

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

ННІ лісового і садово-паркового господарства

УДК 674.21:674.45

ПОГОДЖЕНО

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Директор ННІ

лісового і садово-паркового
господарства

Завідувач кафедри

технологій та дизайну виробів з
деревини

_____ Роман ВАСИЛИШИН

(підпис)

_____ Андрій СПІРОЧКІН

(підпис)

« ____ » _____ 2024 р.

« ____ » _____ 2024 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему: «Обґрунтування вибору деревного матеріалу для виготовлення
кухонних меблів»**

Спеціальність: 187 «Деревообробні та меблеві технології»

Освітня програма: Деревообробні та меблеві технології

Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна

Гарант освітньої програми

к.т.н., доц.

_____ (підпис)

Андрій СПІРОЧКІН

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

к.т.н., доц.

_____ (підпис)

Олександра ГОРБАЧОВА

Виконав

_____ (підпис)

Назар ШУШКЕВИЧ

КИЇВ – 2024

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

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

ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
СТУДЕНТУ

Шушкевичу Назару Ігоровичу

Спеціальність 187 «Деревообробні та меблеві технології»
Магістерська програма Деревообробні та меблеві технології
Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна
Тема магістерської кваліфікаційної роботи: Обґрунтування вибору деревного матеріалу для виготовлення кухонних меблів.
Затверджена наказом ректора НУБіП України № 1981 «С» від 31.10.2023 р.
Термін подання завершеної роботи на кафедру 15.11.2024 р.
Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи звіти роботи базового підприємства, звіти з виробничої, переддипломної практики, методики виконання експериментальних досліджень, державні, міжнародні стандарти
Перелік питань, що підлягають дослідженню:
1. Проаналізувати матеріали, що використовують для виготовлення кухонних меблів та їх характеристики.
2. Вивчити можливий вплив середовища експлуатації на поведінку конструктивних елементів під час навантаження-розвантаження.
3. Виконати наукові дослідження згідно тематики роботи.
4. Обґрунтувати рекомендації щодо напрямів використання деревних плитних матеріалів та заходи щодо стабільності умов в приміщеннях.

Дата видачі завдання « ____ » _____ 20__ р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

_____ **Олександра ГОРБАЧОВА**

Завдання прийняв до виконання _____ **Назар ШУШКЕВИЧ**

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка МКР містить 86 сторінок, 34 рис., 28 табл., 50 джерел.

У першому розділі представлено аналітичний огляд матеріалів, їх фізико-механічні характеристики, такі як міцність на вигин, розтягнення, пружність та стійкість до вологості. Особлива увага приділена впливу вологості, температурних коливань та біологічних агентів на збереження та стабільність матеріалів.

У другому розділі описано методологію вибору оптимальних матеріалів на основі багатокритеріального аналізу, що дозволяє встановити пріоритети у виборі матеріалів для кухонних конструкцій.

У розділі три наведено методику та результати експериментальних досліджень, що демонструють, як різні матеріали реагують на навантаження та зміну умов навколишнього середовища.

Дослідження показують, що плитні матеріали є хорошим матеріалом для конструкцій, що піддаються постійному навантаженню, проте їх використання обмежене нестабільністю при підвищеній вологості. ДСП і MDF мають помірну стійкість до навантаження, але чутливі до вологості, тоді як HPL проявляє високу вологостійкість і зносостійкість, роблячи його оптимальним для кухонних поверхонь. На основі результатів роботи надано практичні рекомендації щодо вибору та використання матеріалів залежно від умов експлуатації та вимог до довговічності.

Також були проведені випробування для визначення межі міцності та модулю пружності для плитних під час згинання. Ці випробування показують згідно з розрахунковими даними, матеріал HPL має найвищий модуль пружності серед усіх зразків, із середнім значенням $20274,442 \text{ H/mm}^2$ Також він має найвищу межу міцності при згині, із середнім значенням $163,373 \text{ H/mm}^2$, що свідчить про його здатність витримувати великі навантаження перед руйнуванням. Матеріал MDF має середній модуль пружності та межу міцності $8302,489 \text{ H/mm}^2$, та $49,978 \text{ H/mm}^2$, що є середніми показниками в порівнянні з

іншими матеріалами. ДСП показує найнижчі значення модуля пружності і межі міцності – $5727,962 \text{ Н/мм}^2$ та $23,936 \text{ Н/мм}^2$, відповідно, що вказує на його обмежену стійкість до деформацій та руйнування під навантаженням.

Четвертий розділ містить рекомендації щодо зменшення деформацій і продовження експлуатаційного терміну конструкцій через використання захисних покриттів, стабілізації вологості та оптимального розподілу навантаження.

Деревина, плитні матеріали, навантаження, меблеві поверхні, модуль пружності, межа міцності при згині.

Зміст

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1	8
ОГЛЯД МАТЕРІАЛІВ У МЕБЛЕВОМУ ВИРОБНИЦТВІ	8
1.1. Матеріали для виготовлення меблів	8
1.2. Фізико-механічні властивості матеріалів	15
1.3. Вплив умов середовища на конструкції	25
РОЗДІЛ 2	35
ВИБІР ПРІОРИТЕТНИХ МАТЕРІАЛІВ	35
2.1. Підбір досліджуваних матеріалів	35
2.2. Прийняття проектних рішень	40
2.3. Рішення багатокритеріальної задачі методом аналізу ієрархій	54
РОЗДІЛ 3	61
МЕТОДИКА ТА ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	61
3.1. Суть експериментального дослідження	61
3.2. Методика та результати визначення пружності матеріалу	62
3.3. Методика та результати визначення міцності матеріалу	72
РОЗДІЛ 4	78
РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ	78
ВИСНОВКИ	85
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	87

ВСТУП

Світлі та функціональні кухні завжди були серцем будь-якого будинку, а їх основою є кухонні шафи. Вони не лише забезпечують зручне зберігання продуктів та кухонного посуду, але й мають значний вплив на естетику та практичність кухні в цілому. Кухонні шафи можуть бути виготовлені з різних матеріалів, мати різні розміри та конструкцію, а також відповідати різним стилям рішень.

Кухонні шафи є практичними елементами інтер'єру, і важливим компонентом з точки зору організації робочого простору в кухні. Важливим аспектом виготовлення кухонних меблів є матеріал, з якого вони виготовлені. Деревина, фанера, ДСП, MDF, HPL – це лише деякі з доступних матеріалів. Кожен матеріал має свої переваги та обмеження, і вибір матеріалу також впливає на стиль та естетику кухні.

Об'єкт дослідження – механічні та технологічні показники деревних плитних матеріалів.

Предмет дослідження – тривалість експлуатації деревних матеріалів під дією навантаження в різних умовах середовища.

Мета роботи – обґрунтування сфери використання деревних плитних матеріалів у виробках різного призначення.

Методи дослідження : використано метод експертних оцінок для вибору пріоритетних матеріалів; експериментальний метод – для визначення механічних властивостей матеріалів та їх здатності витримувати навантаження.

Для досягнення поставленої мети слід виконати наступні завдання:

- проаналізувати матеріали, що використовують для виготовлення кухонних меблів та їх характеристики;
- вивчити можливий вплив середовища експлуатації на поведінку конструктивних елементів під час навантаження-розвантаження;
- виконати наукові дослідження згідно тематики роботи;
- обґрунтувати рекомендації щодо напрямів використання деревних плитних матеріалів та заходи щодо стабільності умов в приміщеннях.

Ця робота присвячена дослідженню різних матеріалів, які використовуються для виготовлення кухонних шаф, та порівнянню їхніх характеристик та переваг. Буде розглянуто властивості матеріалів, та визначено їх пріоритетності, також буде досліджено вплив навантаження та навколишнього середовища на дерев'яні полиці середніх розмірів.

Завершуючи, дана робота допоможе у виборі найліпшого матеріалу для виготовлення кухонних шаф для забезпечення тривалої експлуатації меблевих конструкцій.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД МАТЕРІАЛІВ У МЕБЛЕВОМУ ВИРОБНИЦТВІ

1.1. Матеріали для виготовлення меблів

Деревина є одним із найстаріших і найпопулярніших матеріалів для виготовлення меблів. Її природна краса, екологічність, міцність і довговічність роблять його незамінним у меблевій індустрії. Ми розглянемо різні види деревини, їх властивості, переваги та недоліки використання масиву дерева, шпону, деревино-стружкової плити (ДСП) та деревоволокнистої плити середньої щільності (MDF) [1].

Масив дерева – це натуральний матеріал, виготовлений з цільних шматків деревини. Використання масиву дерева (рис. 1.1) в меблевій індустрії має довгу історію, оскільки він володіє унікальними властивостями, які роблять його ідеальним для виготовлення якісних та довговічних меблів [1].



Рис. 1.1. Масив деревини [1]

Масив дерева має природну текстуру і малюнок, що додає меблям унікальності та краси. Кожен виріб з масиву дерева є неповторним, оскільки структура волокон деревини ніколи не повторюється. Меблі з масиву дерева відрізняються високою міцністю і здатністю витримувати значні навантаження. При правильному догляді вони можуть служити десятиліттями і навіть століттями. Масив є екологічно чистим матеріалом, оскільки він не містить шкідливих хімічних речовин і легко піддається переробці. Використання деревини сприяє збереженню природних ресурсів, якщо дотримуватися принципів сталого лісокористування. Меблі з даного матеріалу легко піддаються

реставрації. Подряпини, тріщини і інші пошкодження можна усунути шляхом шліфування, фарбування або лакування, що дозволяє продовжити термін служби меблів. Однак в даного матеріалу є і свої недоліки. Меблі з масиву дерева часто коштують дорожче порівняно з виробами з інших матеріалів. Це обумовлено високою ціною на сировину та складністю обробки деревини. Деревина має властивість розширюватися при високій вологості і стискатися при низькій. Це може призвести до деформацій і тріщин у меблях, якщо вони зберігаються в умовах з нестабільним мікрокліматом. Обробка масиву дерева вимагає спеціальних навичок і інструментів. Це додає складності і часу на виготовлення меблів, що також впливає на їх вартість [1].

