

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

**ПОГОДЖЕНО
Директор ННІ**

Лісового і садово паркового
господарства

_____ Роман ВАСИЛИШИН

(підпис)

(ПІБ)

«_____» _____ 2025 р.

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри**

Технологій та дизайну виробів з
деревини

_____ Андрій СПІРОЧКІН

(підпис)

(ПІБ)

«_____» _____ 2025 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему Методи підвищення формостійкості масивної деревини для її використання в конструкціях меблевих виробів

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 СПІРОЧКІН

(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

канд. техн. наук, доц.

(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Андрій СПІРОЧКІН

(ПІБ)

Виконав

_____ (підпис)

Євгеній ЯРОВИЙ

(ПІБ)

Київ – 2025 рік

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

**ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри**

Технологій та дизайну виробів з деревини

к.т.н., доц. _____ Андрій СПІРОЧКІН

науковий ступінь, вчене звання (підпис)

(ПІБ)

« _____ » _____ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
СТУДЕНТУ**

Яровому Євгенію Петровичу

(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 Методи підвищення формостійкості масивної деревини для її використання в конструкціях меблевих виробів затверджена наказом ректора НУБіП України від “05” 11 2024 р. № 1978 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру _____

(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. Аналіз поняття формостійкості деревини та шляхи її підвищення

2. Дослідження межі міцності деревини на згин

3. Аналіз вплив формостійкості на можливість використання деревини

Дата видачі завдання “ _____ ” _____ 20__ р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи _____

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____

(підпис)

(прізвище та ініціали студента)

РЕФЕРАТ

Магістерська робота присвячена підвищенню формостійкості та безпечності тонких елементів з масивної деревини, що використовуються у конструкціях настінних полицок. Актуальність теми зумовлена популярністю відкритих полицок з масиву дуба, тенденцією до зменшення їх товщини та необхідністю запобігти крихкому руйнуванню при експлуатаційних навантаженнях.

Метою роботи є обґрунтування конструкції та технології виготовлення тонких ламельних елементів із масиву дуба з внутрішнім армуванням сіткою та експериментальне порівняння їх міцності при згині й характеру руйнування з традиційними неармованими клеєними елементами.

Об'єкт дослідження – тонкі елементи настінних полицок із масиву дуба, що працюють на згин між двома опорами. Предмет дослідження – вплив внутрішнього армування сіткою на межу міцності при згині та характер руйнування ламельних елементів. У роботі проаналізовано чинники формостійкості деревини, розроблено конструкцію армованої полицки та технологію її виготовлення, виготовлено серії армованих і неармованих зразків і проведено їх випробування на згин. Встановлено, що за рівнем межі міцності при згині армовані зразки не поступаються неармованим, проте демонструють більш безпечний характер руйнування – при зламі нижньої ламелі елемент зберігає цілісність завдяки роботі сітки. Обґрунтовано підбір обладнання, норми витрат матеріалів та показано, що прийнятий парк верстатів має значний резерв продуктивності.

Практичне значення роботи полягає у можливості впровадження конструкції армованих полицок у меблевому виробництві для підвищення безпечності настінних елементів, відкритих стелажів і легких опорних вузлів. Ключові слова: настінна полицка, масив дуба, ламель, армування сіткою, клей D4, міцність при згині, характер руйнування, формостійкість.

Проведена робота за розділами магістерської роботи.

У першому розділі виконано теоретичний аналіз формостійкості масивної деревини та чинників, що впливають на деформації й руйнування тонких елементів. Розглянуто основні методи підвищення стабільності деревини (термообробка, модифікація, клеєні конструкції), проаналізовано сучасні конструктивні рішення настінних полицок і обґрунтовано доцільність застосування ламельних елементів із внутрішнім армуванням як перспективного напрямку підвищення безпечності виробів.

У другому розділі розроблено конструктивну модель настінної полицки з масиву дуба з тонкими ламельними елементами, армованими внутрішньою сіткою. Виконано вибір матеріалів (пиломатеріали дуба, тип армуючої сітки, клей класу D4), сформовано основні розміри та вузли кріплення, а також запропоновано технологічний процес виготовлення ламельних елементів із урахуванням операцій розкрою, стругання, склеювання та опорядження.

У третьому розділі розроблено методику експериментальних досліджень малогабаритних зразків моделей полицок на згин відповідно до вимог ISO та ДСТУ. Підготовлено дві серії зразків: неармовані (клеєні з двох ламелей) та армовані (ламель – сітка – ламель), проведено випробування на згин, зафіксовано межу міцності та характер руйнування. Виконано порівняльний аналіз результатів, встановлено вплив армування на збереження працездатності елемента після пошкодження нижньої ламелі та зроблено висновки щодо підвищення безпечності конструкції.

У четвертому розділі обґрунтовано підбір деревообробного обладнання для виготовлення ламельних елементів настінних полицок, розраховано норми витрат деревини та клейових матеріалів, визначено продуктивність основних верстатів і ступінь їх завантаження при прийнятій програмі випуску. Показано, що прийнятий парк обладнання забезпечує виконання планового обсягу виробництва із значним резервом потужності, що дозволяє використовувати його також для виготовлення інших меблевих виробів на основі масивної деревини.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПІДВИЩЕННЯ ФОРМОСТІЙКОСТІ МАСИВНОЇ ДЕРЕВИНИ.....	9
1.1. Поняття формостійкості деревини.....	9
1.2. Чинники, що впливають на формостійкість.....	10
1.3. Методи підвищення формостійкості.....	11
1.4. Аналіз сучасних досліджень.....	12
1.5. Клеї як агент зміцнення з'єднань.....	13
1.6. Захисні покриття для підвищення вологостійкості.....	14
1.7. Інженерні вставки та конструкційні рішення.....	15
1.8. Аналіз методів підвищення формостійкості деревини та обґрунтування вибору експериментального підходу.....	16
РОЗДІЛ 2 АРГУМЕНТОВАНИЙ ОПИС ДЕРЕВНОГО МАТЕРІАЛУ.....	19
РОЗДІЛ 3 МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	37
3.1. Методика дослідження межі міцності малогабаритних зразків із масивної деревини.....	37
3.2. Результати експериментальних досліджень.....	42
РОЗДІЛ 4 ПІДБІР ТА РОЗРАХУНОК ПРОДУКТИВНОСТІ ОБЛАДНАННЯ.....	48
ВИСНОВКИ.....	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	63

ВСТУП

Масивна деревина широко використовується у меблевому виробництві завдяки поєднанню переваг – природної естетики, міцності, екологічності та гарної оброблюваності. Проте одним із ключових недоліків деревини є її гігроскопічність і як наслідок – значна змінність геометричних розмірів і форми виробів під впливом навколишнього середовища (зміна вологості, температура, механічні навантаження). Це проявляється у вигині, прогині, скручуванні панелей, дверцят, сидінь, що знижує якість меблевих конструкцій, скорочує строк їх експлуатації, збільшує витрати на ремонт або заміну. Зокрема, при тонких елементах меблів (як то сидіння, фасади, дверцята) проблема формостійкості стає більш гострою через менший запас міцності та жорсткості.

У сучасному меблевому виробництві існує нагальна потреба підвищити формостійкість деревини – особливо за умов використання тонких деталей, зменшення матеріалу (для зниження ваги і витрат), а також підвищення довговічності виробів. У наукових дослідженнях останніх років виявлено, що конструктивні та технологічні рішення (наприклад, ламелювання, армування, склеювання вузьких рейок) можуть значно зменшити деформаційні зміни. Наприклад, дослідження українських вчених показали, що при виготовленні меблевих щитів із масивної деревини основною проблемою є формостійкість – нестабільність розмірів та форми в процесі експлуатації [3]. Аналіз також показав, що важливими є такі чинники як ширина заготовок, напрям річних шарів, склеювання рейок .

Мета дослідження. Метою даної роботи є розроблення та обґрунтування ефективних методів підвищення формостійкості масивної деревини з урахуванням її подальшого використання у конструкціях меблевих виробів.

Об'єкт дослідження: масивна деревина, що використовується у меблевих конструкціях, зокрема у деталях сидінь, дверцят, полицок і панелей.

Предмет дослідження: технологічні прийоми та конструктивні рішення (наприклад, ламелювання, вклейка армуючих шарів) для підвищення формостійкості деревини в умовах меблевого виробництва.

Завдання дослідження:

1. Проаналізувати чинники, що впливають на формостійкість масивної деревини - матеріальну, конструктивну та технологічну природу деформацій. 2. Дослідити сучасні технології та конструкторські рішення підвищення формостійкості деревини (ламельювання, армування, впровадження тонких конструкцій) та виявити їх переваги і обмеження.

3. Розробити експериментальний протокол для перевірки впливу конструктивного рішення (вклейка армуючої сітки між тонкими ламелями) на формостійкість тонкої панелі деревини.

4. Провести експериментальну перевірку зразків, отримати дані про деформації (прогин, викривлення) та порівняти контрольну і модифіковану конструкцію.

5. Сформулювати рекомендації щодо впровадження конструктивного рішення у виробництво меблевих виробів із масивної деревини.

Методи дослідження: аналіз і систематизація наукових джерел; конструкторсько-технологічне моделювання; експериментальні випробування – підготовка зразків, механічне й конструктивне випробування (циклічне навантаження, статичне навантаження), вимірювання деформацій та викривлень; статистична обробка результатів (середнє, стандартне відхилення, порівняння груп).

Наукова новизна. По-перше, запропоновано конструктивне рішення для меблевих деталей із масивної деревини – тонка панель, склеєна з двох ламелей з армуючою вставкою, що дозволяє зменшити товщину елемента, знизити матеріалоемність й одночасно підвищити формостійкість. По-друге, експериментальне дослідження проведено з механічним циклічним навантаженням (імітація експлуатації меблів), що дає новий підхід до оцінки конструктивної стабільності в умовах меблевого виробництва.

Практичне значення – результати дослідження можуть бути впроваджені у меблевого виробництві для виготовлення легших, більш стабільних деталей із масивної деревини – зменшення товщини елемента, зниження матеріалозатрат і

ваги виробу при підвищенні експлуатаційної надійності. Крім того, можуть бути розроблені рекомендації для виробників щодо конструктивної обробки дерев'яних деталей, що забезпечують покращену формостійкість.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПІДВИЩЕННЯ ФОРМОСТІЙКОСТІ МАСИВНОЇ ДЕРЕВИНИ

1.1. Поняття формостійкості деревини

Формостійкість деревини визначається як здатність виробів зберігати геометричну форму та розміри в умовах змін навколишнього середовища та експлуатаційних навантажень. У меблевому виробництві це означає стабільність сидінь, дверцят, панелей, фасадів і інших елементів: вони не повинні помітно коробитися, скручуватися, провисати чи втрачати точність прилягання в процесі експлуатації. Висока формостійкість безпосередньо пов'язана як із довговічністю виробу, так і з комфортом користувача та збереженням зовнішнього вигляду меблів протягом усього строку служби [1].

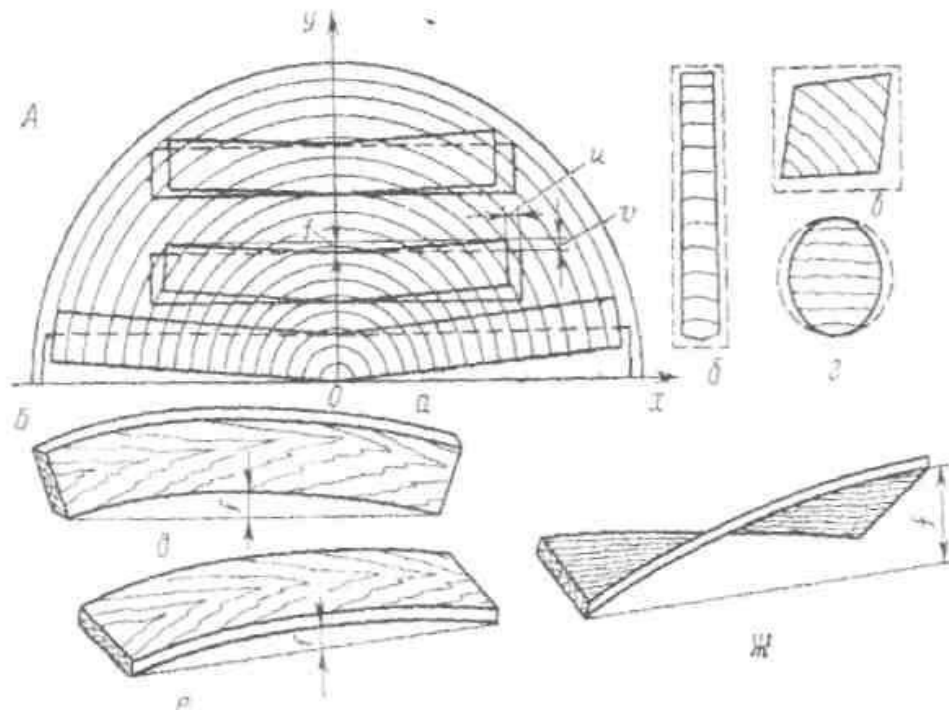


Рис. 1.1. Схема деформацій [2]

Деревина має анізотропну будову: напрям річних шарів, волокон, пори та судини впливають на характер і величину деформацій. Через це усихання й розбухання відбуваються по-різному в радіальному, тангенціальному та

поздовжньому напрямках, що призводить до викривлень, короблення, скручування елементів. Додатково на формостійкість суттєво впливають зміни вологості навколишнього повітря, режим та тривалість сушіння, а також внутрішні напруження, які залишаються в деревині після технологічної обробки. Товщина елемента також є важливим чинником: тонкі деталі менш стійкі до викривлень і прогинів, швидше реагують на коливання вологості, тоді як масивніші елементи краще утримують форму, але за неправильного конструювання можуть схильні до утворення тріщин. Таким чином, при проєктуванні меблевих виробів необхідно враховувати не лише породу деревини, а й напрям розкрою, конструкцію перерізу, спосіб з'єднання деталей та очікувані умови експлуатації, щоб забезпечити достатній рівень формостійкості.

