неповторний стиль [58, 59].

Всі ці породи деревини мають свої унікальні характеристики, які можуть бути важливими для конкретних проектів і завдань. Порівнюючи їх, ви можете визначити, яка порода найкраще відповідає вашим потребам і вимог

3.2. Прийняття проектних рішень

Метод визначення пріоритетів заснований на взаємному порівнянні конкуруючих об'єктів. Спочатку це порівняння є якісним і оцінює, як один об'єкт пов'язаний з іншим у деяких аспектах чи властивостях. Потім якісне рівняння перетворюється в кількісні оцінки з використанням певних значень індикатора або оцінки експертів, якщо індикатор відсутній. Ці порівняння представлені у вигляді матриці, яка дозволяє обчислити кількісний пріоритет конкуруючих об'єктів для кожного атрибута та загальної метрики.

Метод спеціалізується на розробці перспективних продуктів, технологій, обладнання, основних і допоміжних матеріалів і т.д. Для обґрунтування вибору при прийнятті рішень використовуються методи експертної оцінки. Цей метод зазвичай передбачає участь експерта, який проводить оцінку.

З матеріалів, описаних у попередньому розділі, для кожного з п'яти матеріалів було обрано п'ять основних середніх характеристик для порівняння та визначення пріоритетів, як показано в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Основні характеристики обраних матеріалів

		Характеристика				
		Ціна грн/м ³	Коефіцієнт розбухання	Коефіцієнт всихання	Щільність базова кг/м ³	Твердість в тангенціальному напрямку волокон, Н/мм ²
1	2	3	4	5	6	7
Назва	Дуб, сорт D	20000	0,5	0,43	570	28,4
	Горіх, сорт D	25000	0,53	0,41	490	16,8
	Сосна, сорт D	5000	0,51	0,44	415	10,9
	Вільха, сорт D	5000	0,49	0,43	430	16,8
	Береза, сорт D	5000	0,64	0,54	530	27,7

Квадратна матриця 5x5 з біноміальним співвідношенням була побудована між оцінкою і якісним порівнянням п'яти різних деревних матеріалів. Розмір цих матриць дорівнює 5x5, оскільки "m" позначає властивості матеріалу, а "n"

позначає тип матеріалу. У цих матрицях зв'язок між властивостями та типами матеріалів представлена символами "більше" - ">", "дорівнює" - "=", "менше" - "<". Таким чином, створено п'ять матриць. Показники далі порівнюють за пріоритетом при оцінці ознак. Для цього була створено ще одну квадратну матрицю розміром $m \times n$.

Для визначення кількісної оцінки для кожного показника спочатку визначаю, яке значення є найкращим серед об'єктів, і наскільки воно відрізняється від найгіршого об'єкта за допомогою використання формули (3.1) [14]:

$$K_{ij} = \frac{X_{ijmax}}{X_{ijmin}}, \quad (3.1)$$

де X_{ijmax} – максимальна оцінка і-того об'єкта по j-му показнику;

X_{ijmin} – мінімальна оцінка і-того об'єкта по j-му показнику [14].

Після знаходження коефіцієнта відношення K_i , визначаю коефіцієнт ω_{ij} відповідно за формулою (3.2) [14]:

$$\omega_{ij} = \left(\frac{K-1}{K+1} + \sqrt{\frac{0,05}{n}} \right), \quad (3.2)$$

Далі визначаю елементи матриць суміжності A_j , які замінюють матриці бінарних відношень. Елементи A_j матриць суміжності позначаю як $\| a_{ij} \| = A_j$, і визначаю наступними формулами (3.3) та (3.4) [14]:

$$\alpha_{ij} = \begin{cases} 1 + \omega & \text{при } X_{ij} > X_{ej} \\ 1 & \text{при } X_{ij} = X_{ej}, \\ 1 - \omega & \text{при } X_{ij} < X_{ej} \end{cases} \quad (3.3),$$

Таблиця 3.3

Матриця порівняння по коефіцієнту розбухання відносно породи деревини

		X1	X2	X3	X4	X5	K2	ω2
		0,5	0,53	0,51	0,49	0,64		
X1	0,5	=	>	>	<	>	1,31	0,23
X2	0,53	<	=	<	<	>		
X3	0,51	<	>	=	<	>		
X4	0,49	>	>	>	=	>		
X5	0,64	<	<	<	<	=		

Для правильної технології виготовлення будь-яких виробів з натуральної деревини потрібно знати як ця деревина буде змінюватись під час експлуатаційного терміну. Через те що деревина властива до розбухання і деформації то пріоритет надається меншому показнику розбухання

Таблиця 3.4

Матриця порівняння по коефіцієнту всихання відносно породи деревини

		X1	X2	X3	X4	X5	K3	ω3
		0,43	0,41	0,44	0,43	0,54		
X1	0,43	=	<	>	=	>	1,32	0,24
X2	0,41	>	=	>	>	>		
X3	0,44	<	<	=	<	>		
X4	0,43	=	<	>	=	>		
X5	0,54	<	<	<	<	=		

Показник всихання, також відомий як коефіцієнт всихання або коефіцієнт зміни об'єму при зміні вологості, є важливим фактором при виготовленні виробів з деревини, оскільки він відображає, наскільки значущим буде зміна розміру деревини під впливом змін вологості. Пріоритет надається меншому показнику.

Таблиця 3.5

Матриця порівняння базової щільності деревини різних порід

		X1	X2	X3	X4	X5	K4	ω4
		570	490	415	430	530		
X1	570	=	<	<	<	<	1,37	0,26
X2	490	>	=	<	<	>		
X3	415	>	>	=	>	>		
X4	430	>	>	<	=	>		
X5	530	>	<	<	<	=		

В щільності деревини різних порід можуть бути помітні відмінності, і ця інформація може бути корисною при виборі деревини для конкретних проектів.

Знання базової щільності різних порід деревини допомагає визначити, яка порода підходить для конкретного завдання. Наприклад, дуб має високу щільність, тому він може бути підходящим варіантом для структурних деталей, тоді як сосна має меншу щільність і може бути використана для декоративних виробів. Важливо пам'ятати, що базова щільність - це загальний показник, і її вплив на властивості деревини може бути модифікований іншими факторами, такими як вологість, вибірка та обробка.

Таблиця 3.6

Матриця порівняння твердості в тангентальному напрямку волокон

		X1	X2	X3	X4	X5	K5	ω5
		28,4	16,8	10,9	16,8	27,7		
X1	28,4	=	<	<	<	<	2,61	0,55
X2	16,8	>	=	<	=	>		
X3	10,9	>	>	=	>	>		
X4	16,8	>	=	<	=	>		
X5	27,7	>	<	<	<	=		

Знання твердості різних порід деревини допомагає визначити, яка порода підходить для конкретного завдання. Наприклад, дуб та горіх мають високу твердість і можуть бути використані для виробів, де важлива міцність та опір подряпинам, тоді як сосна має меншу твердість і може бути використана для інших застосувань, які не потребують такої високої твердості. Пріоритет надається деревині з більшим показником твердості.

За допомогою вище наведених методів розраховано та заповнено табл.3.7-3.11. У табл.3.12 представлений розрахунок результатів експертних оцінок.

Таблиця 3.7

Матриця суміжності для порівняння по ціні пиломатеріалів в грн /м³

		X1	X2	X3	X4	X5	K	W	P _{i1}	P _{i1} *	P _{i2}	P _{i2} *	P _{i3}	P _{i3} *
		20000	25000	5000	5000	5000								
X1	20000	1	1,77	0,23	0,23	0,23	5	0,77	3,46	0,14	11,37	0,11	44,27	0,10
X2	25000	0,23	1	0,23	0,23	0,23			1,92	0,08	7,23	0,07	29,95	0,07
X3	5000	1,77	1,77	1	1	1			6,54	0,26	29,14	0,27	120,35	0,28
X4	5000	1,77	1,77	1	1	1			6,54	0,26	29,14	0,27	120,35	0,28
X5	5000	1,77	1,77	1	1	1			6,54	0,26	29,14	0,27	120,35	0,28
Σ									25,00	1,00	106,03	1,00	435,27	1,00

Таблиця 3.8

Матриця суміжності для порівняння по коефіцієнту розбухання відносно породи деревини

		X1	X2	X3	X4	X5	K2	W2	P _{i1}	P _{i1} *	P _{i2}	P _{i2} *	P _{i3}	P _{i3} *
		0,5	0,53	0,51	0,49	0,64								
1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
X1	0,5	1	1,23	1,23	0,77	1,23	1,31	0,23	5,46	0,22	26,77	0,22	129,10	0,21
X2	0,53	0,77	1	0,77	0,77	1,23			4,54	0,18	22,17	0,18	106,25	0,17
X3	0,51	0,77	1,23	1	1,23	0,77			5,00	0,20	25,21	0,20	130,20	0,21

Продовження таблиці 3.8

1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
X4	0,49	1,23	1,23	1,23	1	1,23	1,31	0,23	5,92	0,24	29,39	0,24	142,02	0,23	
X5	0,64	0,77	0,77	0,77	0,77	1			4,08	0,16	20,19	0,16	100,92	0,17	
									Σ	25,00	1,00	123,73	1,00	608,48	1,00

Таблиця 3.9

Матриця суміжностей порівняння по коефіцієнту всихання відносно породи деревини

		X1	X2	X3	X4	X5	K3	W3	P _{i1}	P _{i1} *	P _{i2}	P _{i2} *	P _{i3}	P _{i3} *	
		0,43	0,41	0,44	0,43	0,54									
X1	0,43	1	0,76	1,24	1,00	1,24	1,32	0,24	5,24	0,21	25,62	0,20	136,38	0,17	
X2	0,41	1,24	1	1,24	1,24	1,24			5,95	0,24	29,51	0,22	286,06	0,37	
X3	0,44	0,76	0,76	1	0,76	1,24			4,53	0,18	30,58	0,23	117,00	0,15	
X4	0,43	1,00	0,76	1,24	1	1,24			5,24	0,21	25,62	0,20	136,38	0,17	
X5	0,54	0,76	0,76	0,76	0,76	1			4,05	0,16	20,04	0,15	105,01	0,13	
									Σ	25,00	1,00	131,38	1,00	780,83	1,00