ДСП – один з найпопулярніших матеріалів при виробництві меблів і інтер'єрного будівництва. У агресивному середовищі застосовується спеціалізовані види ДСП – з підвищеною вологостійкістю. ДСП (рис. 1.2) відрізняється привабливим зовнішнім виглядом, простотою догляду і низькою вартістю. ДСП виготовляється шляхом гарячого пресування крупнодисперсної стружки, яку отримують з відходів що виникають в деревообробних процесах, і введенням термореактивної смоли синтетичного виробництва, а також гідрофобізуючих антисептичних та інших добавок. Саме завдяки добавкам плита ДСП набуває особливої довговічності і міцності. Сорт ДСП визначається виходячи з якості його поверхні. Згідно стандартам якості плити першого сорту повинні мати рівну відшліфовану поверхню без виступів, подряпин і дефектів [2].



Рис. 1.2. Дерево стружкова плита [2]

Товщина плит ДСП 10–26 мм. Плити першого сорту використовуються для виробництва меблів. Технологічний процес виготовлення ДСП плит передбачає строгий контроль при використанні добавок, що зв'язують, ДСП можна визнати екологічно чистим матеріалом. Всі види плит ДСП проходять перевірку на вміст формальдегіду. Останнім часом його вміст почали визначати так званім “камерним” методом, при якому зразок ДСП з площею поверхні 1 кв м поміщають в камеру об'ємом 1 куб м і через певний час беруть з камери пробу повітря для визначення в ньому формальдегіду. Цю пробу порівнюють з нормами і дають гігієнічний висновок про придатність ДСП для виробництва меблів. Даний метод вважається найбільш ефективним і органи Держсанепіднагляду видають свої висновки на основі камерного методу випробувань ДСП. Деревно-стружкова плита є хорошим матеріалом для виготовлення меблів завдяки своїй економічності, міцності та легкості обробки. Попри деякі недоліки, такі як низька вологостійкість та виділення формальдегіду, ДСП залишається популярним вибором для багатьох видів меблевих конструкцій. Правильний вибір типу ДСП та належний догляд за виробами з цього матеріалу можуть значно продовжити їх термін служби та покращити естетичні характеристики. Завдяки своїй міцності та можливості ламінування, ДСП забезпечує надійну і довговічну конструкцію. Ламінований ДСП широко використовується для виготовлення кухонних шафок і стільниць. Ламінат забезпечує стійкість до подряпин і вологи, що важливо для кухонних меблів. Плити ДСП використовуються для виготовлення столів різних видів, включаючи письмові, обідні та журнальні столи. Міцність матеріалу дозволяє створювати надійні та довговічні меблі. Плити ДСП використовуються для виготовлення столів різних видів, включаючи письмові, обідні та журнальні столи. Міцність матеріалу дозволяє створювати надійні та довговічні меблі [2].

Фанера – це матеріал, який складається з тонких шарів деревини, відомих як шпон, який склеюється одночасно, але також під високим тиском і за допомогою клею. Кожен шар фанери (рис. 1.3) може бути виготовлений з тонкого листа дерева, звичайної дубу, берези, сосни або інших видів деревини.

Фанера доступна в різних товщинах, від кількох міліметрів до кількох сантиметрів, незалежно від призначення [3].



Рис. 1.3. Фанерна плита [3]

Вона володіє високою міцністю та стійкістю до деформацій, що робить її ідеальною для використання в конструкціях та меблях. Фанеру можна обробляти всіма способами, включаючи різання, свердління, фрезерування та інші види обробки. Фанера використовується в будівництві, меблевому виробництві, столярній справі, виготовленій упаковці та інших галузях. Вона може служити як основний будівельний матеріал або використовуватися для облицювання і зміцнення різних конструкцій. Фанера є одним із найпоширеніших матеріалів у меблевій промисловості та будівництві завдяки своїй міцності, стабільності і універсальності. Вона складається з кількох шарів деревини, склеєних між собою, що забезпечує високу міцність і стабільність розмірів. Фанера виготовляється з тонких шарів деревини (шпонів), які склеюються під високим тиском і температурою. Кількість шарів і тип деревини залежать від призначення фанери. В процесі виготовлення використовуються різні види клею, що впливають на вологостійкість і міцність фанери. Завдяки перпендикулярному розташуванню волокон деревини в шарах, фанера має високу міцність і стабільність розмірів, що робить її ідеальним матеріалом для конструкцій. Фанера, виготовлена з листяних порід деревини, має красиву текстуру і може використовуватися для створення естетично привабливих виробів, вона менше піддається деформаціям і розтріскуванню порівняно з масивом деревини. Також

вона є більш доступною за ціною порівняно з масивом деревини, особливо коли потрібні великі площі матеріалу. Але в даного матеріалу є і свої недоліки: Навіть вологостійка фанера може втрачати свої властивості при тривалому впливі води. При поганій якості клею або недотриманні технології виготовлення фанера може розшаруватися. Деякі види клею, що використовуються при виготовленні фанери, можуть виділяти шкідливі речовини, такі як формальдегід. Фанера є універсальним, міцним і економічним матеріалом, який широко використовується у меблевій індустрії та будівництві. Її висока міцність, стабільність форми і легкість обробки роблять її ідеальним вибором для створення різноманітних виробів і конструкцій. Попри деякі недоліки, такі як вразливість до вологи і можливість виділення шкідливих речовин, фанера залишається популярним і затребуваним матеріалом завдяки своїм численним перевагам [3].

MDF – це абревіатура від англійської назви матеріалу, який у повному варіанті звучить так: Medium Density Fibreboard. У перекладі – деревноволокниста плита середньої щільності це матеріал, що виготовляється шляхом пресування дрібних деревних волокон з додаванням зв'язуючих речовин при високій температурі і тиску. Деревноволокниста плита середньої щільності (MDF) (рис. 1.4) використовується у меблевій індустрії, будівництві та декоративному оздобленні завдяки своїм унікальним властивостям, які роблять його популярним вибором для виготовлення меблів та інших виробів.



Рис. 1.4. Плита MDF [4]

Деревноволокнистої плита середньої щільності (MDF) може змагатися з доступністю і універсальністю фанери і аналогічних дерев'яних виробів. У

певних ситуаціях деревоволокниста плита середньої щільності (MDF) навіть перевершує всі вищеперелічені, тому що з ним легко працювати. На відміну від натурального дерева, вона не має сучків і волокон, а його гладка поверхня легко піддається пилянню, не залишаючи відколів або розривів [4]. Деревоволокнистої плита середньої щільності (MDF) відмінно підійде для легких столярних робіт, таких як стелажі та оздоблення. Її створюють з допомогою тирси і стружки, які утворюються в результаті промислового фрезерування деревини. Після сушіння деревні волокна змішують зі смолою, воском, формують у плоскі панелі. Під дією високої температури і сильного тиску вони стискаються і стають жорсткими. Заключний етап виробництва – шліфування, це надає їм гладкість і рівну поверхню. Стандартна деревоволокниста плита середньої щільності (MDF) виготовляється з деревних волокон і зв'язуючих речовин без спеціальних добавок. Це основний вид, який має однорідну структуру і гладку поверхню. Вологостійка деревоволокниста плита середньої щільності (MDF) обробляється спеціальними добавками, що роблять його стійкішим до впливу вологи. Це забезпечує його використання в умовах підвищеної вологості. Фарбовані плити спеціально підготовлені для нанесення фарби. Поверхня обробляється так, щоб забезпечити хорошу адгезію фарби і створити однорідний колір. Ламіновані плити покриті декоративним ламінатом, що забезпечує захист поверхні і естетичний вигляд. Ламінат може імітувати текстуру дерева, каменю або інші матеріали. Вогнестійкий обробляється спеціальними добавками, які підвищують його стійкість до вогню. Це зменшує швидкість поширення вогню і підвищує безпеку. Деревоволокниста плита середньої щільності (MDF) є багатофункціональним і універсальним матеріалом, що має різні види для задоволення специфічних потреб у меблевій промисловості, будівництві та декоративному оздобленні. Вибір конкретного виду залежить від вимог до вологостійкості, декоративних якостей, акустичних або вогнестійких властивостей, що дозволяє оптимально підібрати матеріал для конкретного застосування [4].

HPL (High Pressure Laminate) – це високоякісне декоративне покриття, яке використовується в меблевій промисловості, будівництві та оздобленні інтер'єрів (рис. 1.5) [5].



Рис. 1.5. HPL панель [5]

HPL виготовляється шляхом пресування декількох шарів паперу, просочених смолами, під високим тиском і температурою. Це робить його надзвичайно міцним, зносостійким і декоративним матеріалом. HPL є дуже міцним і стійким до механічних пошкоджень. Він витримує удари, подряпини і тертя. Має відмінну стійкість до вологи і не розбухає при контакті з водою. Витримує високу температуру і може використовуватися в близьких до джерел тепла зонах. Має широкий спектр кольорів, текстур і малюнків, що дозволяє реалізувати різноманітні дизайнерські ідеї. Легко чиститься і підтримує свій вигляд протягом тривалого часу. Стандартний HPL: Виготовляється для загального використання. Має стандартні характеристики зносостійкості і декоративності. Антибактеріальний HPL: Включає спеціальні добавки, які запобігають росту бактерій і забезпечують підвищену гігієнічність. Часто використовується в медичних і харчових приміщеннях [5]. Термостійкий HPL: Може витримувати високі температури без деформацій або змін кольору. Застосовується в кухнях і зонах, де є ризик впливу високих температур. Стійкий

до ультрафіолету HPL: Зберігає свій колір і текстуру навіть при тривалому впливі сонячного світла. Використовується для зовнішнього оздоблення і в приміщеннях з великим природним освітленням. Декоративний HPL: Має різноманітні текстури і кольори, включаючи імітацію природних матеріалів, таких як дерево або камінь. Часто використовується для створення естетичних і дизайнерських ефектів. HPL є потужним і естетично привабливим матеріалом, який надає велику гнучкість у дизайні і високу функціональність. Його властивості роблять його ідеальним для різноманітних застосувань, від меблів до обробки інтер'єрів і зовнішніх фасадів. Незважаючи на можливі недоліки, HPL залишається популярним і затребуваним матеріалом завдяки своїм численним перевагам і універсальності [5].