1.2. Чинники, що впливають на формостійкість

Матеріальні – до матеріальних чинників належать порода деревини (бук, дуб, сосна тощо), її щільність, внутрішня анатомічна структура, наявність вад будови – сучків, тріщин, заболоні, реакційної деревини тощо [4]. Кожна порода має свій характер усихання та розбухання, різну чутливість до змін вологості, що безпосередньо відображається на формостійкості готових елементів. Наприклад, букова деревина відома підвищеною схильністю до короблення, тоді як дуб за правильного режиму сушіння є більш стабільним. Наявність сучків, мікротріщин і неоднорідностей створює концентрацію напружень, які з часом можуть проявлятися у вигляді викривлень, прогинів або додаткових деформацій. Важливе значення має і щільність: густіші породи, як правило, мають вищу міцність, але можуть бути більш чутливими до внутрішніх напружень, що виникають під час обробки та сушіння.

Конструктивні – чинники пов'язані з геометрією та побудовою елемента: товщина деталі, ширина ламелей або рейок, напрям волокон, схема розкрою, спосіб склеювання шарів. Відомо, що зі збільшенням ширини ламелей зростає ризик нерівномірного усихання по ширині, а отже - короблення панелей. Ширина

рейок і кут нахилу річних шарів суттєво впливають на форму комбінованих панелей, зокрема «сендвіч»-конструкцій, фасадів, дверних полотен [5]. Правильне орієнтування волокон (чергування напрямків, симетричне розміщення шарів) дозволяє частково компенсувати внутрішні деформації та підвищити формостійкість. Важливу роль відіграє і тип клею, товщина клейового шва, умови пресування: за недотримання технології склеювання можуть виникати залишкові напруження, що з часом спричиняють викривлення елементів.

Технологічні та експлуатаційні, до цієї групи належать метод і режим сушіння деревини, температура та вологість навколишнього середовища, а також характер і величина циклічних механічних навантажень у процесі експлуатації [6]. Неправильно підібраний режим сушіння (надто швидке або нерівномірне висушування) сприяє виникненню внутрішніх напружень, що зберігаються в деревині й проявляються у вигляді викривлень уже в готовому виробі. Під час експлуатації на меблевих елементах діють змінні умови мікроклімату приміщення: сезонні коливання вологості, локальний нагрів від опалювальних приладів, вплив сонячного випромінювання. У поєднанні з багаторазовими механічними навантаженнями (сидіння, відкривання й закривання дверцят, ударні впливи) це поступово призводить до повзучості матеріалу, зміни геометрії та втомних деформацій. Тому для забезпечення належної формостійкості важливо не лише правильно обрати матеріал і конструкцію, а й дотримуватися раціональної технології обробки та враховувати реальні умови роботи виробу.

1.3. Методи підвищення формостійкості

Термічна модифікація (термомодифікація) – це найсучасніша, 100% екологічно чиста технологія біологічного та атмосферного захисту деревини, без використання будь-яких хімікатів. Термін служби виробів з термодерева (рис. 1.2) в 3-5 разів довший в порівнянні з класичними методами захисту, включаючи антисептики та просочення [7].



Рис. 1.2. Деревина після термообробки [7]

Температуру в камері підвищують орієнтовно до 185–225 °С. Її максимальне значення обирають залежно від очікуваних властивостей готової деревини та подальшої сфери її застосування.

Досягнувши потрібної температури, її підтримують на цьому рівні протягом 2–3 годин (тривалість залежить не лише від породи деревини, а й від її об'єму та геометричних розмірів). Парове середовище запобігає загорянню деревини та одночасно впливає на перебіг хімічних процесів у ній. [7].

1.4. Аналіз сучасних досліджень

Аналіз публікацій українських науковців показує, що основна увага приділяється впливу конструктивних параметрів меблевих щитів – ширині рейок, способу їхнього компонування (радіальне / тангентальне розташування), напрямку волокон, типу клею тощо. Зокрема, у роботах, присвячених формостійкості клеєних щитів із масивної деревини дуба та сосни, доведено суттєвий вплив схеми укладання ламелей та їхньої ширини на короблення та зміну розмірів, але практично не розглядається варіант введення армуючих шарів між ламелями як окремого конструктивного елемента. Міжнародні дослідження проблеми формостійкості деревини й деревинних матеріалів здебільшого фокусуються на деревинних плитах та модифікованій деревині: ДСП, МДФ, OSB, фанері, LVL, а також клеєних плит різної компоновки та

термічно модифікованій деревині (термодеревині). Для цих матеріалів докладно вивчаються водопоглинання, рівноважна вологість, коефіцієнти розбухання та усушки, протиусадкова/протирозбухальна ефективність, що дає змогу суттєво підвищувати розмірну стабільність, зокрема шляхом термічної модифікації твердих порід деревини [8].

Разом із тим, поєднання підходу шаруватого масиву (ламельі з цінних порід) з внутрішнім армуючим шаром (сіткою/текстилем) між ламелями для підвищення формостійкості тонких меблевих елементів (фасади, дверцята, полиці невеликої товщини) залишається мало дослідженим як в українській, так і в зарубіжній літературі. Це дає підстави вважати обраний у магістерській роботі конструктивний метод з армуючою вставкою перспективним та науково обґрунтованим напрямом, що логічно продовжує існуючі дослідження, але пропонує нове інженерне рішення для забезпечення формостійкості масивної деревини.

1.5. Клеї як агент зміцнення з'єднань

Одним із найбільш ефективних напрямів підвищення стабільності деревини є використання клеєних конструкцій. Клеї дозволяють створювати нові типи матеріалів – від багатошарових плит до гнутих елементів складної форми. Використання клейових систем забезпечує рівномірний розподіл навантаження та усуває локальні напруження, які виникають у масивній деревині під дією змін мікроклімату [9].

Властивості клею визначають якість з'єднання, його водостійкість і довговічність. Для меблевого виробництва особливо важливими є клеї класів D3 і D4 згідно з європейським стандартом EN 204. Клей D4 має найвищий рівень вологостійкості та зберігає адгезію навіть у вологому середовищі або при короткочасному контакті з водою. До його складу входять поліуретанові смоли, які після полімеризації утворюють міцну сітчасту структуру, що не руйнується при зміні температури [10].

Комбінація клеїв класу D4 із армуючими матеріалами (наприклад, полімерною або склотканинною сіткою) створює деревинно-композиційні структури, що поєднують легкість натурального матеріалу з високою міцністю композиту. Армування дозволяє збільшити межу міцності на вигин до 30–50 % і водночас зменшити товщину деталі без втрати її жорсткості.

Клеєні конструкції на основі деревини сьогодні вважаються перспективним напрямом розвитку меблевої промисловості, оскільки вони забезпечують економію сировини та стабільність форми виробів навіть у складних умовах експлуатації [11].

1.6. Захисні покриття для підвищення вологостійкості

Покриття є одним із ключових елементів забезпечення формостійкості деревини, оскільки вони виконують функцію бар'єра між матеріалом і зовнішнім середовищем. Найпоширенішими є лакокрасочні системи, воскові суміші, олійні просочення та полімерні покриття.

Їхнє призначення полягає у зменшенні швидкості обміну вологи між деревиною та повітрям, а також у підвищенні зносостійкості поверхні [12].

Сучасні меблеві покриття зазвичай складаються з кількох шарів:

грунтувального шару, який заповнює пори й підвищує адгезію;

пігментного або тонуючого шару, який формує колір;

захисного лакового шару, що утворює прозору плівку.

Поліуретанові покриття вважаються найефективнішими для меблів, що експлуатуються у вологих приміщеннях (кухні, ванні кімнати). Вони утворюють міцну еластичну плівку, стійку до дії води, спиртів та побутової хімії. Акрилові системи вирізняються екологічністю та швидким висиханням, а епоксидні — високою хімічною стійкістю [13]. Окрім традиційних покриттів, активно впроваджуються наноструктурні матеріали. Нанопокриття на основі SiO_2 , TiO_2 або ZnO створюють гідрофобну поверхню, зменшуючи зволоження та запобігаючи проникненню ультрафіолетового випромінювання у волокнисту структуру деревини. Це підвищує довговічність меблевих виробів і покращує

збереження їх зовнішнього вигляду [14]. Комбіновані системи покриттів забезпечують найкращий ефект, коли поєднуються просочення глибокої дії та верхнє полімерне покриття. Це дозволяє стабілізувати деревину не лише зовні, але й на мікроструктурному рівні [15].

1.7. Інженерні вставки та конструкційні рішення

Окрім просочень і покриттів, важливим напрямом зміцнення деревини є використання інженерних вставок та комбінованих структур. До таких технологій належать ламелювання, використання фанери, MDF, HDF, CLT-панелей (Рис. 1.3.), армованих шарів тощо [16].



Рис. 1.3. CLT-панель [17]

Конструкційні рішення дозволяють перерозподілити напруження у виробі, зменшити ризик викривлень і водночас знизити витрату масивної деревини.

Інженерні вставки застосовують у місцях найбільшого навантаження — у з'єднаннях, кутових елементах, опорах. Використання вставок із фанери чи металевих профілів забезпечує додаткову жорсткість і зменшує деформації при згині [18].

Армування є перспективним методом покращення формостійкості, адже воно не змінює природну текстуру деревини, але значно покращує її механічні властивості. Це особливо актуально для виготовлення фасадів, дверей, столешень, елементів сидінь тощо. Використання клею класу D4 у таких

конструкціях гарантує стабільність з'єднання навіть при періодичних коливаннях вологості [19].

1.8. Аналіз методів підвищення формостійкості деревини та обґрунтування вибору експериментального підходу

Забезпечення формостійкості деревини у меблевих конструкціях є одним із ключових завдань сучасного деревообробного виробництва. Під формостійкістю розуміють здатність матеріалу зберігати незмінними свої геометричні розміри під дією вологи, температури та навантаження.

Для досягнення стабільності деревини застосовують низку методів — фізичних, хімічних, механічних та конструкційних [20].

Фізичні методи стабілізації.

Фізичні методи спрямовані на зміну внутрішньої структури деревини без використання хімічних реагентів. Сюди належить термічна, гідротермічна та мікрохвильова обробка, а також вакуумне сушіння.

Термообробка проводиться за температур 160–220 °С і забезпечує зниження гігроскопічності завдяки частковому розкладанню геміцелюлоз [21]. У результаті деревина менше реагує на коливання вологості, але водночас дещо знижується її міцність і пружність [22].

Від рівня температури залежить те, яким властивості отримає продукт. Залежно від сфери застосування деревини рівень обробки можна ретельно оптимізувати. Так, фінська асоціація Thermowood виділяє два класи обробки – Thermo S) і Thermo D. Ключовими властивостями даних класів є розмірна стабільність при перепадах вологості та температури навколишнього середовища (Thermo S), або дуже висока стійкість до гниття (Thermo D). У класі Thermo S обробка проводиться при температурі 185-190 °С. В класі Thermo D обробка проводиться при температурі 215-220 °С.[23] Застосування вакуумного сушіння дозволяє уникнути внутрішніх напружень і розтріскування матеріалу, однак потребує енергоємного обладнання, тому частіше використовується для виробів високої якості [24].