Таблиця 3.10

Матриця суміжності для порівняння базової щільності деревини різних порід

		X1	X2	X3	X4	X5	K4	W4	P _{i1}	P _{i1} *	P _{i2}	P _{i2} *	P _{i3}	P _{i3} *	
		570	490	415	430	530									
X1	570	1	0,74	0,74	0,74	0,74	1,37	0,26	3,96	0,16	19,53	0,16	95,58	0,16	
X2	490	1,26	1	0,74	0,74	1,26			5,00	0,20	24,19	0,20	118,24	0,20	
X3	415	1,26	1,26	1	1,26	1,26			6,04	0,24	29,93	0,24	146,31	0,24	
X4	430	1,26	1,26	0,74	1	1,26			5,52	0,22	26,92	0,22	131,53	0,22	
X5	530	1,26	0,74	0,74	0,74	1			4,48	0,18	21,72	0,18	106,30	0,18	
									Σ	25,00	1,00	122,30	1,00	597,96	1,00

Таблиця 3.11

Матриця суміжностей для порівняння твердості в тангентальному напрямку волокон

		X1	X2	X3	X4	X5	K5	W5	P _{i1}	P _{i1} *	P _{i2}	P _{i2} *	P _{i3}	P _{i3} *
		28,4	16,8	10,9	16,8	27,7								
1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
X1	28,4	1	0,45	0,45	0,45	0,45	2,61	0,55	2,80	0,11	12,79	0,11	58,11	0,11
X2	16,8	1,55	1	0,45	1,00	1,55			5,55	0,22	24,73	0,22	110,47	0,22

Продовження таблиці 3.11

1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
X3	10,9	1,55	1,55	1	1,55	1,55			7,20	0,29	34,79	0,31	156,80	0,31
X4	16,8	1,55	1,00	0,45	1	1,55			5,55	0,22	24,73	0,22	110,47	0,22
X5	27,7	1,55	0,45	0,45	0,45	1			3,90	0,16	16,48	0,15	74,21	0,15
Σ									25,00	1,00	113,51	1,00	510,05	1,00

Таблиця 3.12

Результат експертної оцінки пріоритетів показників

Кількість експертів	Ціна грн/м3			Коефіцієнт розбухання			Коефіцієнт всихання			Щільність базова кг/м3			Твердість в тангенціальному напрямку волокон, Н/мм2		
	X_i	$X_{сер}-X_i$	$(X_{сер}-X_i)^2$	X_i	$X_{сер}-X_i$	$(X_{сер}-X_i)^2$	X_i	$X_{сер}-X_i$	$(X_{сер}-X_i)^2$	X_i	$X_{сер}-X_i$	$(X_{сер}-X_i)^2$	X_i	$X_{сер}-X_i$	$(X_{сер}-X_i)^2$
1	3	0,57	0,33	4	-0,29	0,08	2	0,29	0,08	3	-0,43	0,18	4	-2,429	5,898
2	3	0,57	0,33	4	-0,29	0,08	2	0,29	0,08	1	1,57	2,47	1	0,5714	0,3265
3	3	0,57	0,33	4	-0,29	0,08	2	0,29	0,08	3	-0,43	0,18	1	0,5714	0,3265
4	5	-1,43	2,04	4	-0,29	0,08	3	-0,71	0,51	3	-0,43	0,18	1	0,5714	0,3265
5	1	2,57	6,61	4	-0,29	0,08	2	0,29	0,08	3	-0,43	0,18	2	-0,429	0,1837
6	5	-1,43	2,04	2	1,71	2,94	3	-0,71	0,51	4	-1,43	2,04	1	0,5714	0,3265
7	5	-1,43	2,04	4	-0,29	0,08	2	0,29	0,08	1	1,57	2,47	1	0,5714	0,3265
Середнє значення балу	3,57			3,71			2,29			2,57			1,57		
Середнє квадратичне відхилення	1,51			0,76			0,49			1,13			1,13		
Коефіцієнт варіації / 100%	0,42			0,20			0,21			0,44			0,72		
	$K_{експ1}$	0,58		$K_{експ2}$	0,80		$K_{експ3}$	0,79		$K_{експ4}$	0,56		$K_{експ5}$	0,28	
Загальний коефіцієнт погодження експертів	0,60														

Середнє значення \bar{x}_{ij} та середнє квадратичне відхилення S_{ij} розраховуємо по кожному ряду відповідей за формулами (3.12) та (3.13) [14]:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{\sum_{j=1}^m x_{ij}}{m}, \quad (3.12)$$

$$S_{ij} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_{ij})^2}{m-1}}, \quad (3.13)$$

Далі розраховуємо коефіцієнт варіації V_{ij} за формулою (3.14) [14]:

$$V_{ij} = \frac{S_{ij}}{\bar{x}_{ij}} \cdot 100\%, \quad (3.14)$$

Загальний коефіцієнт погодження експертів визначаємо за формулами (3.15) та (3.16) [14]:

$$K_E = \frac{\sum_{i=1}^n K_{Eij}}{\sum_{i=1}^n m_{ij}}, \quad (3.15)$$

$$K_{Eij} = 1 - \frac{S_{ij}}{\bar{x}_{ij}}, \quad (3.16)$$

де n – кількість характеристик в анкеті;

m_{ij} – кількість оцінок по кожній характеристиці в кожному з вирівняних рядів [14].

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

Складено квадратну матрицю бінарних відношень табл. 3.13.

Таблиця 3.13

Матриця бінарних відношень

		Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	К	W
		3,57	3,71	2,29	2,57	1,57		
Y1	3,57	=	>	<	<	<	2,36	0,52
Y2	3,71	<	=	<	<	<		
Y3	2,29	>	>	=	>	<		
Y4	2,57	>	>	<	=	<		
Y5	1,57	>	>	>	>	=		

Встановлюю математичні символи "більше" (>), "дорівнює" (=) та "менше" (<) відповідними значеннями α_{ij} . Після цього створюю матрицю суміжності для порівняння показників у табл. 3.14.

Таблиця 3.14

Матриця суміжності для порівняння показників, що характеризують матеріали

		Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	К	W	P _{i1}	P _{i1} *	P _{i2}	P _{i2} *
		3,57	3,71	2,29	2,57	1,57						
Y1	3,57	1,00	1,52	0,48	0,48	0,48	2,36	0,52	3,97	0,16	17,15	0,15
Y2	3,71	0,48	1,00	0,48	0,48	0,48			2,93	0,12	13,59	0,12
Y3	2,29	1,52	1,52	1,00	1,52	0,48			6,03	0,24	27,50	0,24
Y4	2,57	1,52	1,52	0,48	1,00	0,48			5,00	0,20	21,79	0,19
Y5	1,57	1,52	1,52	1,52	1,52	1,00			7,07	0,28	34,27	0,30
Σ									25,00	1,00	114,30	1,00

На основі попередніх результатів побудовано загальну матрицю для обчислення комплексного пріоритету матеріалу табл. 3.15.

Таблиця 3.15

Підсумкова матриця

Назва матеріалу	Пріоритет пиломатеріалу матеріалу по одиничних показниках					Пріоритет показника		Комплексний пріоритет верстату
	1	2	3	4	5	№	знач.	
Дуб, сорт D	0,10	0,21	0,17	0,16	0,11	1	0,15	0,14
Горіх, сорт D	0,07	0,17	0,37	0,20	0,22	2	0,12	0,22
Сосна, сорт D	0,28	0,21	0,15	0,24	0,31	3	0,24	0,24
Вільха, сорт D	0,28	0,23	0,17	0,22	0,22	4	0,19	0,22
Береза, сорт D	0,28	0,17	0,13	0,18	0,15	5	0,30	0,17

З таблиці ми можемо зрозуміти що максимальний пріоритет має пиломатеріал породи сосни який буде прийнятий в технологічний процес виготовлення виробів з деревини.

3.3. Рішення багатокритеріальної задач методом аналізу ієрархій

Метод аналізу ієрархій (МАІ), розроблений Томасом Сааті в 70-80 роках минулого століття, використовується для порівняльного аналізу та ранжування об'єктів за різними критеріями, що можуть бути як кількісними, так і якісними.

Метод аналізу ієрархій є математичним інструментом для вирішення складних проблем у процесі прийняття рішень за допомогою системного підходу. Його спрямованість полягає не в пошуку єдиного "правильного" рішення, а в наданні можливості знайти альтернативу, яка найкраще відповідає розумінню суті проблеми та вимогам до її вирішення через взаємодію та обговорення.

Для вирішення задачі маємо наступні вихідні дані:

- Мета: вибір оптимального матеріалу.
- Кількість альтернатив: 5.
- Кількість критеріїв: 5.

Альтернативи та критерії позначено скороченими назвами.

№	Критерії	№	Альтернативи
Кр1	Ціна на пиломатеріал за м ³	A1	Дуб, сорт D
Кр2	Коефіцієнт розбухання	A2	Горіх, сорт D
Кр3	Коефіцієнт всихання	A3	Сосна, сорт D
Кр4	Базова щільність	A4	Вільха, сорт D
Кр5	Твердість	A5	Береза, сорт D

Завдання вирішується шляхом створення та заповнення матриці парних порівнянь (МПП), використовуючи шкалу Сааті.

Під час вибору оптимального матеріалу була сформована та заповнена матриця парних порівнянь (МПП). Цей процес базується на особистому аналізі впливу характеристик на досягнення конкретних цілей.

Для розрахунку значення середнього геометричного елементів матриці використовую формулою (3.17) [61]:

$$G_i(a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{is}) = (a_{i1} \cdot a_{i2} \cdot \dots \cdot a_{is})^{\frac{1}{s}}, \quad (3.17)$$

де i – номер рядка матриці;

s – кількість елементів в першому рядку матриці [61].

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

Обчислюю значення ЛПр для першого рядка за формулою (3.18) [61]:

$$\text{ЛПр}_1 = \frac{[(w1/w1) \cdot (w2/w2) \cdot \dots \cdot (wn/wn)]^{\frac{1}{s}}}{(G_1 + G_2 + \dots + G_n)}, \quad (3.18)$$

Далі для перевірки однозначності та узгодженості експертної оцінки, а саме попарного порівняння чисел у матриці, використовуються дві важливі

характеристики - індекс узгодженості (CI) та коефіцієнт узгодженості (CR), які розраховуються за формулами (3.19) та (3.20) [61]:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}, \quad (3.19),$$

$$CR = \frac{CI}{P_n}, \quad (3.20)$$

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 [61].