1.2. Фізико-механічні властивості матеріалів

Масив дерева, або просто деревина, є одним з найдавніших і найвідоміших матеріалів для виготовлення меблів і будівельних конструкцій. Він складається з природних волокон дерева і зберігає багато природних властивостей, що роблять його унікальним матеріалом. Масив дерева відрізняється від інших матеріалів, таких як фанера або MDF, своєю структурою і властивостями [6].

Міцність на злам є показником того, як добре матеріал витримує сили, що намагаються його зламати (рис. 1.6) [6].

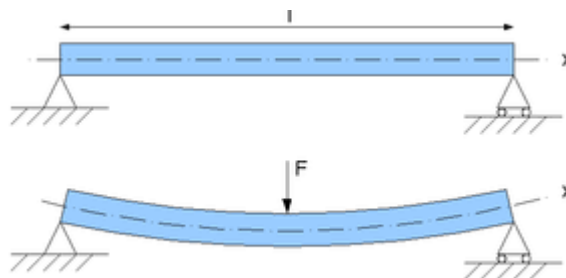


Рис. 1.6. Схема випробувань матеріалу міцності на злам [6]

Для масиву дерева цей показник залежить від породи деревини та може варіюватися від 30 до 100 МПа. Наприклад, дуб має високу міцність на злам, що

робить його ідеальним для виготовлення меблів і конструкцій, які потребують високої міцності [6].

Модуль пружності характеризує жорсткість дерева і визначає, як матеріал деформується під дією навантаження. Для масиву дерева модуль пружності зазвичай коливається від 8 000 до 15 000 МПа. Тверді породи дерева, такі як дуб або бук, мають високий модуль пружності, що робить їх придатними для конструкцій, що вимагають високої жорсткості [6].

Міцність на розтягнення показує, яку максимальну силу матеріал може витримати до розриву при розтягуванні. У масиву дерева цей показник зазвичай варіюється від 50 до 100 МПа. Тверді породи деревини мають високу міцність на розтягання, що забезпечує їх надійність у виробництві меблів і конструкцій [6].

Щільність деревини вимірюється в $\text{кг}/\text{м}^3$ і залежить від породи дерева і його вологості. Для масиву дерева щільність зазвичай коливається від 400 до 800 $\text{кг}/\text{м}^3$. Тверді породи деревини, такі як дуб або горіх, мають вищу щільність, ніж м'які породи, такі як сосна чи ялина [6].

Вологість деревини має великий вплив на її фізичні властивості. Зазвичай вологість деревини для виготовлення меблів і конструкцій підтримується в межах 8 % до 12 %. Висока вологість може призвести до розбухання і деформації дерева, тоді як надмірна сухість може викликати тріщини і розтріскування (рис. 1.7) [6].

Масив дерева має низьку теплопровідність, що робить його хорошим ізолятором від температурних змін. Це корисно для меблів, які не повинні бути надто холодними чи гарячими на дотик.

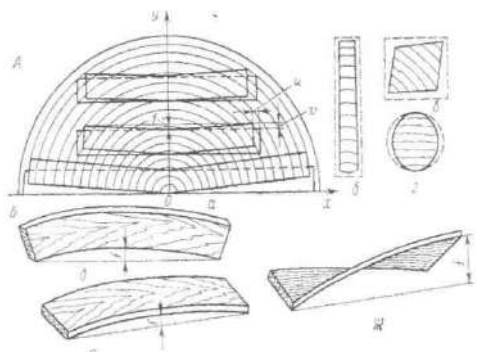


Рис. 1.7. Схема деформацій деревини викликаних високою вологістю [6]

Деревно-стружкова плита (ДСП) є важливим матеріалом в меблевій промисловості та будівництві завдяки своїй економічності та легкості в обробці. Проте її фізико-механічні властивості відрізняються від природного дерева і інших композитних матеріалів, що варто враховувати при виборі та використанні цього матеріалу [7].

Міцність на злам характеризує здатність матеріалу витримувати навантаження, яке призводить до його руйнування. Для ДСП цей показник зазвичай варіюється від 8 до 20 МПа. Міцність на злам ДСП нижча, ніж у масиву дерева, через структуру плити, де стружки не завжди рівномірно розподілені. Модуль пружності визначає жорсткість матеріалу і його деформацію під навантаженням. Для ДСП модуль пружності коливається від 1 500 до 3 500 МПа. Це відображає відносно меншу жорсткість плити порівняно з деревиною [7].

Міцність на розтягнення вимірює максимальне навантаження, яке матеріал може витримати до розриву при розтягуванні. (рис. 1.8). Для ДСП цей показник коливається від 0,8 до 1,5 МПа. Через свою структуру і використані матеріали, ДСП має меншу міцність на розтягання, ніж масив дерева. Міцність на зсув характеризує здатність матеріалу витримувати сили, що діють паралельно до його поверхні. Для ДСП цей показник варіюється від 0,5 до 1,2 МПа. Відповідно до структури плити, здатність до зсуву є помірною [7].



Рис. 1.8. Схема деформацій матеріалу при розтягуванні [7]

Щільність є масою одиниці об'єму матеріалу і впливає на його вагу та механічні властивості. Щільність ДСП зазвичай коливається від 600 до 750 кг/м³. Щільність може варіюватися в залежності від типу стружки, клею і технології виготовлення. Вологість впливає на фізичні властивості і довговічність матеріалу. Вона також може впливати на обробку і експлуатацію. Для ДСП нормальна вологість повинна бути в межах 8-12 %. Висока вологість може

призвести до розбухання і деформації плити. Теплопровідність визначає здатність матеріалу проводити тепло. ДСП має помірну теплопровідність, що може впливати на її використання в конструкціях з термічною ізоляцією. Стиснення характеризує здатність матеріалу витримувати навантаження без значних деформацій. ДСП має добру стійкість до стиснення, що дозволяє їй витримувати великі навантаження без значних деформацій [7].

Тип використовуваного клею може значно впливати на фізико-механічні властивості ДСП. Наприклад, смоли на основі формальдегіду можуть впливати на стійкість до вологи і міцність плити. Поверхнева обробка, така як ламінування, може покращити зовнішній вигляд та зносостійкість ДСП, але не змінює її базові механічні властивості. Зміни температури і вологості можуть впливати на фізичні властивості ДСП, зокрема її розбухання і стабільність [7].

Фанера є популярним будівельним матеріалом, що складається з кількох шарів деревини, склеєних між собою під високим тиском. Шари розташовуються таким чином, щоб волокна деревини кожного шару йшли перпендикулярно до волокон сусідніх шарів. Це надає фанері її характерні фізико-механічні властивості, які роблять її міцною, стабільною і довговічною [8].

Міцність на злам характеризує здатність матеріалу витримувати навантаження, що призводять до його руйнування. Для фанери цей показник зазвичай коливається від 30 до 50 МПа вздовж волокон і від 10 до 30 МПа поперек волокон. Це значення залежить від типу деревини, кількості шарів і якості клею [8].

Модуль пружності визначає жорсткість матеріалу і його деформацію під навантаженням. Для фанери модуль пружності вздовж волокон зазвичай коливається від 5 000 до 10 000 МПа, а поперек волокон – від 1 000 до 2 000 МПа. Жорсткість фанери робить її стабільною при навантаженнях [8].

Міцність на розтягання вимірює максимальне навантаження, яке матеріал може витримати до розриву при розтягуванні. Для фанери цей показник коливається від 20 до 50 МПа вздовж волокон і від 5 до 20 МПа поперек волокон. Міцність на розтягання залежить від напрямку волокон і якості деревини [8].

Міцність на зсув характеризує здатність матеріалу витримувати сили, що діють паралельно до його площини. (рис. 1.9). Для фанери цей показник варіюється від 1,5 до 3 МПа. Висока міцність на зсув забезпечує фанері стійкість до деформацій при навантаженнях [8].

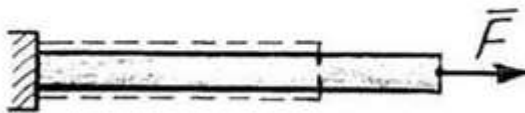


Рис. 1.9. Схема випробування матеріалу на зсув [8]

Щільність є масою одиниці об'єму матеріалу і впливає на його вагу та механічні властивості. Щільність фанери зазвичай коливається від 500 до 700 кг/м³, залежно від типу деревини і клею, що використовуються [8].

Вологість впливає на фізичні властивості і довговічність матеріалу. Вона також може впливати на обробку і експлуатацію. Нормальна вологість фанери повинна бути в межах 8–12 %. Висока вологість може призвести до розбухання і деформації, тоді як надмірна сухість може викликати тріщини [8].

Теплопровідність визначає здатність матеріалу проводити тепло. Фанера має низьку теплопровідність, що робить її хорошим ізолятором. Це корисно для конструкцій, де важлива теплоізоляція [8].