Хімічні та просочувальні методи.

Хімічна стабілізація полягає у просоченні деревини речовинами, які заповнюють пори, модифікують клітинні стінки та зменшують гігроскопічність. Найпоширенішими є полімерні, акрилові, епоксидні та силіконові просочення. [25].

Застосування природних біополімерів, зокрема модифікованого лігніну та целюлозних нанополімерів, розглядається як перспективний напрямок екологічної стабілізації деревини [26].

Однак ці методи потребують спеціалізованого обладнання і поки що рідко впроваджуються у масове меблеве виробництво.

Механічні та конструкційні методи.

Конструкційні методи передбачають зміну геометричної або внутрішньої структури виробу. Замість суцільного масиву використовують багатошарові системи – фанеру, клеєну деревину, LVL-брус, CLT-панелі, які демонструють високу міцність і стабільність форми [27]. Що в поєднанні дає високу стабільність форми та однорідність плити при наклеюванні шпону.

У цих матеріалах волокна орієнтовані в різних напрямках, що компенсує внутрішні напруження і запобігає коробленню.

До прикладу на Рис.1.4 зображена багатошарова плита з використанням лущеного шпону, деревинно-волокнистих плит та масиву деревини.

Ці плити мають високу вологостійкість завдяки застосуванню поліуретанового клею класу D4, який забезпечує стабільну адгезію навіть за умов підвищеної вологості [28].

Застосування цього методу дозволяє створювати тонкошарові армовані панелі, придатні для виготовлення меблевих фасадів, кришок столів, спинок і декоративних елементів.

Очікується, що така технологія забезпечить підвищення межі міцності на прогин не менше ніж на 30 %, а також зменшення деформацій при зміні вологості навколишнього середовища.



Рис. 1.4. Приклад багатошарової плити

Проведений теоретичний аналіз показує, що формостійкість деревини є комплексною характеристикою, яка залежить від будови, фізико-механічних властивостей, вологості, умов експлуатації та технології обробки.

Підвищення стабільності деревини можливе шляхом: удосконалення технологій сушіння та термообробки; застосування просочень, покриттів і лакофарбових систем; створення багатошарових конструкцій і армованих плит.

Особливої уваги заслуговує метод вклеювання армуючої сітки між шарами деревини з використанням клею D4, який поєднує переваги клеєного матеріалу, армованого композиту та природної естетики деревини. Це відкриває перспективи створення нових типів конструкцій, що мають підвищену міцність, стабільність і довговічність.

РОЗДІЛ 2

АРГУМЕНТОВАНИЙ ОПИС ДЕРЕВНОГО МАТЕРІАЛУ

Береза вирізняється помірною міцністю, однорідною структурою та світлим природним відтінком деревини. Її щільність зазвичай становить від 620 до 700 кг/м³ залежно від місця зростання та віку дерева. Завдяки дрібній текстурі й однорідній будові береза добре піддається механічній та ручній обробці, легко шліфується й фарбується. Однак через нестійкість до гниття вона потребує додаткового захисту у вологих умовах. Березова деревина широко використовується у виробництві меблів, фанери, внутрішніх елементів інтер'єру та сувенірної продукції. Основними недоліками є її помірна довговічність та схильність до деформацій при неправильному сушінні [29].

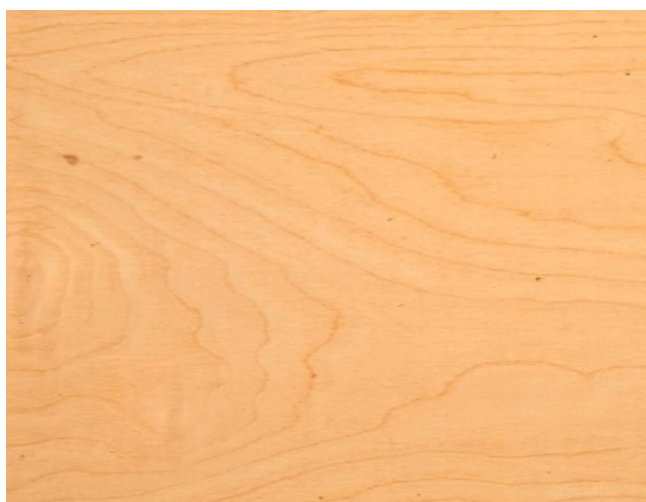


Рис. 2.1. Текстура деревини берези [30]

Вільха характеризується невеликою щільністю – від 510 до 650 кг/м³, що робить її досить легкою та простою в обробці. Деревина має рівномірну текстуру й м'який червонуватий або жовтувато-коричневий відтінок, який з часом стає більш насиченим. Вільха добре тримає форму, не схильна до значних розтріскувань та деформацій за умови правильного сушіння. Її важливою особливістю є стабільність розмірів при зміні вологості, тому вона цінується у виробництві меблів, столярних виробів, різьби та внутрішньої облицювальної

продукції. До недоліків належать невисока міцність і слабка природна стійкість до атмосферного впливу та гниття [29].



Рис. 2.2. Текстура деревини вільхи [31]

Дубова деревина відома своєю винятковою твердістю, стабільністю та здатністю витримувати тривале механічне навантаження. Її щільність зазвичай становить від 670 до 900 кг/м³, що забезпечує високу опірність стиранню та ударним впливам.

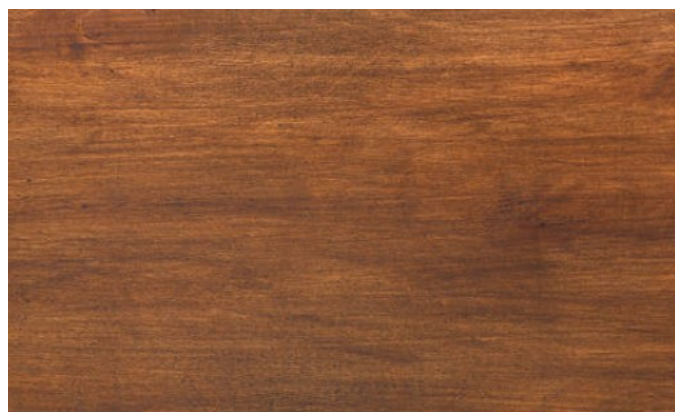


Рис. 2.3. Текстура деревини дуба [32]

Структура дуба вирізняється чітко вираженими річними шарами та характерними серцевинними променями, завдяки чому текстура набуває благородного й виразного малюнка. У складі деревини міститься значна кількість дубильних речовин, що підвищують її природну стійкість до гниття, комах та вологи [29]. Дуб широко використовується у виробництві підлогових

покріттів, сходових конструкцій, дверей, елітних меблів та декоративних панелей. Він добре піддається обробці, проте через твердість потребує якісного інструменту та досвіду роботи. Основними недоліками є висока вартість матеріалу та значна маса, що ускладнює транспортування й монтаж. Крім того, через підвищену щільність дуб висихає повільніше та вимагає точного дотримання режимів сушіння.

Бук має високі показники міцності та твердість, що наближаються до дуба. Середня щільність деревини становить від 650 до 750 кг/м³, а однорідна структура забезпечує відмінні властивості для згинання, пресування та інших столярних операцій.

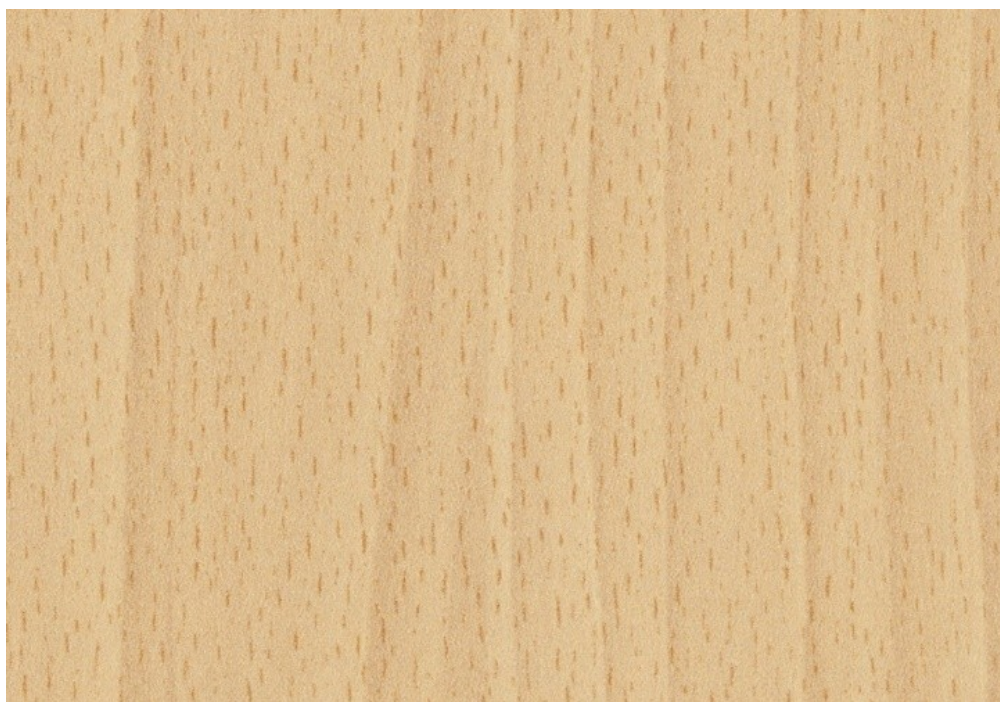


Рис. 2.4. Текстура деревини бука [33]

Бук добре шліфується, має світло-жовтий або рижуватий відтінок та дрібно волокнисту текстуру. Через високу гігроскопічність деревина потребує ретельного сушіння та захисту від вологи, інакше можливі деформації та зараження грибками. Бук широко застосовують у виробництві меблів, гнутих елементів, іграшок, паркету й інструментів. Головними недоліками є його низька природна вологостійкість і вимогливість до умов експлуатації.

З розглянутих в попередньому розділі порід деревини вибрано по 4 ключових усереднених характеристик для кожної із 4 порід, як вказано в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Основні характеристики обраних порід

Порода деревини	Середня щільність 12%, кг/м ³	Опір розколюванню ,12% Н/мм	Межа міцності на статичний згин при вологості 12%, МПа	Ціна грн/ м ³
Береза	640	16,7	104	3249
Вільха	525	14,1	79	2995
Бук	680	16,7	104	4400
Дуб	750	17	132	4600

Під час оцінки та якісного порівняння чотирьох різних порід, створені квадратні матриці бінарних відношень розміром 4x4. У цих матрицях "m" представляє характеристики завіс, "n" – види порід, отже, розмірність матриці 4x4. Взаємовідносини між характеристиками та видами порід виражаються математичними символами: "більше" - ">", "дорівнює" - "=", "менше" - "<" [34].

Далі проводиться порівняння показників за їх пріоритетністю під час оцінки характеристик. Для цього порівняння створено ще одну квадратну матрицю розміром m x n [34].

Для визначення кількісної оцінки для кожного показника спочатку визначено, яке значення є найкращим серед об'єктів, і наскільки це значення відрізняється від найгіршого об'єкта K_{ij} [34]:

$$K_{ij} = \frac{X_{ijmax}}{X_{ijmin}}, \quad (2.1)$$

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

поглинати вологу. Для обчислення кількісних оцінок використовують числові оцінки, надані експертами для кожної характеристики. Значення K_j обчислюються за формулою (2.1), що дозволяє визначити різницю між найкращим та найгіршим показником. Розрахувавши коефіцієнт K_j , розраховують коефіцієнт ω_j , за формулою (2.2):

Цей метод дозволяє визначити значення коефіцієнтів K_j та ω_j , використовуючи дані з табл. (2.3 – 2.5) та формули (2.1) і (2.2).

Таблиця 2.3

Матриця порівняння порід за опором розколювання деревини

		X1	X2	X3	X4	K	W
		16,7	14,1	16,7	17		
X1	16,7	=	<	<	<	1,20	0,2
X2	14,1	>	=	<	<		
X3	16,7	>	>	=	>		
X4	17	>	>	<	=		

Деревина, яка має високий опір розколюванню, краще витримує механічні навантаження та рідше ушкоджується. Це робить її придатною для застосування в конструкційних елементах, підлогових покриттях і різних типах з'єднань, де матеріал працює в умовах підвищеного навантаження. Натомість низький опір розколюванню свідчить про більшу ймовірність утворення тріщин, що може звзвити можливості використання такої деревини.