Аналогічним чином розраховано та заповнено табл. 3.16 – 3.21.

Таблиця 3.16

Матриця МПП критеріїв відносно мети

	Назва	Кр1	Кр2	Кр3	Кр4	Кр5	G	ЛПр1
Кр1	Ціна на матеріал	1	1,20	1,50	0,75	0,86	1,030	0,200
Кр2	Коефіцієнт розбухання	0,83	1	1,25	0,63	0,71	0,858	0,167
Кр3	Коефіцієнт всихання	0,67	0,80	1	0,50	0,57	0,686	0,133
Кр4	Базова щільність	1,33	1,60	2,00	1	1,14	1,373	0,267
Кр5	Твердість	1,17	1,40	1,75	0,88	1	1,201	0,233
Сума							5,148	1,00

Показники: $N=5$; $\text{Lam}=5,602$; $CI=0,150$; $CR=0,134$

Найбільше значення ЛПр=0,267

Таблиця 3.17

**Матриця МПП альтернатив по відношенню до критерію «ціни
пиломатеріалів»**

	Назва	A1	A2	A3	A4	A5	G	ЛПр2
A1	Дуб, сорт D	1	0,56	0,63	0,71	0,83	0,730	0,144
A2	Горіх, сорт D	1,80	1	1,00	1,29	1,50	1,283	0,253
A3	Сосна, сорт D	1,60	0,89	1	1,14	1,33	1,167	0,230
A4	Вільха, сорт D	1,40	0,78	0,88	1	1,17	1,021	0,201
A5	Береза, сорт D	1,20	0,67	0,75	0,86	1	0,875	0,172
Сума							5,076	1,00

Показники: N=5; Lam=5,393; CI=0,098; CR=0,088

Найбільше значення ЛПр=0,253

Таблиця 3.18

**Матриця МПП альтернатив по відношенню до критерію «коефіцієнт
розбухання»**

	Назва	A1	A2	A3	A4	A5	G	ЛПр3
A1	Дуб, сорт D	1	0,86	0,75	0,67	1,50	0,915	0,176
A2	Горіх, сорт D	1,17	1	0,88	0,78	1,75	1,068	0,206
A3	Сосна, сорт D	1,33	1,14	1	0,89	2,00	1,221	0,235
A4	Вільха, сорт D	1,50	1,29	1,13	1	2,25	1,373	0,265
A5	Береза, сорт D	0,67	0,57	0,50	0,44	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 3.19

**Матриця МПП альтернатив по відношенню до критерію «коефіцієнт
всихання»**

	Назва	A1	A2	A3	A4	A5	G	ЛПр4
1	2	3	4	5	6	7	8	9
A1	Дуб, сорт D	1	0,67	0,75	0,86	1,50	0,915	0,176
A2	Горіх, сорт D	1,50	1	1,13	1,29	2,25	1,373	0,265
A3	Сосна, сорт D	1,33	0,89	1	1,14	2,00	1,221	0,235
A4	Вільха, сорт D	1,17	0,78	0,88	1	1,75	1,068	0,206
A5	Береза, сорт D	0,67	0,44	0,50	0,57	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 3.20

**Матриця МПП альтернатив по відношенню до критерію «базової щільність
пиломатеріалів»**

	Назва	A1	A2	A3	A4	A5	G	ЛПр5
A1	Дуб, сорт D	1	1,29	1,80	1,50	2,25	1,508	0,290
A2	Горіх, сорт D	0,78	1	1,40	1,17	1,75	1,173	0,226
A3	Сосна, сорт D	0,56	0,71	1	0,83	1,25	0,838	0,161
A4	Вільха, сорт D	0,67	0,86	1,20	1	1,50	1,006	0,194
A5	Береза, сорт D	0,44	0,57	0,80	0,67	1	0,670	0,129
Сума							5,196	1,00

Показники: N=5; Lam=5,814; CI=0,203; CR=0,182

Найбільше значення ЛПр=0,290

Таблиця 3.21

Матриця МПП альтернатив по відношенню до критерію «твердість матеріалу в тангенціальному напрямку»

	Назва	A1	A2	A3	A4	A5	G	ЛПр6
A1	Дуб, сорт D	1	1,50	1,80	1,29	1,13	1,313	0,257
A2	Горіх, сорт D	0,67	1	1,20	0,86	0,75	0,875	0,171
A3	Сосна, сорт D	0,56	0,83	1	0,71	0,63	0,730	0,143
A4	Вільха, сорт D	0,78	1,17	1,40	1	0,88	1,021	0,200
A5	Береза, сорт D	0,89	1,33	1,60	1,14	1	1,167	0,229
Сума							5,107	1,00

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

Найбільше значення ЛПр=0,257

Далі будемо матрицю пріоритетів критеріїв відносно мети та альтернатив відносно кожного з критеріїв табл. 3.22.

Таблиця 3.22

Матриця пріоритетів критеріїв відносно мети та альтернатив відносно кожного з критеріїв

	Назва	ПрКр	A1	A2	A3	A4	A5
			Дуб,D	Горіх D	Сосна,D	Вільха,D	Береза,D
Кр1	Ціна на матеріал	0,200	0,231	0,248	0,203	0,174	0,145
Кр2	Коефіцієнт розбухання	0,167	0,176	0,206	0,235	0,265	0,118
Кр3	Коефіцієнт всихання	0,133	0,176	0,265	0,235	0,206	0,118
Кр4	Базова щільність	0,267	0,290	0,226	0,161	0,194	0,129
Кр5	Твердість	0,233	0,257	0,171	0,143	0,200	0,229

Далі, для розрахунку значення глобального пріоритету ГлПр, необхідно підсумувати добутки значень стовпця “ПрКр” (табл. 3.22) на значення у стовпці “A1” для кожного рядка. Аналогічно обчислюють значення ГлПр для усіх

інших рядків. Отримані дані заносимо у табл. 3.23 глобальні пріоритети альтернатив

Таблиця 3.23

Глобальні пріоритети альтернатив

	Назва	ГлПр
1	Дуб, сорт D	0,237
2	Горіх, сорт D	0,219
3	Сосна, сорт D	0,187
4	Вільха, сорт D	0,205
5	Береза, сорт D	0,152

З табл. 3.23 видно, що альтернатива А1 (Дуб, класом якості D, ціною 20000) має найбільше значення глобального пріоритету – 0,237 і є найкращим варіантом для досягнення поставленої мети.

РОЗДІЛ 4 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Методика проведення експериментальних досліджень на випробування декоративної панелі із низькотоварної деревини на формостійкість при різних методах склеювання деревини

Мета роботи – дослідити формостійкість декоративних стінових панелей що виготовлені із застосуванням низькотоварної деревини при різних методах склеювання, після проведення склеювання та після 30 діб після склеювання. Дослідження проводиметься на кожному низькотоварному куску деревини для виявлення впливу його вад та методу склеювання на його формостійкість

Методика досліджень. Визначити формостійкість та як вона буде проявлятися при різних методах приклеювання низькотоварної деревини а саме деревини із сучками при точковому методі приклеювання та суцільному методі проклеювання. Готовий зразок зображено на рис. 4.1.



Рис 4.1. Готовий зразок для випробування формостійкості низькотоварної деревини

Виготовлення зразків проводилось із використанням столярної плити в якості основи, яку додатково було вирівняно за допомогою фрезерного верстата

з ЧПК (рис. 4.2) в подальшому на основу було наклеєно відходи із пиломатеріалів сосни, так як саме ця порода має максимальний пріоритет відповідно із таблиці 3.15. Відходи були усуненні із пиломатеріалу під час первинної обробки через наявність такої вади деревини як сучок. Відходи були прямокутними, співвідношенням розмірів 1:2. Також під час вирівнювання основи тій було надано потрібну шорсткість поверхні, що складає 32-64мкм за допомогою шліфувальнокалібрувального верстата. Після чого матеріал очищується від пилу та бруду що може погіршити адгезію під час склеювання. Після процедури приклеювання зразки подавались назад до фрезерного верстата (рис. 4.3) для вирівнювання поверхні так як зразки були не підігнані по товщині через їх малі розміри. Для додаткового декорування також використовувались вставні рейки розміром 15 мм із деревини дуба, так як відповідно до таблиці 3.23 ця порода має найбільше значення глобального пріоритету і є найкращою альтернативою деревини сосни.



Рис. 4.2. Процес створення бази на основі із столярної плити



Рис. 4.3. Вирівнювання площини деталей

Способи склеювання зразків були наступні:

- перший спосіб точковий проводився із застосуванням гарячого клею на основі етилен вінілацетату, що наносився за допомогою розплавлення у клейовому пістолеті та поступав через сопло (рис 4.4; 4,5). Склеювання проводилось при оптимальній вологості повітря 50–65% та вологості деревини 8% та температурі в приміщенні в межах 20 °С [45–47, 65, 66].



Рис. 4.4. Нанесення клею на зразок



Рис. 4.5. Вигляд способу нанесення клею на зразок

- другий спосіб із застосуванням клею ПВА із класом водостійкості D3 при температурі в приміщенні в межах 20 °С. Вологість повітря повинна складати 50–65%. Вологість деревини складає 8% для забезпечення високої адгезії. Властивості клею наступні час на схоплення 15хв. час на висихання 6 год., час склеювання 10год., із температурою застосування від +10 до +30 градусів. Клей наноситься на всю поверхню основи та на поверхню деревини. Проведення відкритої витримки складає 5 хв. За цей час з клею випаровуються надлишок вологи. Після підсихання клею проводиться остаточне розміщення дерев'яних частинок на основі. Та подальша технологічна витримка терміном на 10 годин для повного склеювання матеріалів [45–47, 65, 66].

У ході експерименту зразки розміщували у вертикально у приміщені. Моніторинг умов довкілля, таких як температура та вологість повітря, а також вологість і формостійкість зразків, здійснювався протягом всього дослідження. Стан зразків перевірявся на етапах початку та завершення експерименту, який проводився протягом літнього та осіннього сезонів [65].