Стиснення характеризує здатність матеріалу витримувати навантаження без значних деформацій. Фанера має високу стійкість до стиснення завдяки своїй багатошаровій структурі. Це дозволяє їй витримувати великі навантаження без значних деформацій. Тип використовуваного клею може значно впливати на фізико-механічні властивості фанери. Наприклад, фенолформальдегідні смоли забезпечують високу стійкість до вологи і механічних навантажень. Більша кількість шарів забезпечує вищу міцність і стабільність фанери. Зазвичай фанера складається з 3–5 шарів, але може мати більше шарів для спеціальних застосувань. Тип деревини впливає на щільність, міцність і інші механічні властивості фанери. Наприклад, фанера з берези буде міцнішою і щільнішою, ніж фанера з хвойних порід [8].

Фанера є високоміцним і стабільним матеріалом, який широко використовується в будівництві та меблевій промисловості. Її фізико-механічні властивості забезпечують високу міцність, стійкість до механічних навантажень і довговічність. Завдяки багатошаровій структурі, фанера має переваги над масивом деревини, зокрема вищу стійкість до деформацій і більш рівномірний розподіл навантажень. Правильний вибір типу фанери, кількості шарів і клею дозволяє досягти оптимальних характеристик для конкретних застосувань [8].

MDF (Medium Density Fiberboard) або деревоволокниста плита середньої щільності є одним з найбільш затребуваних матеріалів у меблевій промисловості та будівництві. Вона виготовляється шляхом пресування деревних волокон з використанням синтетичних смол під високим тиском і температурою. Це забезпечує однорідну структуру матеріалу, що володіє рядом унікальних фізико-механічних властивостей [9].

Міцність на вигин зазвичай становить від 20 до 40 МПа. Висока міцність на вигин робить матеріал придатним для виготовлення меблів, полицок і інших конструкцій, що піддаються значним навантаженням (рис. 1.10) [9].

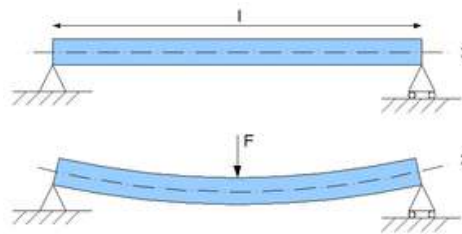


Рис. 1.10. Схема деформацій матеріалу при вигині [9]

Модуль пружності для деревоволокнистої плита середньої щільності (MDF) коливається від 2 500 до 3 500 МПа. Це свідчить про хорошу жорсткість і стабільність матеріалу при різних механічних впливах, дозволяючи йому зберігати форму і розміри під навантаженням [9].

Деревоволокниста плита середньої щільності (MDF) має міцність на розрив від 0,6 до 1,2 МПа. Це дозволяє використовувати його в конструкціях, де важлива здатність витримувати зусилля на відрив, наприклад, у дверних панелях та стінових обшивках [9].

Міцність на зсув характеризує здатність матеріалу витримувати сили, що діють паралельно до його площини. Для даного матеріалу цей показник становить від 1 до 2 МПа. Висока міцність на зсув забезпечує стійкість до деформацій при навантаженнях, що діють паралельно до поверхні плити [9].

Щільність деревоволокнистої плити середньої щільності (MDF) зазвичай коливається від 600 до 800 кг/м³. Висока щільність матеріалу забезпечує його міцність і довговічність, роблячи його придатним для важких конструкцій і меблів [9].

Вологість впливає на розміри і стабільність. Плита визначає здатність матеріалу протистояти вологим умовам експлуатації [9].

Нормальна вологість деревоволокнистої плити середньої щільності (MDF) становить від 4 до 11 %. Плита має відносно низьку чутливість до змін вологості порівняно з іншими деревними матеріалами, що робить її стабільною у вологих умовах. MDF має помірну теплопровідність, що робить його ефективним матеріалом для теплоізоляції в конструкціях, де важливо зберігати тепло. MDF має високу стійкість до стиснення завдяки своїй однорідній структурі. Це дозволяє використовувати його в конструкціях, що піддаються великим навантаженням, таких як основи для меблів і підлоги [9].

Тип і кількість використовуваних смол можуть значно впливати на фізико-механічні властивості. Наприклад, використання меламінових або фенольних смол може підвищити стійкість до вологи і механічних навантажень, роблячи матеріал більш довговічним і стійким до агресивних умов експлуатації [9].

Товщина плити впливає на її міцність і жорсткість. Товстіші плити мають кращі механічні властивості, але можуть бути важчими і дорожчими у виробництві. Вибір товщини залежить від конкретних вимог проекту і умов експлуатації [9].

Ламінування або інші типи обробки поверхні можуть поліпшити зносостійкість і зовнішній вигляд деревоволокнистої плити середньої щільності (MDF)MDF, не змінюючи при цьому основні механічні властивості матеріалу.

Це дозволяє використовувати її у високоякісних декоративних виробках і меблях [9].

Зміни вологості і температури можуть впливати на розміри і механічні властивості деревоволокнистої плити середньої щільності (MDF). Вологий або дуже сухий клімат може призвести до розбухання або усадки матеріалу, що може викликати деформації і зміну розмірів [9].

Деревоволокниста плита середньої щільності (MDF) є універсальним матеріалом з високими фізико-механічними властивостями, які роблять його ідеальним для різних застосувань у меблевій промисловості та будівництві. Його висока міцність на вигин, жорсткість, однорідна структура і стійкість до стиснення роблять його конкурентоспроможним з іншими деревними матеріалами. Завдяки своїм характеристикам, MDF може використовуватися у виготовленні меблів, дверних панелей, стінових обшивок та інших конструкцій, де важливі стабільність, міцність і естетичний вигляд. Правильний вибір типу деревоволокнистої плити середньої щільності (MDF), його товщини і обробки дозволяє досягти оптимальних характеристик для конкретних потреб і умов експлуатації [9].

HPL (High Pressure Laminate) є високоякісним декоративним матеріалом, що складається з кількох шарів паперу, просоченого термореактивними смолами і з'єднаного під високим тиском та температурою. Завдяки своїй складній структурі і процесу виробництва, HPL володіє відмінними фізико-механічними властивостями, що робить його придатним для широкого спектру застосувань [10].

Міцність на вигин визначає здатність матеріалу витримувати навантаження, які викликають його вигин. HPL має високу міцність на вигин, яка зазвичай становить від 80 до 100 МПа. Це робить його надзвичайно стійким до механічних навантажень, що важливо при використанні в горизонтальних поверхнях, таких як стільниці та підлоги [10].

Модуль пружності показує, наскільки матеріал пручається деформації під навантаженням. Модуль пружності для HPL становить близько 10 000–12 000

МПа, що свідчить про високу жорсткість і стабільність матеріалу при різних механічних впливах [10].

Міцність на розрив вимірює здатність матеріалу витримувати навантаження, що діють перпендикулярно до його площини. HPL має міцність на розрив в межах 8–12 МПа, що дозволяє використовувати його в конструкціях, де важлива здатність витримувати зусилля на відрив, наприклад, у вертикальних панелях [10].

Міцність на зсув характеризує здатність матеріалу витримувати навантаження, що діють паралельно до його площини. HPL має міцність на зсув від 3 до 5 МПа. Це забезпечує стійкість до деформацій при паралельних навантаженнях, що є важливим для довговічності та стабільності матеріалу. Щільність HPL зазвичай коливається від 1 350 до 1 450 кг/м³, що робить його одним з найщільніших матеріалів серед ламінатів. Висока щільність забезпечує міцність і довговічність матеріалу. Водопоглинання визначає здатність матеріалу поглинати вологу. HPL має дуже низьке водопоглинання, зазвичай менше 5 %, що робить його ідеальним для використання у вологих умовах, таких як кухні та ванні кімнати [10].

Стійкість до стирання визначає здатність матеріалу протистояти механічному зношуванню. HPL має високу стійкість до стирання, що забезпечує тривалий термін служби навіть при інтенсивному використанні. Цей показник зазвичай перевищує 4 000 оборотів в тесті Табера (Taber Abrasion Test) [10].

Теплопровідність визначає здатність матеріалу проводити тепло. HPL має низьку теплопровідність, що робить його хорошим ізолятором. Це корисно в умовах, де необхідно знизити теплові втрати або уникнути нагрівання поверхонь [10].

Стійкість до ультрафіолетового випромінювання визначає здатність матеріалу зберігати свої властивості під дією ультрафіолетових променів. HPL має високу стійкість до УФ-випромінювання, що запобігає вигорянню і зміні кольору поверхні при тривалому впливі сонячного світла [10].

Вогнестійкість характеризує здатність матеріалу витримувати вплив високих температур без загоряння. HPL має високу вогнестійкість і може відповідати класу вогнестійкості B1 або B2 за європейськими стандартами, що робить його безпечним для використання в громадських місцях і житлових приміщеннях (рис. 1.11) [10].

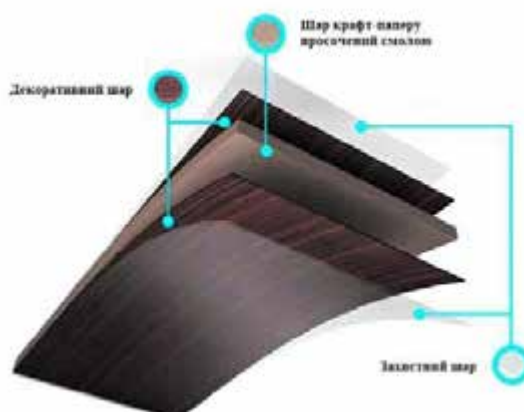


Рис. 1.11. Захисні шари HPL [10]

Тип і кількість використовуваних смол впливають на механічні та фізичні властивості HPL. Використання високоякісних фенольних і меламінових смол забезпечує кращі характеристики міцності та стійкості до вологи і хімічних впливів [10].