Таблиця 2.4

Матриця порівняння порід за межею міцності на статичний згин

		X1	X2	X3	X4	K	W
		104	79	104	132		
X1	104	=	<	<	<	1,67	0,34
X2	79	>	=	<	<		
X3	104	>	>	=	>		
X4	132	>	>	<	=		

Показник межі міцності при статичному згині є ключовим для визначення надійності деревини, що застосовуються у меблевій галузі та будівництві. Оскільки шканти часто зазнають значних згинальних навантажень, особливо в

зонах з'єднання елементів конструкції, цей параметр дає змогу оцінити їхню здатність витримувати робочі навантаження без руйнування.

Таблиця 2.5

Матриця порівняння порід за ціною

		X1	X2	X3	X4	K	W
		3249	2995	4400	4600		
X1	3249	=	<	<	>	1,53	0,29
X2	2995	>	=	>	>		
X3	4400	>	<	=	>		
X4	4600	<	<	<	=		

Багато споживачів орієнтуються на більш дешеву ціну, але не завжди нижча ціна означає гарну якість. Все залежить від потреб та бюджету споживачів.

Для визначення пріоритетів кожного матеріалу за кожною характеристикою P_{ij} і пріоритету самого показника P_j , впроваджується поняття потужності критерію L -го порядку $P(L)$, що розраховується по рядках [6]:

Перша ітерація:

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

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

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

Друга ітерація:

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

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

Третя ітерація:

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

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

Результати розрахунків занесено в табл. 2.6.

За допомогою цього методу розраховано та заповнено табл. 2.7 – 2.9.

Таблиця 2.6

Матриця суміжності для порівняння середньої щільності деревини

		X1	X2	X3	X4	K	W	P _{i1}	P _{i1*}	P _{i2}	P _{i2*}	P _{i3}	P _{i3*}
		640	525	680	750								
X1	640	1	0,69	0,69	0,69	1,42	0,31	2,98	0,19	11,57	0,19	44,65	0,19
X2	525	1,31	1	0,69	0,69			3,66	0,23	13,83	0,22	53,29	0,22
X3	680	1,31	1,31	1	1,31			5,02	0,31	19,73	0,32	75,95	0,32
X4	750	1,31	1,31	0,69	1			4,34	0,27	16,55	0,27	63,62	0,27
Σ								16,00	1,00	61,69	1,00	237,50	1,00

Таблиця 2.7

Матриця суміжності для порівняння на опір розколювання

		X1	X2	X3	X4	K	W	P _{i1}	P _{i1*}	P _{i2}	P _{i2*}	P _{i3}	P _{i3*}
		16,7	14,1	16,7	17								
X1	16,7	1	0,8	0,8	0,8	1,20	0,2	2,92	0,18	11,29	0,18	43,37	0,18
X2	14,1	1,2	1	0,8	0,8			3,64	0,23	13,65	0,22	52,35	0,22
X3	16,7	1,2	1,2	1	1,2			5,08	0,32	19,93	0,32	76,34	0,32
X4	17	1,2	1,2	0,8	1			4,36	0,27	16,53	0,27	63,21	0,27
Σ								16,00	1,00	61,41	1,00	235,26	1,00

Таблиця 2.8

Матриця суміжності для деревини на межу міцності при статичному згині

		X1	X2	X3	X4	K	W	P _{i1}	P _{i1*}	P _{i2}	P _{i2*}	P _{i3}	P _{i3*}	
		104	79	104	132									
X1	104	1,00	0,66	1,34	0,66	1,67	0,34	3,13	0,20	12,27	0,20	47,80	0,20	
X2	79	1,34	1,00	1,34	1,34			3,71	0,23	14,25	0,23	55,49	0,23	
X3	104	0,66	0,66	1,00	0,66			4,87	0,30	19,23	0,31	74,81	0,31	
X4	132	1,34	0,66	1,34	1,00			4,29	0,27	16,57	0,27	64,43	0,27	
Σ									16,00	1,00	62,32	1,00	242,54	1,00

Таблиця 2.9

Матриця суміжності для порівняння за ціною

		X1	X2	X3	X4	K	W	P _{i1}	P _{i1*}	P _{i2}	P _{i2*}	P _{i3}	P _{i3*}	
		3249	2995	4400	4600									
X1	3249	1	0,71	0,71	1,29	1,53	0,29	3,65	0,23	13,74	0,22	52,82	0,22	
X2	2995	1,29	1	1,29	1,29			5,05	0,32	19,83	0,32	76,15	0,32	
X3	4400	1,29	0,71	1	1,29			4,35	0,27	16,54	0,27	63,42	0,27	
X4	4600	0,71	0,71	0,71	1			2,95	0,18	11,43	0,19	44,01	0,19	
Σ									16,00	1,00	61,55	1,00	236,40	1,00

Для розрахунку по методу експертної оцінки отримуємо оцінки експертів та заносимо в табл. 2.10. Далі формулами (2.12 та 2.13) обчислено середнє значення \bar{x}_{ij} та середнє квадратичне відхилення S_{ij} по кожному ряду відповідей [34]:

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

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

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

m – кількість експертів.

Далі розраховуємо коефіцієнт варіації V_{ij} за формулою [6]:

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

Загальний коефіцієнт погодження експертів визначаємо за формулами нижче [34]:

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

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

де: n – кількість характеристик в анкеті;

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

Якщо $0,5 \leq K_E \leq 1$, то думка експертів погоджена [34].

Таблиця 2.10

Результат експертної оцінки пріоритетів показників

Кількість експертів	Середня щільність 12%, кг/м ³			Опір розколюванню 12%, Н/мм			Межа міцності на статичний згин при вологості 12%, Мпа			Ціна, грн/куб.м		
	X_i	$X_{\text{сеп}} - X_i$	$(X_{\text{сеп}} - X_i)^2$	X_i	$X_{\text{сеп}} - X_i$	$(X_{\text{сеп}} - X_i)^2$	X_i	$X_{\text{сеп}} - X_i$	$(X_{\text{сеп}} - X_i)^2$	X_i	$X_{\text{сеп}} - X_i$	$(X_{\text{сеп}} - X_i)^2$
1	2	1,00	1,00	4	-2,29	5,22	2	0,29	0,08	2	0,57	0,33
2	4	-1,00	1,00	1	0,71	0,51	2	0,29	0,08	3	-0,43	0,18
3	3	0,00	0,00	1	0,71	0,51	2	0,29	0,08	2	0,57	0,33
4	4	-1,00	1,00	1	0,71	0,51	2	0,29	0,08	3	-0,43	0,18
5	2	1,00	1,00	1	0,71	0,51	2	0,29	0,08	3	-0,43	0,18
6	1	2,00	4,00	1	0,71	0,51	4	-1,71	2,94	2	0,57	0,33
7	5	-2,00	4,00	3	-1,29	1,65	2	0,29	0,08	3	-0,43	0,18
Середнє значення балу	3,0			1,71			2,29			2,57		
Середнє квадратичне відхилення	1,41			1,25			0,76			0,53		
Коефіцієнт варіації / 100%	0,47			0,73			0,33			0,21		
	$K_{\text{експ.1}}$	0,53		$K_{\text{експ.2}}$	0,27		$K_{\text{експ.3}}$	0,67		$K_{\text{експ.4}}$	0,79	
Загальний коефіцієнт погодження експертів	0,56											

За результатами розрахунків (табл. 2.10) коефіцієнт узгодженості експертів знаходиться у межах $0,5 \leq K_{\text{експ}} \leq 1$, тому думка експертів вважається узгодженою. Це дає можливість побудувати матрицю бінарних відношень вагомості показників – табл. 2.11

Таблиця 2.11

Матриця бінарних відношень

		Y1	Y2	Y3	Y4	K	W
		3,0	1,71	2,29	2,57		
Y1	3,00	=	=	>	>	1,75	0,37
Y2	1,71	=	=	>	>		
Y3	2,29	<	<	=	=		
Y4	2,57	<	<	=	=		

Співвідношення між об'єктами виражені математичними символами "більше" (>), "дорівнює" (=) та "менше" (<).

Визначаємо, у скільки разів найкращий об'єкт відрізняється від найгіршого, використовуючи формулу (3.1). Далі знаходимо коефіцієнт ω_j , за формулою (3.2). Суміжні члени матриць визначено за формулами (3.3-3.4).

Замінюємо математичні символи (>), (=) та (<) відповідними значеннями ω_{ij} . Після цього створюємо матрицю суміжності для порівняння показників у табл. 2.12.

Таблиця 2.12

Матриця суміжності для порівняння показників, що характеризують матеріали

		Y1	Y2	Y3	Y4	K	W	P _{i1}	P _{i1} *	P _{i2}	P _{i2} *
		3,00	1,71	2,29	2,57						
Y1	3,00	1,00	1,37	1,37	1,37	1,75	0,37	4,32	0,27	17,18	0,27
Y2	1,71	0,63	1,00	0,63	0,63			4,32	0,27	17,18	0,27
Y3	2,29	0,63	1,37	1,00	0,63			3,68	0,23	14,62	0,23
Y4	2,57	0,63	1,37	1,37	1,00			3,68	0,23	14,62	0,23
Σ								16,00	1,00	63,59	1,00

Розрахунок проводимо як і в попередніх подібних таблицях за формулами (2.5 – 2.11).

На основі попередніх результатів побудовано загальну матрицю для обчислення комплексного пріоритету матеріалу (табл. 2.13).

Таблиця 2.13

Підсумкова матриця

Назва породи деревини	Пріоритет порід по одиничних показниках				Пріоритет показника		Комплексний пріоритет породи
	1	2	3	4	номер	значення	
Береза	0,19	0,18	0,20	0,22	1	0,27	0,20
Вільха	0,22	0,22	0,23	0,32	2	0,27	0,25
Бук	0,27	0,27	0,27	0,19	3	0,23	0,25
Дуб	0,32	0,32	0,31	0,27	4	0,23	0,31

З отриманих вище результатів видно, що максимальний пріоритет має дуб, який буде прийнятий в технологічний процес для підвищення формостійкості

2.2. Вирішення багатокритеріальної задачі методом аналізу ієрархій

Мета: вибір кращої породи деревини.

Кількість альтернатив – 4.

Кількість критеріїв – 4.

Позначено альтернативи та критерії скороченими назвами:

№	Критерії
Кр1	Середня щільність
Кр2	Опір розколюванню
Кр3	Міцність при статичному згині
Кр4	Ціна

№	Альтернативи
A1	Береза
A2	Вільха
A3	Бук
A4	Дуб

У процесі вибору найкращої породи, була створена та заповнена матриця парних порівнянь (МПП) (табл. 2.1) критеріїв щодо досягнення поставленої

мети. Ця процедура базується на особистому аналізі впливу характеристик на досягнення конкретних цілей.

Розраховуємо значення середнього геометричного значення елементів матриці за формулою [34]:

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

де: i – номер рядка матриці;

s – кількість елементів в i -му рядку матриці;

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

Далі обчислюємо значення ЛПр для першого рядка за формулою нижче [34]:

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

Розрахунок ЛПр для інших рядків виконується аналогічним чином.

Далі проводиться перевірка ступеня однозначності та узгодженості експертних оцінок, тобто чисел у матрицях парних порівнянь. Для здійснення цього контролю використовуються дві ключові характеристики - індекс узгодженості (CI) і відношення узгодженості (CR), які обчислюються за допомогою формул [6].

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

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

де: n – розмір матриці;

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

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

1. Підсумовують значення 1-го рядка матриці;
2. Множать отриману суму на значення вектору локальних пріоритетів (ЛПр) 1-го рядка матриці;

3. Теж саме повторюють і для інших рядків матриці. При цьому суму кожного рядка матриці множать на відповідне значення вектору локальних пріоритетів (суму 2-го рядка множать на значення вектору локальних пріоритетів ЛПр 2-го рядка; суму 3-го рядка на ЛПр 3-го рядка і так далі);
4. Підсумовують отримані результати. Це і буде максимально власне число МПП - λ_{max} , його також позначають як L_{am} [34].

Результати розрахунків занесено в табл. 2.14.

За допомогою цього методу розраховано та заповнено табл. 2.15 – 2.18.