Формостійкість, або здатність зберігати необхідну геометричну форму, зазвичай оцінюється за допомогою вимірювання неплоскостності. Відповідно до

стандартів, для визначення непощинності використовують метод вимірювання максимальної відстані між поверхнею полотна і контрольною лінійкою, при цьому точність вимірювань становить 0,01 мм. Перевірка непощинності проводилася з обох боків від краю кожного зразка. На ілюстраціях представлено процес візуального контролю непощинності, рис. 4.6. Варто відзначити, що аналіз формостійкості одразу після склеювання здійснюється на лицевому боці деталі, що піддавалася обробці на калібрувально шліфувальному верстаті.



Рис. 4.6. Забір зразка за допомогою лекальної лінійки

Після проходження 30 діб замір провівся повторно за допомогою лекальної лінійки та використання набору щупів, рис. 4.7. Вимір брусків проводився також на лицевій поверхні.



Рис. 4.7. Наочний огляд деформації зразків за допомогою лекальної лінійки, після періоду кондиціонування 30 діб

4.2. Результати експериментальних досліджень властивостей низькотоварної деревини на формостійкість при різних методах склеювання деревини

Після проведення замірів дані занеслися у таблицю 4.1 для подальшого статистичного оброблення даних.

Таблиця 4.1

Результати експериментальних досліджень з визначення формостікості зразків

№ Зразка елементу панелі	Величина найбільшої неплщинності по лицевій поверхні							
	При точковому способі				Суцільний спосіб склеювання			
	Одразу після склеювання		Витримка після склеювання 30 діб		Одразу після склеювання		Витримка після склеювання 30 діб	
	попер.	позд.	попер.	позд.	попер.	позд.	попер.	позд.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	max 0,015		0,2	0,35	max 0,015		0,4	0,7
2			0,1	0,3			0,15	0,6
3			0,15	0,8			0,3	1,9
4			0,2	0,3			0,45	1,7
5			0,3	0,4			0,5	0,6
6			0,4	0,6			0,5	0,6
7			0,1	0,15			0,8	0,85
8			0,6	0,9			0,7	1,1
9			0,6	0,85			0,3	0,3
10			0,6	0,7			0,5	2,7

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
11			0,4	0,6			0,85	3,2
12			0,3	0,4			0,8	1,4
13			0,6	0,6			0,5	1,4
14			0,2	0,3			0,2	0,85
15			0,4	0,6			0,5	1,2
16			0,8	0,15			0,45	0,6
17			0,2	0,3			0,8	3,5
18			0,5	0,8			1,0	1,7

Вимірювання, проведене відразу після процесу склеювання, було також після проходження зразком процесу шліфування та калібрування. Це дозволило забезпечити краще вирівнювання поверхні. Останній щуп із набору був із товщиною 0.01 мм, та не помістився у зазор, це вказує на те, що теоретичний зазор між зразком і лекальною лінійкою знаходиться в межах 0.015 мм.

Отримані дані необхідно піддати аналізу, для чого застосовується коефіцієнт Стюдента. Перед цим важливо встановити рівень дисперсії, щоб забезпечити точність статистичного аналізу. Дисперсія у статистиці – це міра розсіювання числових даних навколо середнього значення. Вона показує, наскільки далеко від середнього розташовані значення у вибірці, тобто як сильно вони варіюються. Якщо всі дані в вибірці однакові, дисперсія буде дорівнювати нулю, оскільки немає розсіювання. З іншого боку, чим більше розкид даних, тим вища дисперсія. Це важливий показник у статистиці, оскільки він використовується для оцінки варіативності даних та є основою для інших статистичних методів, таких як стандартне відхилення та дисперсійний аналіз. Формула для розрахунку дисперсії (4.1) [62] :

$$V_{ar} \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}, \quad (4.1)$$

де x_1 – величина зазору між повірочною лінійкою та поверхнею зразку;

n – кількість зразків;

\bar{x} – середнє значення набору, визначається як (середнє арифметичне).

Стандартне відхилення є мірою дисперсії, яка вказує на те, наскільки мінливими є дані відносно середнього арифметичного. Щоб знайти стандартне відхилення в наборі даних, можна використовувати формулу стандартного відхилення [63].

Після обчислення дисперсії, визначають значення t-критерію Стьюдента і вносять його до табл. 4.2. На основі отриманих даних, формують діаграми, які ілюструють коефіцієнти для різних зазорів. t-критерій Стьюдента часто використовують для тестування гіпотези про однаковість середніх у двох різних вибірках [64]. Формула для розрахунку коефіцієнта Стьюдента (4.2):

$$t = \frac{d}{S_d/\sqrt{n}}; \quad (4.2)$$

де: d – середнє значення різниць між парними спостереженнями

S_d – стандартне відхилення різниць

n – кількість парних спостережень

Після обчислення коефіцієнту Стьюдента заносять значення до таблиці експериментальних досліджень (табл.4.2)

Таблиця 4.2

Значення коефіцієнтів Стьюдента

Величина найбільшої неплотинності по лицевій поверхні								
	При точковому способі				Суцільний спосіб склеювання			
	Одразу після склеювання		Витримка після склеювання 30 діб		Одразу після склеювання		Витримка після склеювання 30 діб	
	попер.	позд.	попер.	позд.	попер.	позд.	попер.	позд.
t – критерій	1,6909	2,0322	1,6924	2,0345	1,6909	2,0322	1,7291	2,093

На рис. 4.8 зображено діаграму аналізу даних за допомогою кривих нормального розподілу деревних деталей (18-ти штук), у поперечних та поздовжніх напрямках волокон. При застосуванні точкового склеювання та після проходження виробом періоду кондиціонування в 30 діб після склеювання.

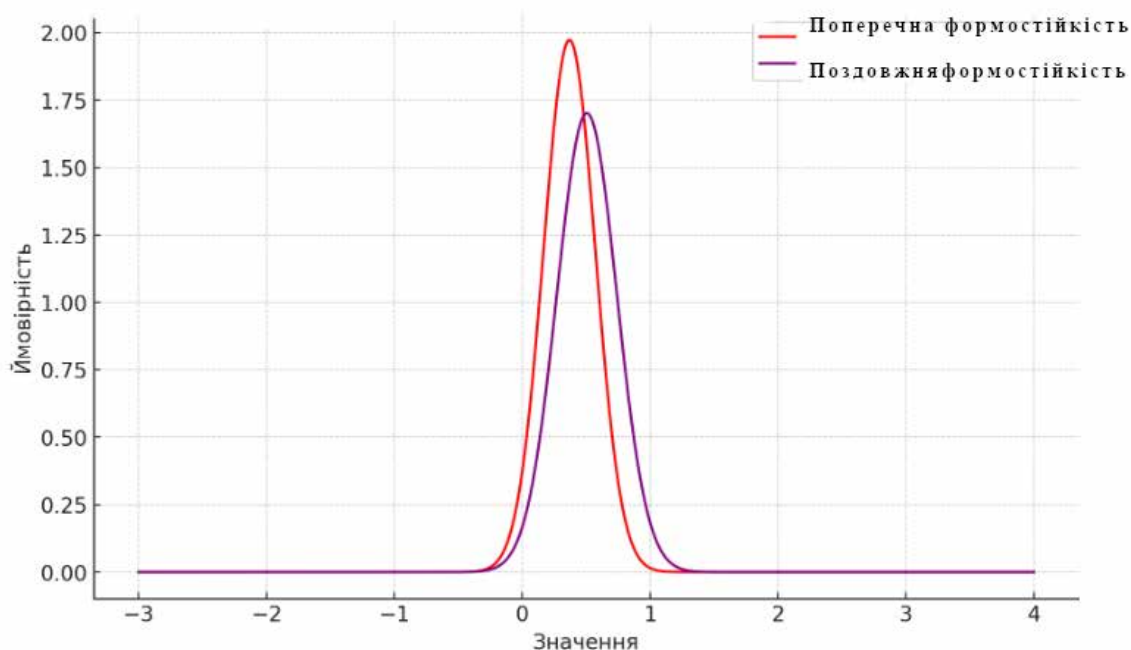


Рис. 4.8. Діаграма порівняння значень поперечної та поздовжньої деформації зразків при використанні точкового методу склеювання за допомогою кривих нормального розподілу

Діаграма демонструє порівняння двох наборів даних — "поперечно" і "поздовжньо", зображених у вигляді кривих нормального розподілу. Вісь X: Відображає значення змінної, по яких обчислюється розподіл. Вісь Y: Відображає ймовірність цих значень відповідно до нормального розподілу.

Крива нормального розподілу, відома також як гауссівський розподіл, є фундаментальною концепцією в статистиці, яка описує, як дані розподіляються в ідеалізованому сценарії. Ця крива має форму дзвона і характеризується своїм середнім значенням та стандартним відхиленням, які визначають її ширину та висоту відповідно. Величина під кривою в будь-якому інтервалі відображає ймовірність того, що значення змінної потрапить у цей інтервал. Наприклад, приблизно 68% значень знаходяться в межах одного стандартного відхилення від середнього, а 95% — в межах двох стандартних відхилень. Це дозволяє аналітикам робити припущення про розподіл даних та прогнозувати ймовірність різних результатів.

На представленій діаграмі (рис 4.8) зображено два нормальні розподіли для показників формостійкості в поперечному (червона лінія) та поздовжньому

(фіолетова лінія) напрямках. Обидва розподіли характеризують зміну ймовірності різних значень цих показників.

Червона крива – поперечна деформація. Має дещо вищий пік, що свідчить про більшу концентрацію значень навколо середнього значення. Дисперсія у поперечному напрямку складає 0,043, що означає, що значення більш "сфокусовані" навколо середнього і відхилення не такі великі. Коефіцієнт Стюдента дорівнює 1,6924, що говорить про більш сфокусований розподіл навколо середнього.

Фіолетова крива – поздовжня формостійкість. Лінія має трохи ширший розподіл у порівнянні з поперечним напрямком. Це свідчить про те, що значення у поздовжньому напрямку більш варіативні. Дисперсія у поздовжньому напрямку складає 0,058, що є більшим показником, ніж у поперечному напрямку. Це означає, що значення розкидані ширше і стандартне відхилення більше. Коефіцієнт Стюдента більший і дорівнює 2,0345, що вказує на більш ширший і розкиданий розподіл значень.