Товщина HPL може варіюватися, і це впливає на його міцність і жорсткість. Товстіші плити мають кращі механічні властивості, але можуть бути важчими і дорожчими у виробництві. Додаткова обробка поверхні, така як текстурування або ламінування, може покращити зносостійкість і зовнішній вигляд HPL, зберігаючи при цьому основні механічні властивості матеріалу. HPL є високоякісним матеріалом з відмінними фізико-механічними властивостями, що робить його ідеальним для використання у різних областях, включаючи меблеву промисловість, будівництво та дизайн інтер'єрів. Його висока міцність на вигин, жорсткість, низьке водопоглинання, стійкість до стирання і ультрафіолетового випромінювання, а також вогнестійкість забезпечують довговічність і надійність у використанні. Завдяки своїм унікальним властивостям, HPL є одним з найкращих виборів для поверхневих покриттів, що вимагають високих експлуатаційних характеристик і естетичного вигляду [10].

1.3. Вплив умов середовища на конструкції

Масив дерева є природним матеріалом, який реагує на зміни навколишнього середовища. Ці зміни можуть впливати на його фізичні та механічні властивості, а також на його естетичні характеристики. Розглянемо основні фактори, що впливають на масив дерева, і їх вплив на дерев'яні конструкції [11].

Вологість навколишнього середовища є одним з найбільш важливих факторів, що впливають на деревину. Дерево є гігроскопічним матеріалом, тобто воно поглинає і віддає вологу в залежності від умов навколишнього середовища. При підвищенні вологості дерево поглинає вологу і розбухає, збільшуючись у розмірах. При зниженні вологості дерево віддає вологу і усаджується, зменшуючись у розмірах. Ці процеси можуть призвести до деформацій, тріщин і навіть розриву дерев'яних елементів [11].

Збільшення вологості може знизити міцність дерева, особливо на вигин і стискання. Вологе дерево стає більш схильним до деформацій під навантаженням (рис. 1.12) [11].



Рис. 1.12. Деформація деревини – тріщина [11]

Температурні зміни також впливають на деревину. Хоча деревина має низький коефіцієнт теплового розширення порівняно з металами, значні температурні коливання можуть призвести до зміни розмірів дерев'яних елементів. При високих температурах деревина стає більш пластичною і менш жорсткою, що може призвести до втрати механічної стабільності конструкцій. Низькі температури можуть зробити деревину більш крихкою [11].

УФ-випромінювання від сонця може негативно впливати на зовнішні дерев'яні конструкції. Під дією УФ-променів деревина з часом втрачає свій природний колір, стає сіркою або вицвітає. Ультрафіолетове випромінювання може руйнувати лігнін у деревині, що призводить до утворення мікротріщин на поверхні і зниження механічної міцності зовнішнього шару деревини [11].

Біологічні агенти, такі як грибки, комахи і мікроорганізми, можуть значно пошкоджувати дерев'яні конструкції. Висока вологість сприяє росту грибків, які викликають гниття деревини, що значно знижує її міцність і довговічність. Деякі комахи, такі як терміти і жуки-дерев'їди, можуть пошкоджувати деревину, утворюючи ходи і порожнини всередині дерев'яних елементів [11].

Для збереження дерев'яних конструкцій у хорошому стані необхідно застосовувати різні захисні заходи: Використання захисних покриттів, таких як лаки, фарби, масла і антисептики, допомагає захистити деревину від вологи, УФ-випромінювання і біологічних агентів. Забезпечення стабільного рівня вологості в приміщеннях з дерев'яними конструкціями за допомогою систем кондиціонування і вентиляції. Періодичний огляд і ремонт дерев'яних конструкцій для виявлення і усунення пошкоджень на ранніх стадіях [11].

Конструкції з масиву дерева, хоча і мають відмінні механічні та естетичні властивості, дуже чутливі до впливу навколишнього середовища та різних навантажень (рис. 1.13). Для забезпечення їхньої довговічності та надійності необхідно враховувати вплив вологості, температури, ультрафіолетового випромінювання, біологічних та хімічних факторів і застосовувати відповідні захисні заходи. Це дозволить зберегти дерев'яні конструкції у гарному стані протягом багатьох років [11].

ДСП (деревно-стружкова плита) є популярним матеріалом для виготовлення меблів та інших конструкцій завдяки своїй вартості, легкості обробки та прийнятним механічним властивостям. Однак, як і будь-який інший матеріал, ДСП піддається впливу різних чинників навколишнього середовища. Розглянемо основні фактори та їх вплив на конструкції з ДСП [12].

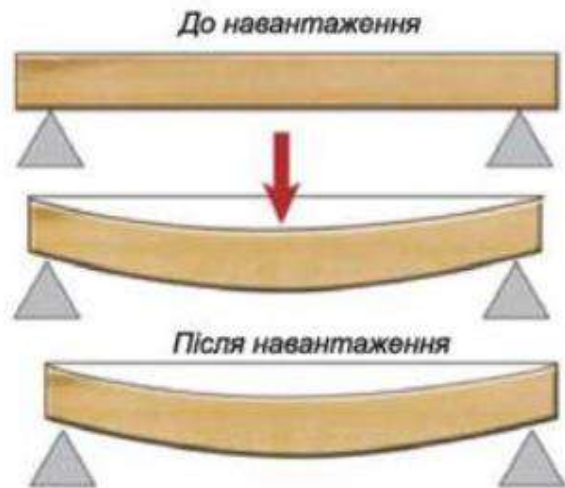


Рис. 1.13. Вплив навантаження на властивості конструкції [11]

Вологість навколишнього середовища є одним з найважливіших факторів, що впливають на ДСП. Матеріал чутливий до вологи через свою пористу структуру. При підвищеній вологості ДСП поглинає вологу, що призводить до набухання і деформації плити (рис. 1.13). Це може спричинити розшарування, здуття та втрату форми. Під впливом вологи знижується механічна міцність ДСП, особливо на вигин і стискання. Вологе ДСП стає менш стійким до навантажень. Клейові зв'язки між стружками можуть руйнуватися під впливом вологи, що призводить до втрати цілісності плити (рис. 1.14) [12].



Рис. 1.14. Набрякання ДСП [12]

Температурні коливання також впливають на ДСП, хоча і менш значною мірою, ніж вологість. ДСП має низький коефіцієнт теплового розширення, але тривале перебування при високих температурах може призвести до зміни розмірів і форми плити. Високі температури можуть знизити механічну міцність ДСП, роблячи його більш схильним до деформацій під навантаженням. Низькі

температури можуть зробити матеріал більш крихким. УФ-випромінювання може впливати на поверхневі властивості ДСП. Під впливом УФ-променів ДСП може втрачати свій колір, ставати більш тьмяним або жовтіти. УФ-випромінювання може спричинити руйнування зв'язуючих речовин на поверхні плити, що призводить до втрати механічної міцності зовнішнього шару [12].

Біологічні агенти, такі як грибки, пліснява і комахи, можуть пошкоджувати ДСП, особливо у вологих умовах. Підвищена вологість сприяє розвитку грибків і плісняви, що може призвести до гниття ДСП і втрати його механічних властивостей. Хоча ДСП менш привабливий для комах, ніж масив дерева, деякі види комах можуть все ж таки пошкоджувати його, особливо якщо плита має тріщини або інші дефекти [12].

Хімічні речовини можуть впливати на ДСП, викликаючи його деградацію або зміну властивостей. Контакт з хімікатами: Використання агресивних миючих засобів або розчинників може призвести до пошкодження поверхні ДСП і втрати його декоративних властивостей [48].

Для збереження конструкцій з ДСП у гарному стані необхідно застосовувати різні захисні заходи: Використання ламінованих або меламінованих покриттів допомагає захистити ДСП від вологи, механічних пошкоджень і УФ-випромінювання. Герметизація або обробка крайок спеціальними стрічками або захисними покриттями зменшує проникнення вологи і підвищує довговічність плити. Забезпечення стабільного рівня вологості в приміщеннях з конструкціями з ДСП за допомогою систем кондиціонування і вентиляції. Періодичний огляд і ремонт конструкцій з ДСП для виявлення і усунення пошкоджень на ранніх стадіях [12, 48].

Конструкції з ДСП, хоча і мають прийнятні механічні властивості і є економічно вигідними, дуже чутливі до впливу навколишнього середовища. Вологість, температура, ультрафіолетове випромінювання, біологічні та хімічні фактори можуть значно впливати на їхню міцність, довговічність і зовнішній вигляд. Важливо враховувати ці фактори при проектуванні, виготовленні та

експлуатації конструкцій з ДСП і застосовувати відповідні захисні заходи для забезпечення їхньої тривалої служби [12].

Фанера є популярним будівельним і меблевим матеріалом завдяки своїй міцності, стійкості та відносній легкості обробки. Вона складається з кількох шарів деревини, склеєних під високим тиском, що надає їй високу міцність і стабільність. Однак, як і будь-який дерев'яний матеріал, фанера чутлива до впливу навколишнього середовища. Розглянемо, як різні фактори середовища впливають на фанеру та як можна мінімізувати негативні наслідки [13].

Вологість навколишнього середовища є одним з найбільш важливих факторів, що впливають на фанеру. Дерево, з якого складається фанера, є гігроскопічним матеріалом, що означає його здатність поглинати та віддавати вологу. При підвищеній вологості фанера поглинає вологу, що може призвести до набухання та деформації. Це особливо критично для фанери, що використовується у вологих умовах, таких як ванні кімнати або зовнішні конструкції. При зниженні вологості фанера може усаджуватися, що призводить до утворення тріщин і розшарування. Зміни вологості можуть знизити механічну міцність фанери, особливо якщо вона не була належним чином оброблена або захищена. Вологе середовище сприяє розвитку грибків та плісняви, що також може пошкодити структуру фанери [13].

Температурні коливання впливають на фанеру, хоча й меншою мірою, ніж вологість. Фанера, як і інші дерев'яні матеріали, розширюється при підвищенні температури і стискається при її зниженні. Ці зміни можуть призвести до деформацій та утворення тріщин, особливо при різких температурних перепадах. Високі температури можуть знизити міцність клею, що використовується для склеювання шарів фанери, що може призвести до розшарування. Низькі температури можуть зробити фанеру крихкою і більш схильною до пошкоджень (рис. 1.15) [15].