Таблиця 2.14

Матриця МПП критеріїв відносно мети

	Назва	Кр1	Кр2	Кр3	Кр4	G	ЛПр1
Кр1	Середня щільність	1	1/4	1/5	1/3	0,359	0,074
Кр2	Опір розколюванню	4	1	1/4	1/2	0,841	0,174
Кр3	Міцність при статичному згині	5	4	1	1/2	1,778	0,367
Кр4	Ціна	3	2	2	1	1,861	0,385
Сума						4,840	1,00

Показники: $N=4$; $L_{am} = 4,390$; $CI = 0,130$; $CR = 0,144$

Найбільше значення ЛПр=0,385

Таблиця 2.15

Матриця МПП альтернатив по відношенню до критерію середня щільність

	Назва	A1	A2	A3	A4	G	ЛПр2
Пр1	Береза	1	1/5	1/4	1/4	0,334	0,066
Пр2	Вільха	5	1	1/3	1/5	0,760	0,150
Пр3	Бук	4	3	1	4/3	2,000	0,395
Пр4	Дуб	4	5	3/4	1	1,968	0,389
Сума						5,062	1,00

Показники: $N=4$; $\lambda_{\max} = 4,310$; $CI = 0,103$; $CR = 0,114$

Найбільше значення ЛПр=0,389

Таблиця 2.16

Матриця МПП альтернатив по відношенню до критерію опору на розколювання

	Назва	A1	A2	A3	A4	G	ЛПр3
Пр1	Береза	1	2	1/2	1/3	0,760	0,165
Пр2	Вільха	1/2	1	1/5	1/2	0,473	0,103
Пр3	Бук	2	5	1	4/3	1,911	0,415
Пр4	Дуб	3	2	3/4	1	1,456	0,317
Сума						4,600	1,00

Показники: $N=4$; $\lambda_{\max} = 4,122$; $CI = 0,041$; $CR = 0,045$

Найбільше значення ЛПр=0,415

Таблиця 2.17

Матриця МПП альтернатив по відношенню до критерію Міцність при статичному згині

	Назва	A1	A2	A3	A4	G	ЛПр4
Пр1	Береза	1	1/3	1/5	1/3	0,386	0,081
Пр2	Вільха	3	1	1/2	1/2	0,931	0,194
Пр3	Бук	5	2	1	1/4	1,257	0,263
Пр4	Дуб	3	2	4	1	2,213	0,462
Сума						4,787	1,00

Показники: $N=4$; $\lambda_{\max} = 4,465$; $CI = 0,155$; $CR = 0,172$

Найбільше значення ЛПр=0,462

Таблиця 2.18

Матриця МПП альтернатив по відношенню до критерію ціна

	Назва	Кр1	Кр2	Кр3	Кр4	G	ЛПр5
Пр1	Береза	1	1/5	1/5	1/4	0,316	0,063
Пр2	Вільха	5	1	1/3	1/3	0,863	0,171
Пр3	Бук	5	3	1	5/3	2,236	0,442
Пр4	Дуб	4	3	3/5	1	1,638	0,324
Сума						5,054	1,00

Показники: $N=4$; $\lambda_{\max} = 4,166$; $CI = 0,055$; $CR = 0,061$

Найбільше значення ЛПр=0,442

Побудовано матрицю пріоритетів критеріїв відносно мети та альтернатив відносно кожного з критеріїв (табл. 2.19).

Таблиця 2.19

Матриця пріоритетів критеріїв відносно мети та альтернатив відносно кожного з критеріїв

	Назва	ПрКр	Пр1 Береза	Пр2 Вільха	Пр3 Бук	Пр4 Дуб
Кр1	Середня щільність	0,074	0,066	0,150	0,395	0,389
Кр2	Опір розколюванню	0,174	0,165	0,103	0,415	0,317
Кр3	Міцність при статичному згині	0,367	0,194	0,194	0,263	0,462
Кр4	Ціна	0,385	0,063	0,171	0,442	0,324

Далі проводиться розрахунок глобального пріоритету (ГлПр). Значення глобального пріоритету для рядка А1 визначається шляхом сумування добутків значень стовпця "ПрКр" (табл. 2.20) на відповідні значення у стовпці "Пр1". Аналогічні обчислення виконуються для всіх інших рядків.

Отримані дані заносимо у табл. 2.20 глобальні пріоритети альтернатив

Таблиця 2.20

Глобальні пріоритети альтернатив

	Назва	ГлПр
1	Береза	0,129
2	Вільха	0,166
3	Бук	0,368
4	Дуб	0,378

З табл. 2.7 можна встановити, що Альтернатива «Пр4» Дуб має найвищий глобальний пріоритет, який складає 0,378, і, отже, він є найкращою альтернативою для досягнення цілі – Підвищення формостійкості деревини

Результати обчислень вказують на вибір породи деревини для Підвищення формостійкості деревини: за першим методом «Методом експертних оцінок» максимальним пріоритетом набула порода деревини дуб; за другим методом «Метод ієрархій» максимальний пріоритет також отримала порода дуб. Таким чином розрахунки показали які породи слід використовувати в експериментах.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Методика дослідження межі міцності малогабаритних зразків із масивної деревини

Методика визначення межі міцності малогабаритних зразків із масивної деревини при статичному згині у даному дослідженні базується на вимогах міжнародних стандартів ISO 13061-3, ISO 13061-1, ISO 3129 та відповідних гармонізованих національних стандартів ДСТУ, що регламентують підготовку зразків, умови їх кондиціонування й проведення статичних випробувань на згин [35–40].

Об'єктом випробувань є малогабаритні зразки, які моделюють фрагменти настінних полицок з масивної деревини. Зразки виконували у вигляді вузьких пластин прямокутного перерізу, сформованих із кількох тонких ламелей, склеєних між собою по товщині. Частина зразків була неармованою (лише масивна деревина), інша частина – армованою за рахунок розміщення всередині пакету ламелей армуючої сітки (склотканина або полімерна сітка). Після склеювання сітка опинялася всередині перерізу (Рис. 3.1), працюючи переважно в зоні розтягнення при згині.

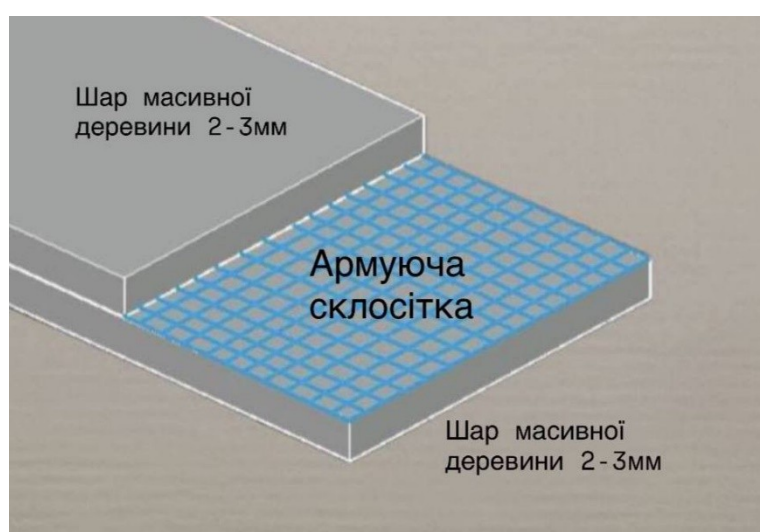


Рис. 3.1. Схема майбутньої плити

Номінальні розміри зразків (довжина, ширина та товщина) добирали з урахуванням вимог ISO 13061-3 щодо співвідношення прольоту та висоти

перерізу: довжина забезпечувала проліт між опорами не менше ніж у 12–16 разів більший за висоту зразка [35]. На практиці це відповідало тонким пластинам із товщиною близько 5-6мм та довжиною, що дозволяла встановити необхідний проліт на випробувальній машині. [35; 39].

Підготовка матеріалу та підбір зразків здійснювали з урахуванням вимог ISO 3129 та ДСТУ ISO 3129 щодо репрезентативного відбору деревини та виготовлення бездефектних зразків малого розміру [36; 38]. Більшість зразків виготовлялась з масивної деревини однієї породи з максимально однорідною структурою: тріщин, серцевини та інших видимих вад, що можуть суттєво впливати на результати випробувань, але враховуючи вартість сировини, в експеримент були включені зразки з вадами типу (сучки) Напрямок волокон деревини орієнтували вздовж довжини зразка, що відповідає реальній роботі настінних полицок.

Формування та склеювання заготовок

Були склеєні заготовки більшого розміру з яких потім були нарізані необхідні зразки

Неармовані

плита складається лише з ламелей масивної деревини (2 шари масивної деревини);

Армовані заготовки

між шарами ламелей укладали армуючу сітку сітку вирізали за розмірами заготовки з невеликим припуском по краях; армуючий шар розташовували так, щоб у подальших зразках він працював у зоні розтягнення при згині. (Рис.3.2)

Перед склеюванням пакети ламелей збирали «насухо» на рівній поверхні, перевіряли прилягання та розташування сітки.

Склеювання виконували на водостійкий клей класу D4:

клей наносили рівномірним шаром на поверхні ламелей (а в армованих заготовках – також на контактні поверхні сітки) (Рис.3.2).



Рис. 3.2. Нанесення клею на контактні поверхні сітки

Тривалість витримки під тиском становила не менше 6 годин. Після зняття з преса заготовки додатково витримували 24 год до повного затвердіння клею.

На цьому етапі отримували клеєні панелі двох типів: без армування та з внутрішньою армуючою сіткою. Надалі клеєні плити були нарізані на зразки відповідних розмірів (300x50x5) для проведення дослідів згідно стандартів.

Перед випробуваннями зразки кондиціонували до досягнення нормованої вологості. Відповідно до ISO 13061-1 малогабаритні зразки, що випробовуються в повітряно-сухому стані, витримують у середовищі з відносною вологістю (65 ± 5) % та температурою (20 ± 2) °C до сталої маси[37].

Випробування проводили на спеціальній випробувальній машині (Рис3.2). для згину, яка складається з жорсткої рами, двох нижніх циліндричних опор та верхнього циліндричного навантажувального елемента



Рис. 3.2. Проведення випробувань

Зразок укладали на дві нижні опори, формуючи просту балку з прольотом l . Верхній елемент прикладав навантаження у середній частині зразка, тобто випробування здійснювали за схемою статичного триточкового згину (Рис. 3.3), що відповідає вимогам ISO 13061-3 та ДСТУ EN 408 до визначення механічних властивостей при згині [35; 39].

Навантаження прикладали плавно, зі сталою швидкістю, яка забезпечувала квазістатичний характер деформування. У процесі випробування на шкалі машини реєстрували значення прикладеної сили

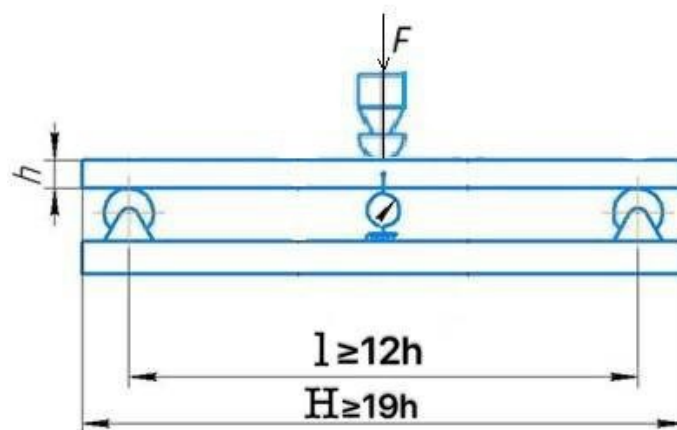


Рис. 3.3. Схема випробування

Момент руйнування фіксували за максимальним значенням навантаження P_{max} , при якому зразок втрачав цілісність або спостерігалось різке зростання деформацій. Для неармованих зразків у більшості випадків відбувалося повне руйнування з утворенням наскрізного зламу (Рис. 3.4).



Рис. 3.4. Зразок неармованої деревини після випробування

Для армованих зразків армуюча сітка утримувала уламки й запобігала повному розділенню елемента (Рис.3.5.), що фіксували у вигляді фотознімків та опису характеру руйнування.



Рис. 3.5. Злам армованих зразків без утворення наскрізного зламу

Межу міцності при статичному згині (модуль руйнування) для кожного зразка визначали розрахунковим шляхом за стандартною формулою для триточкового згину прямокутного перерізу [35; 39] ():

$$\sigma_b = 3 \cdot P_{max} \cdot l / (2 \cdot b \cdot h^2) \quad (3.1)$$

де σ_b – межа міцності при згині, МПа; P_{max} – максимальне навантаження при руйнуванні зразка, Н - Довжина зразка; l – проліт між опорами, мм; b – ширина зразка, мм; h – товщина (висота) зразка, мм. Результати обчислювали у мегапаскалях (Н/мм²) та наводили з точністю до 1 МПа.