Отже: поперечний напрямок має меншу дисперсію і більш "щільний" розподіл, що означає, що деформації у цьому напрямку є більш передбачуваними і стабільними. Поздовжній напрямок має більшу дисперсію, а відповідно і ширший розподіл, що свідчить про більшу варіативність формостійкості. Таким чином, поперечна деформація характеризується більшою стабільністю та меншими відхиленнями, тоді як поздовжня формостійкість має більшу мінливість і варіативність.

На рис.4.9 зображено діаграму аналізу даних за допомогою кривих нормального розподілу деревних деталей (18-ти штук), у поперечних та поздовжніх напрямках волокон. При застосуванні суцільного методу склеювання та після проходження виробом періоду кондиціонування в 30 діб після склеювання.

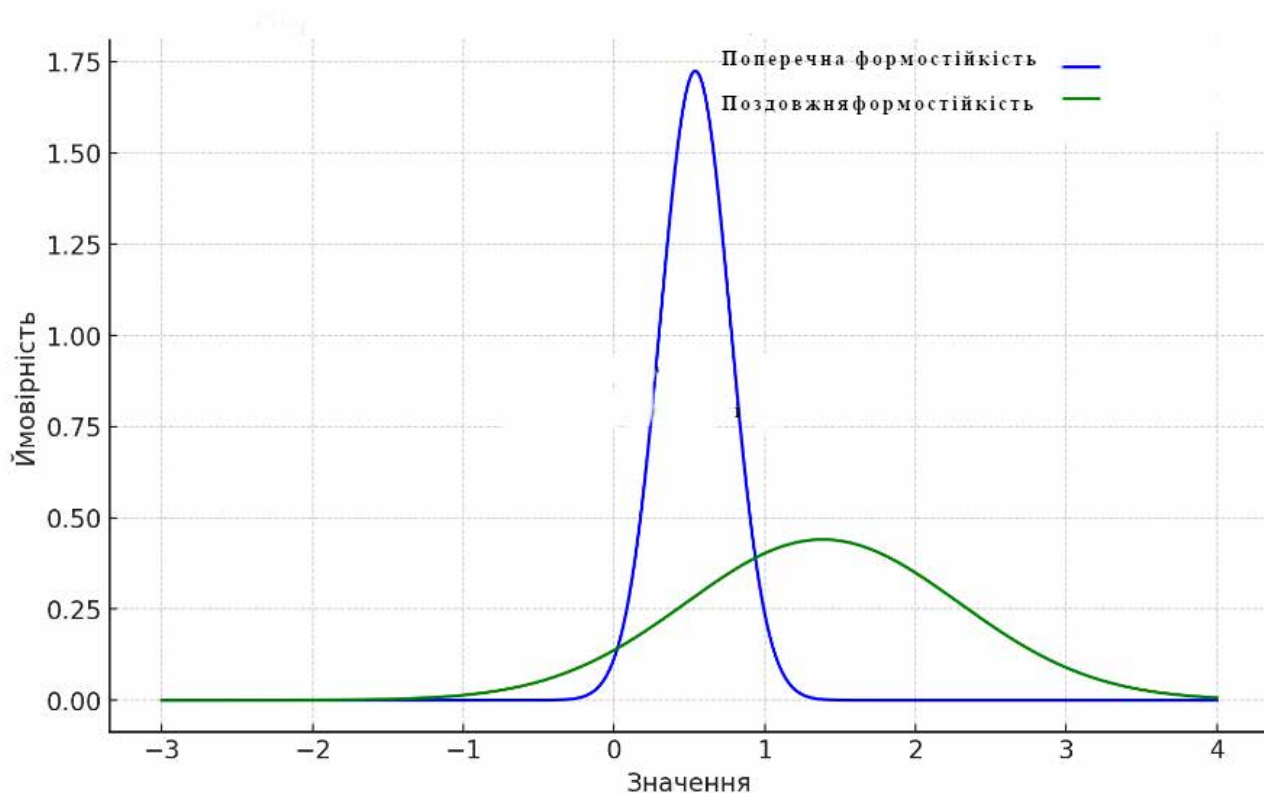


Рис. 4.9. Діаграма порівняння значень поперечної та поздовжньої деформації зразків при використанні суцільного методу склеювання за допомогою кривих нормального розподілу

Вісь X: Відображає значення змінної, по яких обчислюється розподіл.

Вісь Y: Відображає ймовірність цих значень відповідно до нормального розподілу.

Синя крива відповідає поперечним деформаціям. Вона показує вищий пік, що характеризує більшу концентрацію значень навколо середнього значення (1,7291 – більш сфокусований розподіл навколо середнього) зі стандартним відхиленням (0,056 – значення більш сфокусовані навколо середнього та відхилення не такі великі). Крива піднімається в центрі, де значення близькі до середнього, і поступово спадає до країв, де ймовірність відхилення від середнього зменшується.

Зелена крива відповідає поздовжнім формостійкостям. Вона має значно ширший розподіл у порівнянні з поперечним напрямком. Це свідчить про те, що значення у поздовжньому напрямку значно більш варіативні. Також зелена лінія показує як ці дані розподілені навколо середнього значення (2,093 –

вказує на широкий і розкиданий розподіл значень), зі стандартним відхиленням (0,868 – означає, що значення розкидані ширше і стандартне відхилення більше). Крива піднімається в центрі, де значення близькі до середнього, і поступово спадає до країв, де ймовірність відхилення від середнього зменшується.

Отже: поперечні деформації мають більше значень, зосереджених навколо середнього і менший розкид, що вказує на більш концентрований розподіл.

Поздовжня деформація має ширший розкид зі значно більшими відхиленнями від середнього, що робить її більш розкиданою і варіативною.

Порівнюючи дві діаграми між собою, при точковому і суцільному способах склеювання, я прийшов до наступних висновків:

При точковому склеюванні показники формостійкості у поздовжньому та поперечному напрямках є близькими один до одного. Це можна спостерігати завдяки наведеним кривих на діаграмах, що свідчить про те, що формостійкість при даному способі склеювання є більш стабільною та передбачуваною. Цей результат узгоджується з теоретичними матеріалами та був підтверджений експериментально. Така близькість показників у двох напрямках говорить про меншу змінність форми заготовки після склеювання, що є важливою перевагою точкового методу.

У випадку суцільного склеювання, формостійкість у поздовжньому напрямку є значно меншою, ніж у поперечному. Це чітко видно при порівнянні кривих на діаграмі, де поздовжній розподіл має більшу дисперсію і ширший діапазон.

Таким чином, можна зробити висновок, що точковий метод склеювання є більш підходящим для тих випадків, коли важливо мінімізувати зміни форми заготовки після склеювання або коли деталі деревини розташовані хаотично. З іншого боку, суцільний метод склеювання доцільніше застосовувати для створення панелей з прямокутним перерізом, де рейки розташовуються у поздовжньому напрямку. Виріб може мати співвідношення сторін 1:2 або 2:3,

що забезпечить оптимальну стійкість у відповідних напрямках. Також, використання точкового методу дозволяє контролювати кількість клейового матеріалу, що дозволяє створювати певні напруження в місцях де потрібно а також зменшує вагу кінцевого продукту та забезпечує більшу економію матеріалів. Отже, точковий метод є оптимальним рішенням для процесів, де необхідна висока точність та стабільність форми елементів.

РОЗДІЛ 5 РОЗРОБЛЕННЯ ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ НИЗЬКОТОВАРНОЇ ДЕРЕВИНИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ГОТОВОЇ ПРОДУКЦІЇ

5.1. Обґрунтування доцільності використання низькотоварної деревини для виготовлення стінових панелей

5.1.1. Раціональне використання та збереження лісових ресурсів

Низькотоварна деревина, яка не відповідає стандартам для високоякісних виробів, часто залишається невикористаною або відкидається, що призводить до нераціонального використання лісових ресурсів. Однак, існують способи, якими можна зменшити ці відходи та сприяти сталому розвитку. Використання такої деревини для виготовлення стінових панелей є одним із таких методів. Це не тільки дозволяє зменшити кількість відходів, але й сприяє більш ефективному використанню матеріалів, що вже були вироблені.

Стінові панелі, виготовлені з низькотоварної деревини, можуть бути якісними та естетично привабливими, якщо виробництво відбувається з дотриманням певних технологічних процесів. Такі панелі можуть використовуватися в інтер'єрах, забезпечуючи тепло та затишок, а також слугувати додатковим ізоляційним матеріалом. Крім того, вони можуть бути виготовлені у різноманітних дизайнах, що робить їх привабливими для широкого кола споживачів.

Використання низькотоварної деревини для виробництва стінових панелей також сприяє зменшенню тиску на ліси, оскільки знижує потребу в нових вирубках для отримання високоякісної сировини. Це, в свою чергу, допомагає зберегти біорізноманіття та запобігти змінам клімату, пов'язаним з вирубкою лісів. Такий підхід відповідає принципам сталого розвитку та екологічної відповідальності, оскільки сприяє збалансованому використанню природних ресурсів.

Залучення спільноти та місцевих підприємств до процесу переробки низькотоварної деревини може створити додаткові робочі місця та сприяти економічному розвитку регіонів. Це також може підвищити обізнаність

громадськості щодо важливості сталого використання лісових ресурсів та необхідності зменшення відходів.

Таким чином, використання низькотоварної деревини для виготовлення стінових панелей є важливим кроком у напрямку сталого розвитку та екологічної відповідальності. Це дозволяє не тільки зменшити відходи та забезпечити більш раціональне використання лісових ресурсів, але й сприяє збереженню навколишнього середовища та підтримці місцевих економік.

Говорячи про раціональне використання деревини також не слід забувати, що від 24 лютого 2022 року Україна перебуває у стані війни. На нашу територію вторглися російські війська. Чи відобразилось це на лісових ресурсах України?!

Журналісти видання «Суспільне новини» повідомили, що за допомогою супутникових знімків вдалося встановити, що за два роки війни росіяни повністю знищили понад 60 тисяч гектарів лісів на окупованих територіях [67].

За найскромнішими підрахунками, вартість втрачених лісових ресурсів перевищує 14 мільярдів гривень, що відображає лише прямі збитки — вартість деревини, яку можна було б отримати з цієї площі. Проте, ці цифри не враховують екологічних наслідків, ліквідація яких може коштувати значно дорожче [67].