Підвищена вологість сприяє розвитку грибків, які можуть викликати гниття деревини. Це особливо критично для фанери, що використовується на відкритому повітрі або у вологих приміщеннях. Деякі комахи, такі як терміти або

жуки, можуть пошкоджувати фанеру, утворюючи ходи і порожнини всередині матеріалу [15].



Рис. 1.15. Викривлення фанери [13]

Контакт з агресивними речовинами: Використання агресивних миючих засобів або розчинників може пошкоджувати поверхню фанери та призводити до її розшарування [13].

Для збереження фанери у хорошому стані необхідно застосовувати різні захисні заходи Обробка захисними покриттями: Використання лаків, фарб, масел та інших захисних покриттів допомагає захистити фанеру від вологи, ультрафіолетового випромінювання та механічних пошкоджень. Для застосувань у вологих умовах слід використовувати фанеру з підвищеною вологостійкістю, яка виготовляється із спеціальними клеями. Зберігати фанеру в сухих, добре вентиляованих приміщеннях для запобігання впливу вологи та температурних коливань [13, 49].

Періодичний огляд і своєчасний ремонт фанерних конструкцій допоможе виявити та усунути пошкодження на ранніх стадіях. Фанера є міцним і універсальним матеріалом, але вона чутлива до впливу навколишнього середовища. Вологість, температура, ультрафіолетове випромінювання, біологічні та хімічні фактори можуть суттєво впливати на її міцність, довговічність і зовнішній вигляд. Важливо враховувати ці фактори при проектуванні, виготовленні та експлуатації конструкцій з фанери і застосовувати відповідні захисні заходи для забезпечення їхньої тривалої служби [49].

MDF (Medium-Density Fiberboard) є популярним будівельним і меблевим матеріалом завдяки своїй рівномірній щільності, гладкій поверхні та зручності

обробки. Однак, як і будь-який деревний матеріал, вона піддається впливу навколишнього середовища. Розглянемо основні фактори, що впливають на деревоволокнисту плиту середньої щільності (MDF), та їх наслідки [14].

Вологість навколишнього середовища є найважливішим фактором, що впливає на деревоволокнисту плиту середньої щільності (MDF). Оскільки вона складається з дрібних деревних волокон, спресованих і склеєних смолами, він є гігроскопічним матеріалом. При підвищеній вологості плита поглинає вологу, що може призвести до набухання і деформації. Це особливо критично для деревоволокнистої плити середньої щільності (MDF), що використовується у вологих умовах, таких як ванні кімнати або кухні. При зниженні вологості матеріал може усаджуватися, що призводить до утворення тріщин і розшарування. Зміни вологості можуть знизити механічну міцність матеріалу, особливо якщо він не був належним чином оброблений або захищений. Вологе середовище сприяє розвитку грибків та плісняви, що також може пошкодити структуру плити [14].

Деревоволокниста плита середньої щільності (MDF), як і інші деревні матеріали, розширюється при підвищенні температури і стискається при її зниженні. Ці зміни можуть призвести до деформацій та утворення тріщин, особливо при різких температурних перепадах. Високі температури можуть знизити міцність смол, що використовуються для склеювання волокон, що може призвести до розшарування. Низькі температури можуть зробити матеріал більш крихким і схильним до пошкоджень (рис. 1.16) [14].

Підвищена вологість сприяє розвитку грибків, які можуть викликати гниття деревини. Це особливо критично для деревоволокнистої плити середньої щільності (MDF), що використовується на відкритому повітрі або у вологих приміщеннях. Для збереження конструкцій з MDF у хорошому стані необхідно застосовувати різні захисні заходи. Обробка захисними покриттями: Використання лаків, фарб, олій та інших захисних покриттів допомагає захистити матеріал від вологи, ультрафіолетового випромінювання та механічних пошкоджень. Для застосувань у вологих умовах слід

використовувати вологостійку деревоволокнисту плиту середньої щільності (MDF), яка виготовляється із спеціальними клеями та добавками [14].



Рис. 1.16. Розшарування MDF [14]

Зберігати плитив сухих, добре вентиляваних приміщеннях для запобігання впливу вологи та температурних коливань. Матеріал є міцним і універсальним матеріалом, але він чутливий до впливу навколишнього середовища. Вологість, температура, ультрафіолетове випромінювання, біологічні та хімічні фактори можуть суттєво впливати на його міцність, довговічність і зовнішній вигляд. Важливо враховувати ці фактори при проектуванні, виготовленні та експлуатації конструкцій з деревоволокнистої плити середньої щільності (MDF) і застосовувати відповідні захисні заходи для забезпечення їхньої тривалої служби [14].

HPL (High-Pressure Laminate) – це високоякісна ламінатна плита, виготовлена шляхом пресування кількох шарів паперу та смол під високим тиском і температурою. HPL широко використовується в якості облицювального матеріалу для меблів, стінових панелей та підлогових покриттів через свою стійкість до механічних пошкоджень, зносостійкість і легкість у догляді. Однак конструкції з HPL також можуть піддаватися впливу навколишнього середовища. Розглянемо, як різні фактори середовища можуть впливати на HPL [15].

Вологість навколишнього середовища впливає на HPL, хоча його стійкість до вологи є однією з його основних переваг. HPL має високу стійкість до вологи завдяки своїй конструкції. Верхній шар, зазвичай виготовлений з термостійкої смоли, захищає нижні шари від поглинання води. Це робить HPL придатним для використання в умовах високої вологості, таких як кухні та ванні кімнати. Якщо

крайки HPL не були належно оброблені або захищені, волога може проникнути в них, що може призвести до набухання та деформації країв. Це може вплинути на цілісність та естетичний вигляд конструкції [15].

Температурні коливання можуть впливати на властивості HPL, але його висока термостійкість є значною перевагою. HPL має невеликий коефіцієнт теплового розширення. Це означає, що він змінює свої розміри під дією температури незначно, що зменшує ризик деформацій при нормальних умовах експлуатації. HPL стійкий до високих температур, завдяки чому його можна використовувати в середовищах, де можливе впливання гарячих предметів. Однак тривалий вплив екстремально високих температур може з часом призвести до розшарування або втрати кольору. Холод може вплинути на клейові шарів, що тримає HPL, роблячи його крихким і схильним до тріщин. Хоча це не є звичайною проблемою при нормальних умовах експлуатації [15].

Біологічні агенти, такі як грибки, пліснява та комахи, зазвичай не впливають на HPL, оскільки матеріал має високу стійкість до біологічних уражень. HPL не є сприятливим середовищем для розвитку плісняви та грибків, завдяки відсутності органічних компонентів, які могли б бути використані як їжа для цих організмів. HPL не є привабливим для комах, таких як терміти або жуки, що робить його відмінним вибором для конструкцій у вологих умовах [15].

HPL має хорошу стійкість до багатьох побутових хімічних речовин, таких як миючі засоби та розчинники. Однак прямий контакт з агресивними хімічними речовинами або концентрованими кислотами може призвести до пошкодження поверхні. Щоб зберегти конструкції з HPL у відмінному стані, слід дотримуватися кількох рекомендацій: Обробка країв HPL захисними матеріалами або герметиками може допомогти уникнути проникнення вологи та зберегти цілісність плити. Використання м'яких миючих засобів і неагресивних чистячих матеріалів для очищення поверхні HPL допоможе зберегти її вигляд і захистити від хімічних пошкоджень. Для запобігання можливим проблемам з розширенням або стисненням слід уникати тривалого впливу екстремальних температур на HPL. Використання HPL з УФ-стабілізаторами або нанесення

захисних покриттів для зменшення впливу УФ-випромінювання на поверхню [15, 47].

HPL є міцним і універсальним матеріалом з високою стійкістю до вологи, температури і біологічних агентів. Однак він чутливий до впливу ультрафіолетового випромінювання та агресивних хімічних речовин. Важливо враховувати ці фактори при проектуванні, виготовленні та експлуатації конструкцій з HPL і застосовувати відповідні захисні заходи для забезпечення їхньої тривалої служби та естетичного вигляду [47].

Навантаження на конструкції з деревини, ДСП, фанери та MDF (впливає на їх міцність, жорсткість та довговічність). Деревина є природним матеріалом, і її міцність залежить від виду дерева, щільності, вологості та напрямку волокон. Вона добре витримує стискаючі навантаження вздовж волокон, але значно слабше у поперечному напрямку. Міцність при згинанні та розтягненні також залежить від напрямку навантаження відносно волокон. Деревина схильна до повзучості, що означає деформацію під постійним навантаженням з часом [16].

ДСП менш міцна, ніж натуральна деревина, особливо на розтягнення та згинання. ДСП може розшаровуватися під дією вологості або надмірних навантажень. Завдяки однорідній структурі, ДСП має рівномірніші властивості в усіх напрямках, ніж деревина [16].

Фанера складається з кількох шарів деревини, склеєних між собою з чергуванням напрямку волокон, що підвищує її міцність на згинання та розтягнення. Завдяки своїй структурі, фанера менш схильна до розтріскування та деформацій. Високоякісна фанера має хорошу стійкість до вологи, що знижує ризик розшаровування під навантаженням [16].

MDF має однорідну структуру, що робить його рівномірно міцним в усіх напрямках. MDF має нижчу міцність на згинання, ніж фанера, але вищу, ніж ДСП. MDF чутливий до вологи, що може призводити до розбухання та зниження міцності під навантаженням [16].

РОЗДІЛ 2

ВИБІР ПРІОРИТЕТНИХ МАТЕРІАЛІВ

2.1. Підбір досліджуваних матеріалів

ДСП (рис. 2.1) – це дерево-стружкова плита. Цей матеріал виготовляється методом пресування деревної тирси і стружок в умовах високої температури. Для зв'язки натурального компонента плит застосовуються формальдегідні або синтетичні смоли [17].