Для кожної серії зразків (армованих та неармованих) далі обчислюються індивідуальні значення межі міцності, після чого визначали середнє значення, мінімум, максимум і, за потреби, середньоквадратичне відхилення. Окремо аналізували спостережуваний характер руйнування: повне або неповне розділення зразка, наявність тріщин у зоні розтягнення, відшарування шарів уздовж ліній склеювання, роль армуючої сітки у стримуванні розвитку тріщин. Порівняння середніх значень межі міцності та характеру руйнування дозволяє оцінити ефективність армування малогабаритних елементів із масивної деревини та зробити висновки щодо доцільності застосування армуючої сітки в конструкціях меблевих виробів.

3.2. Результати експериментальних досліджень

Експериментальні дослідження були спрямовані на порівняння міцності та характеру руйнування армованих і неармованих тонких елементів з масивної деревини дуба, які моделюють настінні полицьки.

Результати випробувань на статичний згин

У ході випробувань було протестовано шість зразків: три армовані (серія А, зразки 1–3) та три неармовані (серія В, зразки 4–6). Номінальні розміри зразків: ширина $b = 50$ мм, загальна товщина $h \approx 5$ мм, довжина $L = 300$ мм. Проліт між опорами під час випробувань відповідав вимогам методики триточкового згину для малогабаритних зразків згідно ISO 13061-3 та ГОСТ 16483.3-84 [35; 39] тобто 280мм. Межу міцності при згині σ_b для кожного зразка обчислювали за стандартною формулою для триточкового згину наведену в розділах.

Індивідуальні результати випробувань наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Результати випробувань

Зразок	P_{max} , Н	P_{max} , кг	σ_b , МПа	Короткий опис руйнування
Армований 1	467,86	47,7	1,56	Тріщини в нижній ламелі, зразок зберіг цілісність
Армований 2	553,53	56,4	1,85	Локальний злам у зоні розтягнення, без наскрізної тріщини
Армований 3	408,61	41,7	1,36	Тріщина в нижньому шарі, деталь не розламалася
Неармований 4	295,34	30,1	0,98	Повний злам нижньої та верхньої ламелей
Неармований 5	544,75	55,5	1,82	Повний наскрізний злам у зоні розтягнення
Неармований 6	546,93	55,8	1,82	Нижня ламель зламана, верхня сильно деформована (майже повний злам)

Для армованих зразків серії А середнє максимальне навантаження становило приблизно 476,7 Н, що відповідає близько 48.6 кг навантаження, яке може сприймати один елемент до досягнення межі міцності. Окремі армовані зразки витримували від близько 41.7 кг (Армований 3) до близько 56.4 кг (Армований 2) еквівалентного навантаження (Рис 3.6).

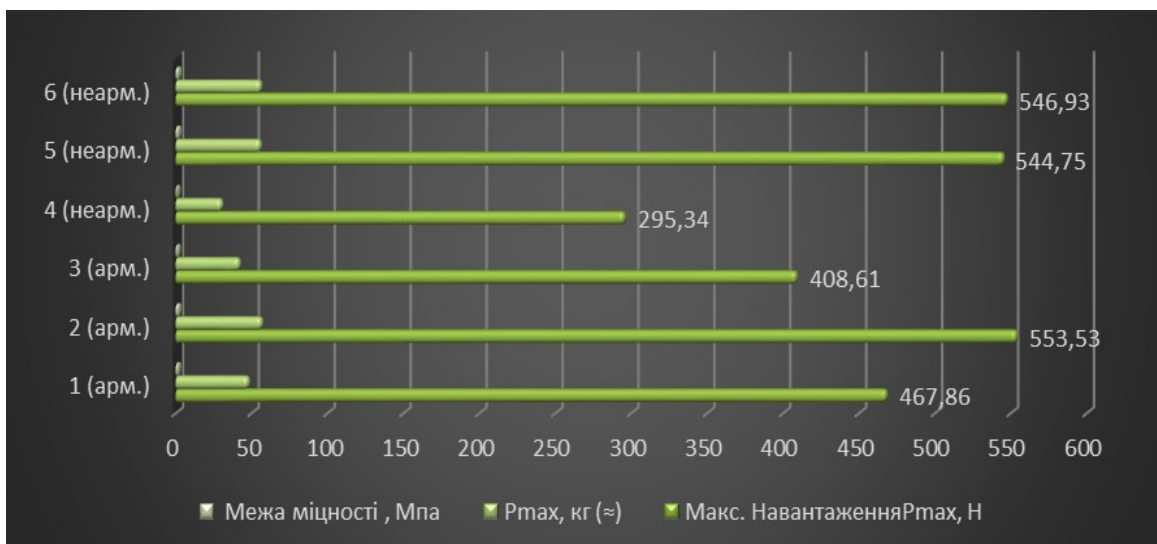


Рис. 3.6. – Межа міцності при згині для армованих і неармованих зразків



Рис. 3.7. – Середні значення межі міцності σ_b для армованих (серія А) та неармованих (серія В) зразків

Це демонструє, що навіть тонкий армований елемент із масиву дуба має запас несучої здатності, достатній для типових настінних полицок, для яких виробники, як правило, декларують допустимі навантаження до 25 кг залежно від конструкції та типу кріплення [40].

Як видно з рис. 3.7, середні значення межі міцності при статичному згині для армованих і неармованих зразків відрізняються незначно: армування не призводить до різкого зростання σ_b . Це каже про те, що композитне армування

деревини в згинальних елементах змінює не стільки початкову несучу здатність, скільки характер роботи та руйнування конструкції [41; 42].

Попри близькі середні значення межі міцності, характер руйнування армованих і неармованих зразків принципово відрізняється. У неармованих елементах серії В руйнування відбувається крихко і супроводжується повною втратою працездатності, тоді як армовані зразки серії А зберігають цілісність навіть після появи тріщин у нижніх шарах.

У неармованих зразках у двох випадках із трьох було зафіксовано повний злам нижньої та верхньої ламелей із утворенням наскрізної тріщини. Третій зразок також втратив працездатність: нижня ламель повністю зламалася, верхня зазнала значних деформацій і тріщин, тобто елемент фактично був непридатним до подальшої експлуатації. Такий тип руйнування є раптовим, крихким і характеризується миттєвою втратою несучої здатності (Рис 3.8).



Рис. 3.8. Невідворотна втрата міцності та працездатності неармованих зразків

На відміну від цього, в армованих зразках тріщини формувалися переважно в нижніх ламелях у зоні розтягнення, проте армуюча сітка

перехоплювала розвиток цих тріщин. Верхні ламелі деформувалися, але не зазнавали повного зламу, а деталь загалом зберігала цілісність. Тобто після досягнення максимального навантаження зразок залишався здатним утримувати частину прикладеної ваги, що свідчить про наявність залишкового запасу міцності саме завдяки роботі армуючого шару (Рис. 3.9).

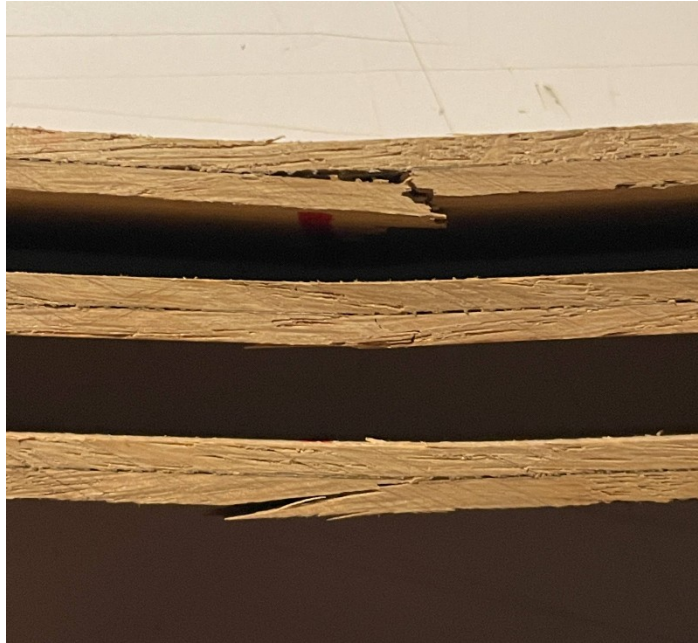


Рис. 3.9. Армовані зразки без повної руйнації

Таким чином, армована сіткою конструкція працює як своєрідний "страхувальний" елемент: при перевищенні граничного навантаження деревина локально руйнується, але сітка не дозволяє тріщині миттєво розповсюдитися через увесь переріз і розділити деталь на частини. Подібна ідеологія широко застосовується в залізобетоні та багатошаровому склі, де армування призначене не лише для збільшення міцності, а й для формування більш безпечного сценарію руйнування всього виробу та уникнення можливих пошкоджень користувача уламками.

Отримані результати підтверджують, що запровадження армуючої сітки в тонкі шаруваті елементи з масивної деревини не забезпечує радикального зростання розрахункової межі міцності при згині, проте істотно впливає на характер руйнування. Армований елемент зберігає цілісність і певний

залишковий запас несучої здатності навіть після досягнення граничного навантаження, тоді як неармовані зразки руйнуються крихко й миттєво.

З позицій безпечної експлуатації меблевих виробів, особливо настінних полицок і інших елементів, розташованих на висоті, важливо не тільки максимальне значення міцності, а й відсутність раптового повного зламу. У нормативних документах з проектування будівельних і дерев'яних конструкцій підкреслюється необхідність запобігання непропорційному й прогресуючому руйнуванню, яке може призвести до небезпечних наслідків для користувачів [43; 45]. У цьому контексті армування тонких дерев'яних елементів сіткою може розглядатися як один із конструктивних заходів підвищення експлуатаційної надійності й безпеки.

З огляду на отримані результати, запропонована технологія армування тонких настінних полицок із масивної деревини є перспективною для відповідальних вузлів меблевих виробів, де критичною є саме поведінка конструкції в момент руйнування. Навіть при невеликому впливі на чисельні значення σ_b , зміна сценарію руйнування на більш керований і безпечний є суттєвою перевагою при проектуванні виробів для житлових та громадських інтер'єрів.

РОЗДІЛ 4

ПІДБІР ТА РОЗРАХУНОК ПРОДУКТИВНОСТІ ОБЛАДНАННЯ

Сучасне меблеве виробництво базується на раціональному поєднанні конструктивних рішень, якісної сировини та ефективного використання технологічного обладнання. Навіть за наявності вдало розробленої конструкції виробу та обґрунтованого вибору матеріалів, кінцевий результат значною мірою залежить від того, наскільки правильно зпроектований виробничий процес, підібрані деревообробні верстати та розрахована їх продуктивність [46]. У наведених нижче таблицях узагальнено вихідні дані щодо розмірів заготовок, кількості деталей у виробі, припусків на обробку та корисного виходу деревини.

Специфікація деревних матеріалів табл. 4.1 – 4.2 для виготовлення настінної полочки базується на розмірах деталей виробу, прийнятих припусках на механічну обробку та вимогах до якості поверхні. Основною деталлю є ламель із масивної деревини дуба, що входить до складу шаруватого армованого елемента. Для її виготовлення використовується обрізний пиломатеріал дуба 1-го сорту стандартних розмірів, із якого формується необхідна кількість заготовок на річну програму випуску виробів [45].

Таблиця 4.1

Специфікація деревинних матеріалів для виготовлення виробу

Вид і характеристик а матеріалів	Станд. розміри матеріалів, мм			Кількість матеріалів			
	Д	Ш	Т	на 1 виріб		на річну програму,	
Пиломатеріал обрізний Дуб, 1- го сорту	1040	170	10	0,03536	м ³	17,68	м ³

Таблиця 4.3

Розрахунок кількості відходів матеріалів

Найменування матеріалів	Норма витрат матеріалів на комплект деталей	Об'єм або площа комплекту заготовок з врахуванням технологічних відходів	Об'єм або площа однойменних заготовок	Об'єм або площа однойменних деталей
1	2	3	4	5
п/м об. Дуб , мЗ	0,03536	0,024752	0,0236912	0,012376
ΣS_M	0,03536	0,024752	0,0236912	0,012376

Таблиця 4.4

Специфікація клейових матеріалів для виготовлення виробу

Найменування матеріалів	Позначення стандарту або технічних умов	Кількість матеріалів, кг	
		На один виріб	На річну програму
Клей столярний водостійкий SOUDAL Pro 45P (D4)	ДСТУ EN 204:2002	0,18	179,45

Таблиця 4.5

Розрахунок норм витрат клейових матеріалів на виріб

Поз.	Назва деталей	Позначення деталей за специфікацією	Назва матеріалу поверхні	Назва клейового матеріалу	Спосіб нанесення	Спосіб склеювання	Кількість деталей у виробі	Кількість клейових шарів у деталі	Розміри поверхонь заготовки, на які наносять клей, мм		Площа поверхонь склеювання заготовок на 1 виріб, м ² $S_{кл}$	Норматив витрат клею кг/м ² $N_{кл}$	Норма витрат клею на деталі для 1 виробу, кг $M_{кл}$
									Довжина $l_{кл}$	Ширина, діаметр $b_{кл}$			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Ламель	0,01	пм. Об Дуб	SOUDAL Pro 45P (D4)	вальці	холодн.	2	2	516	170	0,08772	0,25	0,02193	
Всього												0,02193	

Для розробки технологічного процесу необхідно проаналізувати ринок обладнання і підібрати найбільш раціональний варіант.