Окупанти активно вирубують ліси в Луганській області, в якій до війни лише 11% території були вкриті лісами. У степовій Луганщині ліси виконують надзвичайно важливі функції: вони захищають від піщаних бур, зберігають вологу і стримують ерозію ґрунтів. На Харківщині, за станом на сьогодні, близько 40-45% лісів або заміновані, або пошкоджені внаслідок пожеж. У 2022 році під час окупації Херсонщини, однієї з найбільш малозаліснених областей України (лише 5% покриття лісами), значна частина лісів постраждала через пожежі, обстріли та вирубки. Серйозної шкоди лісам регіону завдав підрив греблі Каховської ГЕС у червні 2023 року, внаслідок чого було затоплено майже 55 тисяч гектарів лісів на лівому березі Дніпра [67].

Наприкінці жовтня 2023 року міністр захисту довкілля та природних ресурсів України, Руслан Стрілець повідомив, що за час повномасштабної війни Росія здійснила понад 2,5 тисячі злочинів проти довкілля України. "Це лише ті факти, які ми змогли зафіксувати та опрацювати, щоб додати до загального обсягу збитків. Рік тому збитки довкіллю від бойових дій оцінювалися у близько 26 мільярдів євро. Сьогодні ця сума вже вдвічі більша – 55 мільярдів євро" – повідомив урядовець [67].

Лісові ресурси України зазнали значних втрат внаслідок військових дій, що призвело до їхнього погіршення. Війна спричинила пряме знищення лісових масивів, а також негативно вплинула на можливість їх сталого управління та відновлення. Згідно з аналізом, проведеним в рамках проєкту "Впровадження сталого лісового господарства", війна та її наслідки мають довготривалий вплив на лісові ресурси країни. Це створює додатковий тиск на вже пошкоджену екосистему, особливо з огляду на необхідність відновлення та раціонального використання деревини. Важливо враховувати ці фактори при плануванні виробництва дерев'яних виробів, щоб не завдати шкоди решті лісових ресурсів. Таким чином використання низьковтоварної деревини допоможе частково розвантажити систему лісових ресурсів.

5.1.2. Розроблення нових технологій обробки низькотоварної деревини

Технологічні інновації відіграють ключову роль у використанні низькотоварної деревини для виготовлення стінових панелей, що є актуальним напрямком у сучасному будівництві. В Україні зростає кількість низькоякісної деревини, що не може бути використана традиційним чином, але завдяки новітнім технологіям, така деревина знаходить застосування у виробництві теплоізоляційних матеріалів. Розроблені технології дозволяють створювати ефективні та екологічно безпечні стінові панелі, які відповідають сучасним вимогам до будівельних матеріалів. Зокрема, використання низькоякісної деревини сосни дозволяє отримати матеріал з хорошими тепло- та звукоізоляційними властивостями, а також високою біологічною стійкістю. Для виготовлення стінових панелей важливо визначити оптимальну щільність,

сорбційну здатність та біостійкість матеріалу, що може бути досягнуто шляхом експериментальних досліджень та розробки технологічного регламенту.

Такі інноваційні підходи до використання низькотоварної деревини сприяють не тільки підвищенню ефективності будівельних матеріалів, але й відкривають нові можливості для лісової промисловості, дозволяючи зменшити відходи та забезпечити більш сталий розвиток галузі. Таким чином, технологічні інновації у виробництві стінових панелей з низькотоварної деревини є важливим кроком на шляху до створення екологічно чистих та енергоефективних будівельних рішень.

Розробка нових методів обробки може значно покращити фізичні та механічні властивості деревини, забезпечуючи її більш широке використання у будівництві та дизайні інтер'єрів. Зокрема, використання композитних матеріалів та спеціальних покриттів може збільшити міцність, вогнестійкість та вологостійкість деревини, роблячи її більш привабливою для споживачів. Інноваційні підходи до використання низькотоварної деревини також включають розробку теплоізоляційних матеріалів, які можуть бути виготовлені з деревинної шерсті низької якості, забезпечуючи ефективне утеплення будівель. Ці матеріали демонструють хороші показники звуко- та теплоізоляції, а також відповідають нормативним вимогам до будівельних матеріалів. Додатково, використання неорганічних та органо-мінеральних в'язучих речовин у процесі виготовлення може підвищити біологічну стійкість деревини, зменшуючи її схильність до гниття та впливу шкідників. Важливим аспектом є також розробка технологічного регламенту, який би визначав оптимальні параметри щільності, сорбційної здатності та біостійкості стінових панелей, що дозволить стандартизувати виробництво та забезпечити високу якість кінцевого продукту. Такі інновації не лише сприяють ефективному використанню ресурсів, але й відкривають нові можливості для розвитку лісової промисловості та стимулюють створення екологічно чистих та стійких будівельних матеріалів.

5.1.3. Екологічність виробів з низькотоварної деревини

Дерев'яні стінові панелі, дійсно, є вибором, що відповідає екологічним стандартам, завдяки своїй природній відновлюваності та можливості безпечної утилізації. Використання деревини низької якості для виробництва таких панелей не тільки знижує вартість матеріалу, але й сприяє зменшенню відходів, оскільки використовуються ті частини дерева, які часто вважаються непридатними для інших цілей. Це також сприяє зменшенню вирубки лісів, оскільки деревина вищої якості часто вимагає використання більш зрілих дерев, що може призвести до надмірного видалення лісових насаджень. Крім того, дерев'яні панелі можуть бути розроблені таким чином, щоб підвищити енергоефективність будівель, забезпечуючи додаткову ізоляцію та знижуючи потребу в опаленні та охолодженні. Це, в свою чергу, може знизити вуглецевий слід будівлі та сприяти створенню більш сталого житлового простору. Окрім екологічних переваг, дерев'яні стінові панелі також пропонують естетичну гнучкість, оскільки можуть бути оброблені різними способами для створення унікального вигляду інтер'єру. Вони можуть бути пофарбовані, лаковані, або залишені в природному вигляді для додання тепла та характеру будь-якому простору. З огляду на ці переваги, дерев'яні стінові панелі є відмінним вибором для тих, хто шукає екологічно стійкі та економічно ефективні будівельні матеріали.

Використання низькотоварної деревини дозволяє значно зменшити потребу у вирубці цінних лісових масивів. Замість того, щоб використовувати високоякісну деревину для виробництва будівельних матеріалів, можна застосовувати деревину з дефектами або відходи від деревообробної промисловості. Це сприяє збереженню екосистем старовікових лісів, які виконують важливі екологічні функції, такі як поглинання вуглецю, підтримка біорізноманіття та регулювання водного циклу. Низькотоварна деревина часто не використовується в традиційних процесах через менші фізико-механічні характеристики або дефекти, але її можна ефективно застосовувати у виробництві стінових панелей. Це дозволяє максимально використовувати доступні ресурси та зменшити кількість відходів у лісовій та деревообробній

галузі. Використання кожної частини дерева, навіть із дефектами, сприяє сталому лісовому господарству. Зменшення відходів Використання низькотоварної деревини для виробництва стінових панелей зменшує кількість деревних відходів, які інакше могли б бути утилізовані шляхом спалювання або захоронення. Це не лише знижує екологічне навантаження на довкілля, але й зменшує викиди парникових газів, оскільки спалювання деревини викидає CO₂ в атмосферу.

Виробництво стінових панелей із низькотоварної деревини, особливо з використанням сучасних технологій, як-от термообробка або ламінування, є менш енергозатратним порівняно з виробництвом альтернативних будівельних матеріалів, таких як бетон або сталь. Деревина є відновлюваним ресурсом, тоді як видобуток та виробництво металів і цементу супроводжуються значними викидами парникових газів та виснаженням природних ресурсів.

5.2. Розроблення технологічного процесу виготовлення стінових панелей з низькотоварної деревини

Сировина у вигляді (не личкованих плитних матеріалів MDF, низькотоварних пиломатеріалів, кускових відходів) подається в цех зі складу на електронавантажувачі на технологічний процес.

Не опоряджені плити MDF розміром 2800x2070 мм, розкроюються на чорнові заготовки включаючи припуски на опилювання та фрезерування по довжині та ширині.

Плитні матеріали з MDF наведенні вище розкроюються на форматно-розкроювальному верстаті Robland Z400 M, за попередньо розробленою картою розкрою плити на потрібні розміри та кількість заготовок. Згідно складеної карти розкрою корисний вихід матеріалу з плити розміром 2800x2070. Обрізки, в подальшому можна використати повторно для виготовлення інших виробів.

Для формування заготовок з низькотоварних пиломатеріалів проводиться окремо процес розкрою необрізних пиломатеріалів в обрізні, з подальшим поздовжнім розкромом на ламелі, на круглопилковому верстаті Ц-5, також можна використовувати кускові відходи із різними вадами деревини, що були вирізані

як дефектні частини під час виготовлення інших виробів з деревини. Далі виконують торцювання на іншому круглопилковому верстаті Ц-5 що обладнаний рухомою кареткою.

Плитні заготовки на виробництві проходять операцію калібрування на калібрувально-шліфувальному верстаті Sandingmaster CSB2-900, адже під час технології виготовлення вони можуть мати дефект різнотовщинності.

Ламелі з пиломатеріалу, поступають до чотирьох бічного фрезерного верстата Weinig PFA 17N, де відбувається процес формування базових поверхонь по пласті та двох крайках. На даному верстаті проводять формування базової поверхні та фрезерування крайки: перпендикулярно пласті, для кускових відходів процес створення базової поверхні можна провести на фугувально-стругальному фрезерному верстаті із спеціальними засобами для утримання коротких заготовок.

На дільниці склеювання відбувається процес попереднього розміщення кусків, ламелей деревини та склеювання їх із основою. Заготовки, що мають перпендикулярну площині крайку подаються до клеєнаносного верстата Osama SBR 250, де на пластять наносять клей, після чого заготовки поступають на робоче місце де їх розміщують на основі із MDF та поміщають до мембрано-вакуумного преса Артель МВП-2512 та витримують під тиском певний час, після чого подають на місце технологічної витримки. Наступною операцією йде формування поперечного перерізу клеєного щита за потреби при допомозі рейсмусного верстата GTM TP106.

Далі відбувається процес попереднього розміщення кусків, ламелей деревини та склеювання їх із основою. Заготовки, що мають перпендикулярну площині крайку подаються до клеєнаносного верстата Osama S2R 1300, коли використовують метод суцільного нанесення клею.