Сировиною для виготовлення ДСП можуть бути відходи деревини хвойних і листяних порід. Основні властивості матеріалу визначаються розмірами, щільністю та формою частинок, а також якістю і кількістю смол. Виходячи з цього, плити ДСП бувають високої, середньої і малої щільності. Структура ДСП може бути одно-, трьох - або п'ятишарової [17].

За ступенем безпеки для здоров'я людини ДСП ділиться на два види: E1 (володіє низьким рівнем вмісту формальдегіду) і E2 (зі значним рівнем вмісту формальдегіду).



Рис. 2.1. Деревино-стружкова плита [17]

До основних достоїнств ДСП можна віднести її механічну міцність, вологостійкість і доступність для механічної обробки. Цей матеріал легко пиляється, свердлиться, його можна фрезерувати, стругати, фарбувати і склеювати. Крім того, вартість ДСП відносно невисока. За деякими параметрами ДСП перевершують звичайну деревину. Вони вогнестійкі, менш сприйнятливі

до змін вологості і температури, меншою мірою схильні до ураження пліснявими грибками, володіють більш вираженими тепло - і звукоізоляційними властивостями. До негативних якостей відноситься наявність у складі ДСП формальдегідних смол. Внаслідок цього певну кількість цієї речовини постійно виділяється в навколишнє середовище, що при використанні матеріалу всередині приміщення може викликати алергію у людини.

Для кухонь і ванн використовується спеціальний вигляд ДСП з підвищеною вологостійкістю [17].

Фанера (рис. 2.2) – це багатошаровий будівельний матеріал, який виробляється з листів шпону, склеєних між собою. Для кращої міцності волокна розташовуються під кутом 90° (тобто перпендикулярно). Це дозволяє збільшити міцність матеріалу і підвищити його опірність до деформації. В основному, для створення фанерного листа використовуються хвойні або екзотичні породи деревини, а також Береза. Остання ж має гарний зовнішній вигляд і володіє високою міцністю. Для Берези характерна стійкість до різних механічних і температурних впливів. Фанера це матеріал, який найчастіше використовується у виробництві меблів, музичних інструментів, при побутовому ремонті, будівельних роботах. Для кожного дизайнерського проекту необхідна фанера різних типів, сортів і розмірів [18].

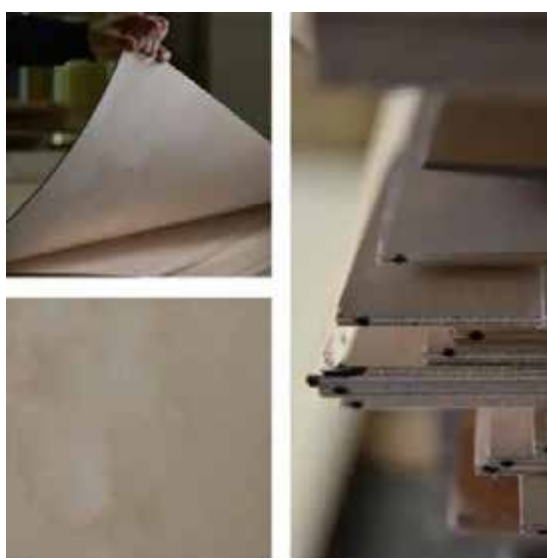


Рис. 2.2. Фанера [18]

Фанера доступна в різних товщинах, від кількох міліметрів до кількох сантиметрів, незалежно від призначення. Вона володіє високою міцністю та стійкістю до деформацій, що робить її ідеальною для використання в конструкціях та меблях. Фанеру можна обробляти всіма способами, включаючи різання, свердління, фрезерування та інші види обробки. Фанера використовується в будівництві, меблевому виробництві, столярній справі, виготовленій упаковці та інших галузях. Вона може служити як основний будівельний матеріал або використовуватися для облицювання і зміцнення різних конструкцій [18].

Профіль MDF (рис. 2.3) – це матеріал виготовлений з висушених деревних волокон, оброблених синтетичними зв'язуючими речовинами і сформованих у вигляді килима після гарячого пресування. MDF – це еволюція сухого способу виробництва ДВП з урахуванням вдосконалених при виготовленні ДВП технологій. З англійського MDF – Medium Density Fiberboard "Мікро Деревна Фібра" [19].

У деревоволокнистих плит середньої щільності (MDF) добре розвинена поверхня деревних волокон, що ефективно впливає на міцність за рахунок участі зв'язувальних речовин у міжволоконній взаємодії. Профіль даного матеріалу – екологічно чистий, сучасний, надійний матеріал. Деревоволокниста плита середньої щільності (MDF) виготовляється шляхом сухого пресування дрібнодисперсної деревної стружки при високій температурі і тиску. Добре піддається обробці. Особливості технологічного процесу забезпечують профілю ряд переваг у порівнянні з іншими матеріалами, надзвичайну універсальність застосування. Оскільки щільність плит практично відповідає натуральній щільності деревини, плити дуже легко піддаються обробці: фрезеруванню або шліфуванню. На поверхні можна задати оригінальну картину, випилювання профілю практично необмеженої складності. Дану плиту можна обробляти будь-яким способом, відомим у меблевому виробництві. Легко надавати заготовці з деревоволокнистої плити середньої щільності (MDF) будь-яку форму, заокруглені кути, – це неабияк розширює можливості виготовлення різних

меблів, профілів, меблевих фасадів. Поверхня плити ідеально рівна і гладка, в наслідок чого матеріал легко піддається забарвленню, покриттю лаком і ламінуванню [19].



Рис. 2.3. Плита MDF [19]

Склеювальна сполучна речовина, яка використана при пресуванні плити, екологічна та дає виключно мінімальну емісію формальдегіду (викид шкідливих речовин). Екологічна безпека застосування деревоволокнистої плити середньої щільності (MDF) при виробництві і під час експлуатації забезпечують все більш зростаючий попит на меблі, виготовлені з цього матеріалу. Вироби несприйнятливі до грибків і патогенних мікроорганізмів. Ця якість робить меблі з деревоволокнистої плити середньої щільності (MDF) повністю безпечними в побуті і виключно гігієнічними [19].

Декоративні HPL панелі (High Press Laminate – ламінат високого тиску) (рис. 2.4) виготовляються шляхом пресування шарів просоченої терморезистивними смолами целюлози і спеціально оброблених шарів декоративного паперу під дією високої температури й тиску [20].



Рис. 2.4. HPL панелі [20]

Завдяки процесу поліконденсації смол конструкція стає монолітною, без ризику розшарування у процесі експлуатації [20].

Декоративні панелі мають досконалі технічні характеристики. Поверхня стійка до різних погодних умов та змін клімату, має захист від ультрафіолетових променів (екстер'єрна колекція), легко очищується, вогнестійка та не містить отруйних речовин [20].

Захисним шаром HPL служить високоміцна плівка із полімеризованої меламінової смоли. Саме на нього припадає основний захист від плям, стирання, подряпин, сонячного та електричного світла. Це популярний матеріал, який використовується для обробки поверхонь і створення меблів, стін, панелей та інших архітектурних деталей. HPL складається з кількох шарів, включаючи папірну основу, декоративно друкований шар, іноді із зображеннями деревини або іншого текстури, а також захисний шар, який виготовляється зі смоли. Володіє високою стійкістю до подряпину, ударів, агресивних речовин та вологості, що робить його використаним для меблів та обробки вітамінних приміщень. HPL доступний у великому виборі декоративних варіантів, включаючи різні кольори, текстури та малюнки, що дозволяє створити різноманітні дизайнерські рішення, легко очищається і вимагає мінімального догляду. Він витримує високі температури, що робить його ідеальним для використання на стільницях кухні і ванних кімнатах [20].

Дуб – одна з найцінніших порід деревини, тому дошка дубова обрізна, яку можна купити у різних розмірах, використовується у багатьох галузях промисловості. Ця сировина століттями використовується в різних сферах життя, цінується за свої унікальні властивості.

Протягом століть дуб асоціювався з великою силою. Його характерна особливість – виняткова твердість і довговічність. Надзвичайно тверда деревина дуба стійка до різних видів механічних пошкоджень, щоб зберегти ці властивості дуба і додатково підвищити його стійкість до розтріскування, необхідно правильно обробити дубові пиломатеріали, ретельно висушивши деревину. Варто відзначити, що попри таку значну твердість деревини дуба, вона

надзвичайно схильна до обробки, наприклад, згинання, склеювання або фарбування, що дозволяє широко використовувати цю породу.

До переваг дубових дощок можна віднести також їх естетичні якості. Характерний, сіро-жовтий колір дуба урізноманітнений нерівномірно розподіленими кільцями, привертає увагу. Слід зазначити, що такі чинники, як час, вологість або сонячне випромінювання, сприяють поступовій зміні природного кольору дуба на більш темний. Численні переваги дуба роблять його широко використовуваним у багатьох галузях промисловості, і протягом століть він був цінним матеріалом, який використовувався різними способами.

2.2. Прийняття проектних рішень

Метод розставляння пріоритетів – це процес прийняття рішень, який базується на порівнянні об'єктів з точки зору їхньої важливості або якості відносно певних критеріїв або властивостей. Спершу експерти або приймальники рішень визначають, який об'єкт є кращим, гіршим або рівноцінним іншому з певного погляду. Це якісне порівняння може бути зроблено на основі об'єктивних показників або експертних оцінок, якщо конкретні значення не доступні. Далі ці якісні порівняння відображаються у вигляді матриці, де кожен об'єкт порівнюється з кожним іншим з точки зору різних властивостей або критеріїв. Ця матриця дозволяє провести математичну обробку та отримати кількісні значення пріоритетів для кожної властивості окремо, а також за комплексними показниками. Такий підхід допомагає структуровано і систематично оцінити важливість різних об'єктів і прийняти обґрунтоване рішення на основі отриманих пріоритетів [21].