Таблиця 4.6

Фугувальний верстат

Марка верстата	Параметри				
	Габаритні розміри	Швидкість об. вала	Потужність ОСНОВНОГО двигуна кВт.	Вага, Кг.	Ціна, грн
Bernardo SP 200 P	1785x640x1200	4800	2,2	183	80555
JET 60A	1855x635x1170	5500	2,0	160	76000
Robland S 410	2360x1360x1084	5500	3,75	475	196560
CORMAK FGS-503	1920x705x1100	4700	2,2	214	53550
FDB MB 303	2000x500x850	4800	2,2	290	83000



Рис. 4.1. Фугувальний верстат Bernardo SP 200 P [46]

Приймаю верстат марки Bernardo SP 200 P (Рис. 4.1), тому що він має 4 стругальні ножі, що дає гарну якість поверхні, і всі інші показники задовільняють моє виробництво.

Рейсмусний верстат

Марка верстата	Параметри				
	Габаритні розміри	Швидкість обертання вала, об/хв.	Потуж. двигуна основ пили	Вага, Кг.	Ціна, грн
Powermatic 15HH	1219x790x1105	4500	3,8	228	138000
FDB Maschinen MB104	700x650x800	4000	2,2	164	49000
ODWERK BR 400	760x800x1300	5000	3	205	48125
DHM 410 P Holzmann	1060x1180x1220	4500	4,0	425	202950
JET JWP-16OS	1220x813x1295	4500	2,6	215	72258



Рис. 4.2. Рейсмусний верста ODWERK BR 400 [47]

Приймаю верстат марки ODWERK BR 400, оскільки він має велику швидкість подачі, може обробляти заготовки шириною до 400 мм та товщиною до 150 мм

Таблиця 4.8

Повздовжній розкрій

Марка / модель	Габаритні розміри / робочі розміри	Швидкість подачі / подача	Потужність двигуна	Характеристики пили / розкрою
JET JLTS-10-T	1440 × 1000 × 1050 мм	0-10м/хв	2,2 кВт	Діаметр диска 254 мм; кут нахилу 0–45°; глибина пропилу: 80 мм (0°), 55 мм (45°)
Верстат для поздовжньо-обрізного розкрою Wood-Mizer EG300	—	0–25 м/хв (швидкість подачі роликів)	15 кВт або 18,5 кВт	Максимальна ширина необрізної дошки — 550 мм; мін. ширина розкрою — 20 мм (багатопил), глибина – до 60 мм
MJ1060 multi rip saw (WFSEN)	загальна ширина обробки — до 1500 мм	подача: 5–20 м/хв	11 кВт	8 пильних дисків; діаметр пильних дисків — 210 мм; максимальна товщина заготовки — 60 мм



Рис. 4.3. Циркулярний верстат JET JLTS-10-T[48]

Приймаю циркулярний верста JET JLTS-10-T, так як він має невеликі розміри, має колеса для пересування по виробничому приміщенню та повністю задовільняє потребу.

Таблиця 4.9

Поперечний розкрій

Модель	Робочі / габаритні розміри	Потужність	Частота обертання пили	Макс. товщина / розмір заготовки	Вага	Особливості / коментар
MJ 2445R	3700 × 820 × 1280 мм	5,5 кВт	3180 об/хв	Макс. товщина заготовки — 130 мм	≈ 405 кг	Пневматичне підняття пильного вузла, прижимний кожух, автоматичне опускання пили
Holzmann TS 315VF-2000	Каретка 2000 × 270 мм, стіл 800×820 мм	3,0 / 4,0 кВт (двигун основної пили)	4000 об/хв (основна пила)	Глибина пропилу: 90° – 100 мм, 45° – 80 мм	270 кг	Форматно-розкроювальний верстат з телескопічною кареткою, підрізна пила, поворот під кут 0–45°
MLT Мультиторцювка	—	Потужність кожного вузла: 1,5–3,0 кВт	—	Товщина заготовки: 17–100 мм	—	Містить 2–7 пильних вузлів (можна обрізати кілька заготовок одночасно)



Рис. 4.4. Пневматичний торцювальний верстат [49]

Приймаю торцювальний верстат , так як він має велику станину, пневматичне підняття пильного вузла, прижимний кожух та автоматичне опускання пили, що робить його зручним та безпечним в користуванні

Після підбору проводимо розрахунок продуктивності і завантаженості обладнання.

Найменування обладнання – верстат JET JLTS-10-T.

Операція – Повздовжній розкрій

Розрахункова формула

$$P_{зм.} = \frac{T_{зм.} \times U \times K_p \times K_m \times n}{L_p \times t}; \text{шт/зм.} \quad (4.1)$$

де: $T_{зм.}$ – тривалість зміни, хв.;

U – швидкість подачі, м/хв.;

K_p – коефіцієнт використання робочого часу;

K_m – коефіцієнт використання машинного часу;

n – кількість заготовок, що обробляються одночасно, шт.;

L_p – довжина різку, м;

t – кількість різів для обробки однієї заготовки.

Приклад розрахунку по одній деталі – Ламель

$$P_{зм} = \frac{480 \times 10 \times 0,8 \times 0,8 \times 1}{0,516 \times 2} = 2976,74 \text{ шт/зм}$$

$$Нч.в = \frac{T_{зм}}{P_{зм}} = \frac{480}{2976,74} = 0,32 \text{ хв}$$

$$T_{1000} = \frac{Нч.в \times 1000}{60} = \frac{0,32 \times 1000}{60} = 5,38 \text{ год}$$

Результати розрахунку записуємо в табл. 4.10

Таблиця 4.10

Результати розрахунку продуктивності верстату для повздовжнього розкрою

Найменування складальної одиниці	К-ть на виріб	Розміри, мм			Норма виробітку у в зміну, шт	Час, хв		Час на 1000 виробів, верст×год
		Д	Ш	Т		Етап	Виріб	
Поперечний розкрій п.м.								
ламель	2	520	170	10	2976,74	0,16	0,32	5,38
Разом							0,32	5,38

Найменування обладнання – верстат MJ 2445R

Операція – Поперечний розкрій П/М

$$P_{зм} = T_{зм} \times K_p \times K_m \times (m - n) \times a = \text{шт/зм} \quad (4.2)$$

Де : $T_{зм}$. – тривалість зміни, хв.;

K_p – коефіцієнт використання робочого часу;

K_m – коефіцієнт використання машинного часу;

m – кількість різів за хвилину, шт.;

n – кількість різів за хвилину на вирізання дефектних мість,

шт.;

a – кратність заготовок по довжині, шт.

Приклад розрахунку по одній деталі – Ламель

$$P_{зм} = 480 \times 0,8 \times 0,9 \times (10 - 5) = 1728 \text{ шт/зм}$$

$$H_{ч.в} = \frac{T_{зм}}{P_{зм}} = \frac{480}{1728} = 0,28 \text{ хв}$$

$$T_{1000} = \frac{H_{ч.в} \times 1000}{60} = \frac{0,28 \times 1000}{60} = 4,67 \text{ год}$$

Результати розрахунків записуємо в табл. 4.11.

Таблиця 4.11

Результати розрахунку продуктивності верстата для поперечного розкрою

Найменування складальної одиниці	К-ть на виріб	Розміри, мм			Норма виробітку в зміну, шт	Час, хв		Час на 1000 виробів, верст×год
		Д	Ш	Т		Етап	Виріб	
Поперечний розкрій п.м.								
Ламель	2	520	170	9	1728,00	0,28	0,56	9,26
Разом							0,5555 6	9,26

Найменування обладнання – верстат Bernardo SP 200 P

Операція – Надання базових поверхонь

Розрахункова формула

$$P_{зм.} = \frac{T_{зм.} \times K_p \times K_m \times U \times a}{2 \times Z \times I_3}; \text{шт/зм.} \quad (4.3)$$

Де : $T_{зм.}$ – тривалість зміни, хв.;

K_p – коефіцієнт використання робочого часу;

K_m – коефіцієнт використання машинного часу;

U – швидкість подачі, м/хв.;

I_3 – довжина заготовки, м.;

a – кратність заготовок по довжині, шт.

z – кількість проходів для створення базової поверхні, шт.

Приклад розрахунку по одній деталі – Ламель

$$P_{зм} = \frac{480 \times 0,8 \times 0,85 \times 10 \times 1}{2 \times 2 \times 0,520} = 1697,28 \text{ шт/зм.}$$

$$Нч. в = \frac{T_{зм}}{P_{зм}} = \frac{480}{1697,28} = 0,57 \text{ хв.}$$

$$T_{1000} = \frac{Нч. в \times 1000}{60} = \frac{0,57 \times 1000}{60} = 9,43 \text{ год.}$$

Таблиця 4.12

Результати розрахунку продуктивності верстата для створення базових поверхонь

Найменування складальної одиниці	К-ть на виріб	Розміри, мм			Норма виробітку у в зміну, шт	Час, хв		Час на 1000 виробів, верст×год
		Д	Ш	Т		Етап	Виріб	
Створення базових поверхинь								
ламель	2	1040	70	10	1697,28	0,28	0,57	9,43
Разом							0,57	9,43

Найменування обладнання – верстат ODWERK BR 400

Операція – Обробка за перетином

Розрахункова формула

$$P_{зм.} = \frac{T_{зм.} \times K_p \times K_M \times U \times a}{2 \times Z \times I_3}; \text{шт/зм}$$

Де : $T_{зм.}$ – тривалість зміни, хв.;

K_p – коефіцієнт використання робочого часу;

K_M – коефіцієнт використання машинного часу;

U – швидкість подачі, м/хв.;

I_3 – довжина заготовки, м.;

a – кратність заготовок по довжині, шт.

Z – кількість проходів для створення базової поверхні, шт.

Приклад розрахунку по одній деталі - Ламель

$$P_{зм} = \frac{480 \times 0,8 \times 0,9 \times 8 \times 4}{2 \times 1 \times 0,520} = 2875,39 \text{ шт/зм}$$

$$Нч.в = \frac{T_{зм}}{P_{зм}} = \frac{480}{2875,39} = 0,33 \text{ хв}$$

$$T_{1000} = \frac{Нч.в \times 1000}{60} = \frac{0,33 \times 1000}{60} = 5,56 \text{ год}$$

Таблиця 4.13

Результати розрахунку продуктивності верстата для обробки за перетином

Найменування складальної одиниці	К-ть на виріб	Розміри, мм			Норма виробітку в зміну, шт	Час, хв		Час на 1000 виробів, верст×год
		Д	Ш	Т		Етап	Виріб	
Обробка за перетином								
Ламель	2	520	170	10	2875,39	0,17	0,33	5,56
Разом							0,33	5,56

Таблиця 4.14

Зведена таблиця завантаження устаткування

Найменування обладнання.	Марка обладнання	Прийнята кількість обладнання, шт.	Змінність роботи обладнання, шт.	Завантаження обладнання, %.
Обладнання:				
Циркулярний верстат	JET JLTS-10-T	1	1	0,25%
Рейсмусовий верстат	Powermatic 15НН	1	1	0,26%
Фугувальний верстат	Powermatic PJ-882НН	1	1	0,23%
Поперечний розкрій П/м на заготовки	MJ 2445R	1	1	0,44%

Аналіз зведеної таблиці завантаження устаткування показує, що прийнятий парк деревообробних верстатів (циркулярний JET JLTS-10-T, рейсмусовий Powermatic 15НН, фугувальний Powermatic PJ-882НН та верстат

для поперечного розкрою MJ 2445R) забезпечує виконання прийнятої програми виготовлення настінних полицок із масиву дуба з значним резервом продуктивності. Рівень завантаження кожної одиниці обладнання не перевищує 0,44 % за зміну, що свідчить про достатню потужність і пропускну спроможність ділянки та відсутність «вузьких місць» у технологічному ланцюгу.