Для метаду нанесення клею точковим способом використовують верстат екструзійного типу Semi Automatic Single при цьому клей наносять на частинки деревини.

Після чого частинки деревини поступають на робоче місце де їх розміщують на основі із MDF та поміщають до мембрано-вакуумного преса Артель МВП-2512 та витримують під тиском певний час, після чого подають на місце технологічної витримки. Наступною операцією йде формування поперечного перерізу клеєного щита за потреби при допомозі рейсмусного верстата GTM TP106.

Далі личковані деревними частинками заготівки подаються на форматно-розкрійний верстат Robland Z400 M де проводиться обрізання плит в розмір деталі.

Личкування крайок є одним із головних етапів, адже не дає вивільнитися формальдегіду з матеріалу. Личкування крайок відбувається за допомогою верстата FDB Maschinen MB 50, личкувальний матеріал шпон струганий на даному ж верстаті відбувається зняття звисів крайок.

Свердління отворів для фурнітури, кріпильних елементів та шкантів можна провести за допомогою свердлильно-присадочного верстату Masterwood 39K.

Після личкування пласті заготівки з MDF частинками деревини уже заготівка стінової панелі поступає до шліфувального верстату Sandingmaster CSB2-900 для шліфування і надання йому потрібної шорсткості перед опорядженням. Деталі що шліфуються по крайці подаються до шпindelного шліфувального верстату JET JOSS-S 723950M на шпindelі якого встановлена циліндрична бобіна з шліфувальною шкіркою.

Стінова панель може подаватись до лазерного верстату чи фрезерного верстату із ЧПК для їх оздоблення методом пірографічного випалювання по деревині або ж художнього фрезерування. Виконання даних операцій проходить на лазерному верстаті Expert 1390 або ж на фрезерному верстаті CORMAK C6090. Перед виконанням зображення завантажують у графічний редактор для обробки, далі зображення імпортують у програму ArtCAM, що дозволяє створити програму для керування верстатом.

Після художньої обробки стінова панель поступає до робочого місця де її покривають однокомпонентним уретано-алкідним лаком, Tikkurila Merit Jahti 80.

Через нерозбірне з'єднання деревних частинок із основою з MDF, а саме склеювання, тому операція збирання виробу відсутня. але перед відвантаженням виріб проходить контрольний огляд якості. Після затвердження контрольної якості продукту його упаковують загортають у стрейч плівку та відвантажують споживачеві.

ВИСНОВКИ

У ході виконання магістерської кваліфікаційної роботи було проведено детальний аналіз лісосировинної бази України, досліджено можливості застосування низькотоварної деревини для виготовлення готової продукції, а також вивчено її фізичні та механічні властивості. На основі проведених досліджень та експериментів можна зробити наступні висновки:

Використання низькотоварної деревини для виготовлення стінових панелей сприяє зменшенню відходів лісозаготівлі та раціональному використанню лісових ресурсів. Це дозволяє знизити екологічне навантаження та сприяє сталому розвитку лісового господарства.

Виробництво стінових панелей з низькотоварної деревини є економічно вигідним, оскільки знижує витрати на сировину та дозволяє використовувати

У науковій роботі проводились експериментальні дослідження властивостей деревини та оцінку її формостійкості за різними методами склеювання. У дослідженнях порівнювалися точковий та суцільний методи склеювання, що дозволило визначити найбільш ефективний спосіб для забезпечення стійкості до деформацій та збереження форми панелей у процесі експлуатації. Було встановлено, що точковий метод є оптимальним для застосувань, де критичним є мінімізація змін форми, а суцільний — для панелей з чітким розташуванням рейок, що потребує додаткової стабільності у поздовжньому напрямку.

Результати свідчать, що формостійкість є ключовим параметром для забезпечення довговічності декоративних панелей, а правильний вибір методу склеювання та обробки може значно підвищити якість кінцевого продукту

Таким чином, використання низькотоварної деревини для виготовлення стінових панелей є доцільним та перспективним напрямком, що сприяє раціональному використанню лісових ресурсів, економічній вигоді та екологічній безпеці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Публічний звіт голови державного агентства лісових ресурсів України за 2022 рік. Веб-сайт [URL:https://forest.gov.ua/storage/app/sites/8/publich_zvit/publichnii-zvit-za-2022](https://forest.gov.ua/storage/app/sites/8/publich_zvit/publichnii-zvit-za-2022) (Дата звернення 08.02.2024)
2. Україна перейшла на нові національні стандарти якості деревини, гармонізовані з європейськими. Веб-сайт URL: <https://forest.gov.ua/pres-sluzhba/novini/ukrayina-perejshla-na-novi-nacionalni-standarti-yakosti-derevini-garmonizovani-z-yeuropejskimi> (Дата звернення 10.03.2024)
3. ЛІСОМАТЕРІАЛИ КРУГЛІ ХВОЙНІ Класифікація за якістю Частина 2. Сосна (ENV 1927-2:1998, IDT) Київ ДЕРЖСПОЖИВСТАНДАРТ УКРАЇНИ 2007
4. ЛІСОМАТЕРІАЛИ КРУГЛІ ЛИСТЯНІ Класифікація за якістю Частина 1. Дуб і бук (EN 1316-1:1997, IDT), ДСТУ EN 1316-1:2005. Київ ДЕРЖСПОЖИВСТАНДАРТ УКРАЇНИ 2007
5. Веб сторінка шепетівського лісгоспу. Веб-сайт URL: <http://surl.li/kwchqj> (Дата звернення 10.03.2024)
6. Чичолик А.А., Градиський Ю.О. «Аналіз меблевих виробів з деревини та епоксидної смоли» Всеукраїнська науково-практична конференція здобувачів вищої освіти та молодих вчених с.156-158. (Дата звернення 10.02.2024)
7. Слеб. Меблі з слебу. Виготовлення меблів з зрізу дерева дуба, ясеня, горіха, капової тополі, акації. Веб-сайт URL:https://forest.gov.ua/storage/app/sites/8/publich_zvit/publichnii-zvit-za-2022.pdf (Дата звернення 11.02.2024)
8. Пінчевська О., Горбачова О., Зав'ялов Д., Баранова О., Головач І., Ромасевич Ю. В. Використання мертвої деревини дуба в меблевих виробках. Український журнал лісу та деревознавства. Том 13, №1 2022. Р. 25-32. DOI 10.31548/Forest.13(1).2022.25-32.

9. Марченко, Н. В.; Новицький, С. В.; Мазурчук, С. М. «Щодо використання деревини із сухостійних дерев сосни звичайної у виробництві конструкційних пиломатеріалів» Веб-сайт URL: <https://openurl.ebsco.com/EPDB%3Agcd%3A13%3A22230365/detailv2?sid=ebsco%3Aplink%3Ascholar&id=ebsco%3Agcd%3A150807247&crl=c> (Дата звернення 08.02.2024)
10. Пінчевська О.О., Сірко З.С., Петілов А.Б. «Личкувальний матеріал з відходів лісозаготівлі» Вісник ХНТУСГ, вип. 155, 2014 р. с. 10-13.
11. Лакида Ю. П. «Технологічні особливості виготовлення деревиннокомпозиційного матеріалу з лісосічних відходів», Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, Київ – 2017
12. Г.А. Матвєєва, В.В. Воронович «АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ВИГОТОВЛЕННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЇ СУВЕНІРНИХ ВИРОБІВ З ДЕРЕВИНИ» Науковий вісник НЛТУ України. – 2011. – Вип. 21.1 с.115-119
13. What is “Barnwood” Веб-сайт URL: <https://www.ezmountain.com/blog/Barnwood>. (Дата звернення 11.03.2024)
14. Старовинна деревина (амбарна деревина) Веб-сайт URL: <https://www.wood-antique.com/> (Дата звернення 11.02.2024)
15. Тепло-, звуко-, і електропровідність деревини. Веб-сайт URL: <https://joiner.org.ua/materialoznavstvo-derevoobrobka/teplo-zvuko-i-elektroprovidnist.html> (Дата звернення 06.02.2024)
16. П.В. Білей, А.М. Комбаров, Я. Д. Синітович. «Дослідження фізичних властивостей деревини сосни» Науковий вісник НЛТУ України. - 2012. - Вип. 22.6. с.77-80
17. О.О.Пінчевська, доц.С.Г.Зражва,. Н.В.Буйських «Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу: „Деревинознавство з основами товарознавства”» Київ – 2012
18. В. Заєць; П. Кривошеєв; Т. Мірошник; Л. Осипчук; Ю. Слюсаренко; Е. Сторожук; В. Тарасюк; М. Трохименко; Г. Фаренюк «Звукоізоляція

огороджувальних конструкцій Методи вимірювання» НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ, Київ Мінрегіонбуд України 2010

19. О. П. Космач, А. В. Кадик «Аналіз методів визначення статичної твердості деревини» Восточно-Европейский журнал передовых технологий ISSN 1729-3774 5/7 (71) 2014 с.19-24

20. Як виміряти твердість матеріалу за допомогою твердоміра за Брінелем. . Веб-сайт URL: <https://ukrintech.com.ua/yak-vymiryaty-tverdost-materialu-za-dopomohoiu-tverdomira-za-brinelem> (Дата звернення 11.02.2024)

21. Design of Decorative Wooden Wall Panels from Sliced Pedunculate Slavonian Oak (*Quercus robur* L.) from Veneer Production Residue. Веб-сайт URL:<https://www.mdpi.com/1999-4907/14/2/414#B36-forests-14-00414>

22. Östman, B.A.L.; Mikkola, E. European classes for the reaction to fire performance of wood products. Holz Als Roh-Und Werkst. 2006, 4, 327–337.

23. Östman, B.A. Fire performance of wood products and timber structures. Int. Wood Prod. J. 2017, 8, 74–79.

24. Естетичність і екологічність виробів з дерева Веб-сайт URL: <https://de-house.com/2021/05/17/estetichnist-i-ekologichnist-virobiv-z-dereva/> (Дата звернення 11.07.2024)

25. Науковий вісник НЛТУ України 2002, Вплив технологічних факторів на зменшення виділення формальдегіду із деревностружкових плит с.118-120 УДК 674.815 Д.1. Лелшк-ЛТ "Інтершшт", м. Падєйруа

26. МЕБЛІ ТА ФОРМАЛЬДЕГІД Веб-сайт URL: <https://uafm.com.ua/doslidzhennya-meblevogo-rynku/mebli-ta-formaldegid/> (Дата звернення 11.07.2024)

27. Водостійкі типи деревини: найкращі породи та методи лікування Веб-сайт URL: <https://duffieldtimber.com/the-workbench/buyers-guides/water-resistant-timber-species-treatments> (Дата звернення 09.07.2024)

28. Moisture Resistant Wood Trim-What to know using wood outdoors Веб-сайт URL: <https://belcofp.com/moisture-resistant-wood/> (Дата звернення 06.07.2024)

29. How to Waterproof Wood: 3 Methods Веб-сайт URL: <https://www.thespruce.com/how-to-waterproof-wood-7563875> (Дата звернення 15.07.2024)
30. Стінові панелі: види, розміри, властивості - невеликі ідеї дизайну. Веб-сайт URL: <https://www.smalldesignideas.com/wall-panels-types-sizes-properties.html#properties>(Дата звернення 15.07.2024)
31. Як утеплити дерев'яний будинок? Веб-сайт URL: <https://oxidom.com/ua/yak-uteplyty-derevianyiy-budynok/> (Дата звернення 15.07.2024)
32. Властивості нового теплоізоляційного матеріалу з низькоякісної деревини сосни Веб-сайт URL: <https://openurl.ebsco.com/EPDB%3Agcd%3A12%3A23544572/detailv2?sid=ebsco%3Aplink%3Ascholar&id=ebsco%3Agcd%3A150807265&crl=c> (Дата звернення 15.07.2024)
33. Tetrakustik - Акустичні панелі. Веб-сайт URL: <https://acoustic.ua/production/349.html> (Дата звернення 20.07.2024)
34. Теплоізоляційна декоративна стінова панель легка для будівельного використання. Веб-сайт URL: <https://www.zanshare.net/portfolio/items/thermal-insulation-decorative-wall-panel-lightweight-for-building-use> (Дата звернення 20.07.2024)
35. What Is Wood Adhesive? What Are The Types? Where And How Is It Used? Веб-сайт URL: <https://www.akfix.com/en/blog/what-is-wood-adhesive-what-are-the-types-where-and-how-is-it-used> (Дата звернення 20.07.2024)
36. Ясній П. В. Експериментальні дослідження суцільної деревини конструкційних розмірів з врахуванням фактора вологості/ П. В. Ясній, С. С. Гомон // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2020. – № 1. – С. 49-56.
37. Науда, S., & Кіуко, О. Формостійкість як критерій якості столярних плит із вживаної деревини. Наукові праці Лісівничої академії наук України, - 2018 -№17, 185-192.

38. УДК 674.2.002 Магістр І.С. Габа; доц. О.Б. Ференц, канд. техн. наук – НЛТУ України, м. Львів ДОСЛІДЖЕННЯ ФОРМОСТІЙКОСТІ ДВЕРНИХ БЛОКІВ, ВИГОТОВЛЕНИХ З РІЗНИХ ПОРІД ДЕРЕВИНИ

39. The Pros and Cons of Knots in Wood Веб-сайт URL: https://www.wagnermeters.com/moisture-meters/wood-info/pros-cons-knots-in-wood/?srsltid=AfmBOoosB8wpww_Fydiuv0JB8K5ewOSrdK5ztkOsvgiqPGI8nsUFD0pi (Дата звернення 20.07.2024)

40. УДК 684.04 Ст. викл. Я.М. Білий; доц. С.А. Грицак, канд. техн. наук; доц. Я.П. Бугаєнко, канд. техн. наук – УкрДЛТУ ФОРМОСТІЙКІСТЬ ЩИТОВИХ ЗАГОТОВОК У ПРОЦЕСІ ВИТРИМКИ ПІСЛЯ ЛИЧКУВАННЯ с.113-115

41. Дослідження формостійкості клеєних щитів з масивної деревини дуба. В.О. Маєвський, Ю.В. Бенях. Науковий вісник НЛТУ України 2005. №15.5 С. 199 – 208.

42. Wood Knots Influence the Modulus of Elasticity and Resistance to Compression Веб-сайт URL: https://www.researchgate.net/publication/327351958_Wood_Knots_Influence_the_Modulus_of_Elasticity_and_Resistance_to_Compression

43. EFFECT OF KNOTS ON THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF SCOTS PINE WOOD RESEARCH, 51 (3): 2006, 51-58

44. Dead Knots vs Live Knots Веб-сайт URL: <https://logietimber.co.uk/docs/dead-knots-vs-live-knots/>

45. Kshyvetskyu, B. Y., Datskiv, H. M., & Andrashek, Y. V. (2019). Загальні відомості про клеї, склеювання та термічно модифіковану деревину. Scientific Bulletin of UNFU, 29(3), 81-84.

46. Дацків, Г. М., & Кшивецький, Б. Я. (2022). Встановлення міцності клейових з'єднань термічно модифікованої та звичайної деревини із використанням різних методик. Scientific Bulletin of UNFU, 32(5), 63-68.

47. УДК 674.04 Здобувач Б.М. М'якуш – НЛТУ України, м. Львів ТЕХНОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ СКЛЕЮВАННЯ ПАРКЕТНОЇ ДОШКИ

КЛЕЯМИ НА ТЕРМОПЛАСТИЧНІЙ ОСНОВІ ТА ЇХ ВПЛИВ НА МІЦНІСТЬ ТА ФОРМОСТІЙКІСТЬ ВИРОБУ

48. Способи обробки деревини від комах. Веб-сайт. URL: <http://gidproekt.com/sposoby-obrabotki-drevesiny-ot-nasekomyx-borba-s-zhukami-drevotochcami-shashelyami.html> (Дата звернення: 04.11.2023)

49. ОАК. Веб-сайт. URL: [Oak \(Types of Wood\) | Liberon wood cares and products](http://liberon.com/oak-types-of-wood) (Дата звернення: 04.11.2023)

50. ДУБОВА ДЕРЕВИНА: ОСОБЛИВОСТІ, ПЕРЕВАГИ. Веб-сайт. URL: <https://wood.ua/uk/blog/post/dubova-derevina-osoblivosti-perevagi.html> (Дата звернення: 04.11.2023)

51. Текстура деревини дуба. Веб-сайт. URL: https://br.freepik.com/fotos-premium/textura-de-madeira-clara-superficie-de-tabuas-de-madeira-para-criar-layouts-de-moveis_23217720.htm (Дата звернення: 04.11.2023)

52. Види деревини, сфери застосування, різниця. Веб-сайт. URL: https://drevych.ua/news-article?newsblog_path=1&newsblog_article_id=56 (Дата звернення: 05.11.2023)

53. Сосна текстура. Веб-сайт. URL: <https://celes.club/42892-sosna-tekstura-besshovnaja.html> (Дата звернення: 05.11.2023)

54. Вільха - міцність і екологічна чистота. Веб-сайт. URL: <https://market-dveri.ua/uk/olha-prochnost-i-ekologicheskaya-chistota-38/> (Дата звернення: 04.11.2023)

55. Holz Weiß Lasieren Maserung. Веб-сайт. URL: <https://i.pinimg.com/originals/8b/b4/d1/8bb4d18d8b67245986a8f6d29f8e395f.jpg> (Дата звернення: 04.11.2023)

56. Все про березу Веб-сайт. URL: <https://i.pinimg.com/originals/8b/b4/d1/8bb4d18d8b67245986a8f6d29f8e395f.jpg> (Дата звернення: 04.11.2023)

57. Особливості текстури деревини різних порід. Веб-сайт. URL: <https://elf-ramka.com.ua/ua/a228759-osobennosti-tekstury-drevesiny.html> (Дата звернення: 06.11.2023)

58. Дошка з горіха - властивості, області застосування, правила сушіння Веб-сайт. URL: http://stroyka-gid.com.ua/zroby-svoimy-rykamys/8449-dochka-z-gorixa.html#google_vignette (Дата звернення: 05.11.2023)

59. European Walnut Wood Properties Веб-сайт. URL: <https://www.wlwest.co.uk/knowledge/walnut-wood-properties-uses/> (Дата звернення: 06.10.2023)

60. Інтернет магазин Веб-сайт. URL: <https://wood-way.expert/ua/g108277514-shpon-oreh-evropejskij> (Дата звернення: 06.10.2023)

61. 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.

62. Лекція 11. Дисперсія та її властивості. Веб-сайт. URL: <http://pms.ptngu.com/page's/111.html> (Дата звернення: 17.10.2024)

63. Що таке дисперсія та стандартне відхилення? Веб-сайт. URL: <https://www.houseofmath.com/uk/encyclopedia/statystyka-ta-ymovirnist/statystyka/dyspersiya/shcho-take-dyspersiya-ta-standartne-vidkhylennya> (Дата звернення: 17.11.2024)

64. Формула розрахунку t-критерію Стьюдента. Веб-сайт. URL: <http://fpo.bsmu.edu.ua/static/t-kryteriy-styudenta> (Дата звернення: 17.10.2024)

65. Дослідження формостійкості дверних блоків, виготовлених з різних порід деревини. І.С. Габа; О.Б. Ференц. Науковий вісник НЛТУ України, 2014. – № 24.11.

66. УДК 684.04 Ст. викл. Я.М. Білий; доц. С.А. Грицак, канд. техн. наук; доц. Я.П. Бугаєнко, канд. техн. наук – УкрДЛТУ ФОРМОСТІЙКІСТЬ ЩИТОВИХ ЗАГОТОВОК У ПРОЦЕСІ ВИТРИМКИ ПІСЛЯ ЛИЧКУВАННЯ

67. Розслідування «Суспільне новини» Веб-сайт. URL: <https://suspilne.media/722493-vid-pocatku-povnomasstabnoi-vijni-rosia-znisilaponad-60-tisac-gektariv-lisu-na-tot-rozsliduvanna/> (Дата звернення: 17.10.2024)

68. Нормальний розподіл (закон Гаусса) Веб-сайт. URL: https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fitki/4tichinska_teoriya_jmovirnostej/35.htm (Дата звернення: 12.10.2024)

69. БЛОКИ ДВЕРНІ ДЕРЕВ'ЯНІ Загальні технічні умови (EN 14351-1:2006, NEQ) ДСТУ Б В.2.6-99:2009