Низький відсоток завантаження верстатів дає змогу зробити висновок, що даний комплекс обладнання може бути ефективно використаний не лише для виготовлення настінних полицок, а й для освоєння додаткової номенклатури меблевих виробів без потреби у додаткових капітальних вкладеннях. Це створює передумови для розширення асортименту продукції, підвищення гнучкості виробництва та більш повного використання наявного устаткування в умовах реального меблевого підприємства.

ВИСНОВОК

У магістерській роботі вирішено практичне завдання підвищення формостійкості та безпечності тонких елементів з масивної деревини, що використовуються у настінних поличках. На основі аналізу літератури та ринку показано, що поширені нині полички з масиву, які працюють на згин між двома опорами, при перевантаженні схильні до значних прогинів і крихкого руйнування, що може призводити до падіння розміщених на них предметів і створювати ризики травмування користувачів. Це обґрунтовує необхідність пошуку конструктивних рішень, які забезпечують не лише достатню міцність, а й більш прогнозований та безпечний характер руйнування.

У роботі розроблено конструкцію тонкого ламельного елемента з масиву дуба з внутрішнім армуванням сіткою та запропоновано технологію його виготовлення із застосуванням клею класу водостійкості D4. Проведено експериментальні випробування двох серій зразків – неармованих (клеєних із двох ламелей) та армованих (ламель – сітка – ламель). Встановлено, що за рівнем межі міцності при згині армовані зразки не поступаються традиційним, а в окремих випадках демонструють невеликий приріст міцності. Головною перевагою є зміна характеру руйнування: неармовані елементи, як правило, ламаються повністю, тоді як армовані зберігають цілісність завдяки роботі сітки та мають залишкову несучу здатність, що підвищує безпечність експлуатації виробу.

У виробничій частині обґрунтовано вибір матеріалів і деревообробного обладнання, розраховано витрати деревини та клейових матеріалів, визначено продуктивність верстатів і показано наявність значного резерву потужності для виготовлення як настінних поличок, так і інших меблевих виробів. Отримані результати дозволяють рекомендувати запропоновану конструкцію армованих поличок до впровадження у меблеве виробництво, оскільки вона поєднує збереження міцнісних показників із більш безпечним характером руйнування. Внутрішнє армування сіткою не потребує радикальної зміни існуючих

технологічних процесів, а лише доповнює операцію склеювання, тому така конструкція може бути реалізована на базі типового парку деревообробного обладнання. Запропонований підхід доцільно застосовувати не тільки для настінних полицок, а й при проектуванні більш безпечних настінних елементів, відкритих стелажів та легких опорних вузлів, де важливо мінімізувати ризик раптового повного руйнування виробу та його небезпечних наслідків для користувача.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Формостійкість виробів з деревини веб-сайт. URL: <https://fasu.nltu.edu.ua/index.php/nplanu/article/view/245> (дата звернення 08.05.2025)
2. Схематичне зображення деформацій веб-сайт. URL: <https://studfile.net/preview/3364640> (дата звернення 08.05.2025)
3. Фізико-механічні властивості деревини. веб-сайт. URL: <https://woodexpert.net.ua/mehanichni-ta-fizychni-vlastyvosti-derevyny> (дата звернення 09.05.2025).
4. Вади та дефекти деревини. веб-сайт. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Вади_деревини(дата звернення 09.05.2025).
5. .Деревина і її сучасне використання. веб-сайт. URL: <https://drevych.ua/news-article?> –. (дата звернення 09.05.2025)
6. Властивості деревини. веб-сайт. URL: <https://ua.izzi.digital/DOS/750459/804629.html> (дата звернення 09.05.2025).
7. Термомодифіковані пиломатеріали. веб-сайт. URL: <https://termo-mediena.lt/uk/pages/thermomodification>. (дата звернення 10.05.2025)
8. Цапко Ю.В., Цапко О.Ю., Ломага В.В. Модифікація деревини та деревинних матеріалів. Київ: НУБіП України, 2019. 196 с.
9. Бехта П.А. Технологія деревинних композиційних матеріалів: Підручник. К.: Основа, 2003.336 с.
10. EN 204:2016. Classification of thermoplastic wood adhesives for non-structural applications. 2016. 8 с.
11. Клейові з'єднання. веб-сайт. URL: uahistory.co/pidruchniki/gashyak-labor-training-technical-types-of-work-9-class-2017/7.php. (дата звернення 15.05.2025)
12. Буйських Н.В. Технологія захисно-декоративних покриттів на деревині та деревинних матеріалах: навч.посібник. Київ : Компринт, 2019. 213 с
13. Пінчевська О.О., Горбачова О.Ю. Захисне оброблення дерев'яних конструкцій. Київ : Освіта України, 2014. 192 с

14. Нано-покриття для деревини. веб-сайт. URL: <https://bulletin.com.ua/aziya/nanotehnologiyi-majbutnye-derevyny-stijkoyi-do-biologichnogo-rujnuvannya>. (дата звернення 25.05.2025)
15. ISO 4628-2:2016. Paints and varnishes — Evaluation of degradation of coatings. веб-сайт. URL: <https://www.iso.org/standard/66399.html> (дата звернення 25.05.2025)
16. Інженерна дошка: властивості, застосування, перспективи. веб-сайт. URL: <https://svitparketu.com.ua/blog/shcho-take-inzhenerna-doshka-i-chym-vonavidrizniaietsia-vid-parketu/>. (дата звернення 04.07.2025)
17. Фото SLT-панелі: веб-сайт. URL: <https://usdm.com.ua/usdm-masters-clt>. (дата звернення 04.07.2025)
18. «Вічне дерево». : веб-сайт. URL: <https://woodmart.ua/ua/vechnoe-derevo-ili-cho-takoe-dpk> . (дата звернення 04.07.2025)
19. Клейові з'єднання: веб-сайт. URL: <https://studfile.net/preview/5199404/page..> (дата звернення 09.07.2025)
20. Технологія стабілізації деревини. веб-сайт. URL: <https://woodexpert.net.ua/stabilizovana-derevyna-shho-tse-take-chym-i-yak-stabilizuvaty-derevynu-v-domashnih-umovah-vybir-tehnologiyi-ta-skladu-obrobky>. (дата звернення 09.07.2025)
21. Hill C. Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes. — John Wiley & Sons, 2019. 233с
22. Термообробка деревини. веб-сайт. URL: <https://artorix.com/termoderevyna-shcho-tse-i-chomu-ii-obyraiut-profesionaly>. (дата звернення 15.07.2025)
23. Переваги термообробки. веб-сайт. URL: <https://derevynnyk.com/termoderevyna-tehnologiya-zastosuvannya-perspektyvy> (дата звернення 16.07.2025)
24. Технології сушіння, методи, переваги. веб-сайт. URL: <https://techno-t.net.ua/wood-drying-importance-methods-and-technologies>. (дата звернення 24.07.2025)

25. . Стабілізація деревини. веб-сайт. URL: <https://pedia.com.ua/hroshi/derevina-stabilizovana-viznachennya-i-de-zastosovuetsya.html>. (дата звернення 26.07.2025)
26. Patachia, S.; Croitoru, C. 14 – Biopolymers for Wood Preservation. In Biopolymers and Biotech Admixtures for Eco-Efficient Construction Materials; Pacheco-Torgal, F., Ivanov, V., Karak, N., Jonkers, H., Eds.; Woodhead Publishing: Sawston, Cambridg, UK, 2016; pp. 305–332с ISBN 978-0-08-100214-8
27. Будівельна деревина. веб-сайт. URL: <https://foreest.com.ua/uk/budivelna-derevyna-vydy-micznist-ta-zahyst/> (дата звернення 10.08.2025)
28. ДСТУ EN 204:2014 Клеї термопластичні несилові для деревини. Класифікація (EN 204:2001, IDT) веб-сайт. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=91002 (дата звернення 15.08.2025)
29. Властивості деревини різних порід: веб-сайт. URL: <https://doska.dp.ua> (дата звернення 15.08.2025)
30. Фото текстури деревини вільхи: веб-сайт. URL: https://doska.dp.ua/wood_properties (дата звернення 18.08.2025)
31. Фото текстури деревини берези: веб-сайт. URL: <https://baykal.com.ua/ua/p2186398280-fanera-berezovaya-vodostojkaya.html> (дата звернення 22.08.2025)
32. Фото текстури деревини дубу : веб-сайт. URL: estrade.com.ua. (дата звернення 22.08.2025)
33. Фото текстури деревини буку : веб-сайт. URL: <https://www.istockphoto.com> (дата звернення 23.08.2025)
34. 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. 2021.62с.
35. ISO 13061-3:2014 Physical and mechanical properties of wood — Test methods for small clear specimens – Part 3: Determination of ultimate strength in static

- bending. веб-сайт. URL: <https://www.iso.org/obp/ui/ru/#iso:std:iso:13061:-3:ed-1:v1:en> (дата звернення 01.09.2025)
36. ISO 3129:2012 Wood — Sampling methods and general requirements for physical and mechanical tests. веб-сайт. URL: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/52489/e9c4235bf0b74252a53d3657c0aec0a0/ISO-3129-2012.pdf> (дата звернення 04.09.2025)
37. ISO 13061-1:2014 Physical and mechanical properties of wood — Test methods for small clear specimens — Part 1: Determination of moisture content for physical and mechanical tests. веб-сайт. URL: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/60063/411636953fc64074bca294e7624761f8/ISO-13061-1-2014.pdf> (дата звернення 04.09.2025)
38. ДСТУ ISO 3129:2015 Деревина. Методи відбирання зразків та загальні вимоги до фізико-механічних випробувань. веб-сайт. URL: <https://online.budstandart.com/ua/login.html?urldoc=64897> (дата звернення 04.09.2025)
39. ДСТУ EN 408:2012 Конструкції дерев'яні. Деревина структурна та клеєна. Визначення деяких фізичних та механічних властивостей. веб-сайт. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=87590 (дата звернення 05.09.2025)
40. Типи кріплень. веб-сайт. URL: <https://www.taburetka.ua/statti/povnyy-gid-po-meblevym-kriplennyam-vid-konfirmata-do-minifiksa-784?>(06.09.2025)
41. Опис продукції «Полички дерев'яні прихованого монтажу. веб-сайт. URL: <https://dimdeko.com.ua/ua/g117929955-politsi-derevyani-prihovanogo>. (дата звернення 11.09.2025)
42. Єрмоленко Д.А. Міцність та деформативність клеєних дерев'яних балок, армованих композитними матеріалами. – Полтава: НУПП, 2016. веб-сайт. URL: <https://reposit.nupp.edu.ua/bitstream/PoltNTU/1720/1/Єрмоленко.pdf> (дата звернення 16.09.2025)
43. Михайловський Д., Комар М. Армування конструкцій з деревини композитними матеріалами, стан і перспективи. Будівельні конструкції.

- Теорія і практика, вип. 9, Київ: КНУБА, 2021. веб-сайт. URL: <http://bctp.knuba.edu.ua/article/view/252639> (дата звернення 16.09.2025)
44. Будівельні матеріали і конструкції підземних споруд. Розділ «Дерев'яні конструкції». – Київ: КПІ, 2019. 130 с. веб-сайт. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/72b61749-3f74-4e1b-9906-79529bb21a7e/content> (дата звернення 18.09.2025)
45. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. веб-сайт. URL: <https://dreamdim.ua/wp-content/uploads/2018/12/DBN-V1214-2018.pdf> (дата звернення 20.09.2025)
46. Фугувальний верстат : веб-сайт. URL: <https://bernardo-ukraine.com/ua/p730277802-fugovalnyj-standok-200.html?> (дата звернення 25.09.2025)
47. Рейсмусний верстат: веб-сайт. URL: <https://king-tools.com.ua/catalog/reysmusi/odwerk-br-400-reysmus-400mm>. (дата звернення 25.09.2025)
48. Циркулярний верстат : веб-сайт. URL: <https://servisagro.com.ua/ua/p1418887246-tsirkulyarnaya-pila-jet.html> (дата звернення 02.10.2025)
49. Пневматичний торцювальний верстат : веб-сайт. URL: <https://www.ukrboard.com.ua/board/m-2074980/prodam-prevmaticheskij-tortsovochnyj-standok-mj-214-bu> (дата звернення 02.10.2025)
50. Марченко Н.В., Мазурчук С.М. Проектування деревообробних підприємств. Методичні вказівки до вивчення курсу з дисципліни «Проектування деревообробних підприємств» для студентів ОКР «Бакалавр» лісогосподарського факультету очної та заочної форм навчання з напрямку підготовки 6.051801 «Деревооброблювальні технології». – К.: НУБіП України, 2015. – 160 с. (дата звернення 07.10.2025)