Метод експертних оцінок використовується для обґрунтування вибору перспективних опцій у різних сферах, таких як виробництво, технології, обладнання, матеріали та інші аспекти прийняття рішень. Зазвичай цей метод передбачає залучення фахівців або експертів, які надають свої оцінки та

експертну думку, щоб допомогти у визначенні найкращих альтернатив і прийнятті обґрунтованих рішень [21].

З описаних в попередньому розділі матеріалів для порівняння і вибору пріоритету було обрано 5 основних характеристик по кожному з 5-ти матеріалів (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Основні характеристики обраних матеріалів

Назва матеріалу	Щільність, кг/м ³	Статична твердість, Мпа	Вологопоглинання, %	Ціна, грн/м ²	Міцність на статичний згин Мпа
ДСП	585	17,5	20	2197	25
Фанера	650	20	10	1190	30
Деревина дуба	650	18	7	1250	87
MDF	575	20	6,5	2920	20
HPL	1300	50	1,5	2440	70

Під час оцінки та якісного порівняння п'яти різних матеріалів для створення виготовлення тари створено квадратні матриці бінарних відношень розміром 5x5. У цих матрицях "m" відповідає характеристикам матеріалів, а "n" – різновидам матеріалів, отже, розмірність матриці становить 5x5. У цих матрицях використовуються математичні символи для вираження відношень між характеристиками та різновидами матеріалів: позначається ">", "=", "<" [21].

У результаті було створено п'ять матриць. Потім проводиться порівняння цих матриць за пріоритетністю або важливістю показників при оцінці характеристик. Для цього порівняння було побудовано ще одну квадратну матрицю розміром m x n [21].

Для того, щоб визначити кількісну оцінку кожного показника, спершу встановлюється, якому значенню відповідає найкращий об'єкт, і розраховується, на скільки це значення відрізняється від найгіршого об'єкта за допомогою формули (2.1) [21]:

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

		X1	X1	X1	X1	X1	K	W
		585	650	650	575	1300		
X1	585	=	<	<	>	<	2,26	0,5
X2	650	>	=	=	>	<		
X3	650	>	=	=	>	<		
X4	575	<	<	<	=	<		
X5	1300	>	>	>	>	=		

Для обчислення кількісних оцінок, враховуючи наявну інформацію, можна використовувати числові оцінки, які надали експерти для кожної характеристики. Значення K_j обчислюється за раніше вказаною формулою (2.1), і це дозволяє нам визначити різницю між найкращим і найгіршим показником [21]:

$$K_j = \frac{4}{3} = 1,23$$

Знайшовши коефіцієнт K_j , знаходимо коефіцієнт ω_j , за формулою (2.2):

$$\omega_j = \left(\frac{1,23 - 1}{1,23 + 1} + \sqrt{\frac{0,05}{5}} \right) = 0,2$$

Аналогічним способом знаходимо значення коефіцієнтів K_j та ω_j , для інших відповідних табл. 2.3–2.6 використовуючи формули (2.1) та (2.2).

Таблиця 2.3

Матриця порівняння матеріалів за статичною твердістю

		X1	X2	X3	X4	X5	K	W
		17,5	20	18	20	50		
X1	17,5	=	<	<	<	<	2,78	0,6
X2	20	>	=	>	=	<		
X3	18	>	<	=	<	<		
X4	20	>	=	>	=	<		
X5	50	>	>	>	>	=		

Кухонні меблі навантажуються через побутову техніку та предметів, які зберігаються в шафах і ящиках. Висока статична твердість матеріалу дозволяє

меблям утримувати це навантаження без деформацій або пошкоджень, а також дозволяє матеріалам зберігати свою форму [21].

Таблиця 2.4

Матриця порівняння матеріалів за вологопоглинанням

		X1	X1	X1	X1	X1	K	W
		20	10	7	6,5	1,5		
X1	20	=	>	>	>	>	13,33	0,96
X2	10	<	=	>	>	>		
X3	7	<	<	=	>	>		
X4	6,5	<	<	<	=	>		
X5	1,5	<	<	<	<	=		

Для виготовлення кухонних меблів обирають матеріали з меншим вологопоглинанням, адже на кухнях меблі часто можуть піддаватися впливу різноманітних рідин [21].

Таблиця 2.5

Матриця порівняння матеріалів за ціною

		X1	X1	X1	X1	X1	K	W
		2197	1190	1250	2920	2440		
X1	2197	=	>	>	<	<	2,45	0,52
X1	1190	<	=	<	<	<		
X1	1250	<	>	=	<	<		
X1	2920	>	>	>	=	>		
X1	2440	>	>	>	<	=		

Різнманітний вибір матеріалів за ціною приваблює більше клієнтів, та дає більший вибір [21].

Чим більша міцність на статичний тим більше навантаження меблі можуть витримувати, також це запобігає прогинанням та деформаціям.

Таблиця 2.6

Матриця порівняння матеріалів за міцністю на статичний згин

		X1	X1	X1	X1	X1	K	W
		25	30	87	20	70		
X1	25	=	<	<	>	<	4,35	0,7
X1	30	>	=	<	>	<		
X1	87	>	>	=	>	>		
X1	20	<	<	<	=	<		
X1	70	>	>	<	>	=		

Для визначення пріоритету кожного матеріалу для кожної характеристики (позначеного як P_{ij}) і пріоритету самого показника (позначеного як P_j), вводиться поняття потужності критерію L-го порядку, позначене як $P(L)$. Ця потужність обчислюється на основі розрахунків, проведених для кожного рядка, використовуючи відповідні формули (2.5–2.11) [21]:

Перша ітерація:

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

$$\sum P_i(1) = 1 + 0,50 + 0,50 + 1,50 + 0,50 = 4$$

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

$$\sum P_j(1) = 4 + 5,50 + 5,50 + 3 + 7 = 25,00$$

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

$$P_{ij}(1) = \frac{4}{25,00} = 0,16$$

$$P_i(1) = 0,16 + 0,22 + 0,22 + 0,12 + 0,28 = 1,00$$

Друга ітерація:

$$P_2 = 1,00 * 4 + 0,50 * 5,50 + 0,50 * 5,50 + 1,50 * 3 + 0,50 * 7 = 17,50$$

$$P_j(2) = \sum_{i=1}^n a_{ij}, \quad (2.8)$$

$$\sum P_j(2) = 17,50 + 25 + 25 + 14 + 34 = 115,50$$

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

$$P_{ij}(1) = \frac{17,50}{115,50} = 0,15$$

$$P_{ij}(2) = 0,15 + 0,22 + 0,22 + 0,12 + 0,29 = 1,00$$

Третя ітерація:

$$P_3 = 1,00 * 17,50 + 0,50 * 25 + 0,50 * 25 + 1,50 * 14 + 0,50 * 34 = 80,50$$

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

$$\sum P_j(3) = 80,50 + 114,25 + 114,25 + 64,75 + 156,25 = 530,00$$

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

$$P_{ij}(3) = \frac{80,50}{530,00} = 0,15$$

$$P_{ij}(3) = 0,15 + 0,22 + 0,22 + 0,12 + 0,29 = 1,00$$

Результати розрахунків занесено в табл. 2.7.

Аналогічним чином розраховано та заповнено табл. 2.8–2.11.

Таблиця 2.7

Матриця суміжності для порівняння матеріалів за класом якості

		X1	X2	X3	X4	X5	К	W	P _{i1}	P _{i1} *	P _{i2}	P _{i2} *	P _{i3}	P _{i3} *
		585	650	650	575	1300								
X1	585	1,00	0,50	0,50	1,50	0,50	2,26	0,5	4,00	0,16	17,50	0,15	80,50	0,15
X2	650	1,50	1,00	1,00	1,50	0,50			5,50	0,22	25,00	0,22	114,25	0,22
X3	650	1,50	1,00	1,00	1,50	0,50			5,50	0,22	25,00	0,22	114,25	0,22
X4	575	0,50	0,50	0,50	1,00	0,50			3,00	0,12	14,00	0,12	64,75	0,12
X5	1300	1,50	1,50	1,50	1,50	1,00			7,00	0,28	34,00	0,29	156,25	0,29
Σ									25,00	1,00	115,50	1,00	530,00	1,00

Таблиця 2.8

Матриця суміжності для порівняння матеріалів за товщиною

		X1	X2	X3	X4	X5	К	W	P _{i1}	P _{i1} *	P _{i2}	P _{i2} *	P _{i3}	P _{i3} *
		17,5	20	18	20	50								
X1	17,5	1,00	0,40	0,40	0,40	0,40	2,78	0,6	2,60	0,104	11,56	0,10	51,46	0,11
X2	20	1,60	1,00	1,60	1,00	0,40			5,60	0,224	24,40	0,22	106,16	0,22
X3	18	1,60	0,40	1,00	0,40	0,40			3,80	0,152	15,40	0,14	67,64	0,14
X4	20	1,60	1,00	1,60	1,00	0,40			5,60	0,224	24,40	0,22	106,16	0,22
X5	50	1,60	1,60	1,60	1,60	1,00			7,40	0,296	35,56	0,32	156,78	0,32
Σ									25,00	1,00	111,32	1,00	488,20	1,00

Таблиця 2.9

Матриця суміжності для порівняння матеріалів за щільністю

		X1	X2	X3	X4	X5	K	W	P _{i1}	P _{i1*}	P _{i2}	P _{i2*}	P _{i3}	P _{i3*}
		20	10	7	6,5	1,5								
X1	20	1,00	1,96	1,96	1,96	1,96	13,33	0,96	8,84	0,35	40,51	0,46	133,85	0,52
X2	10	0,04	1,00	1,96	1,96	1,96			6,92	0,28	25,38	0,29	70,59	0,28
X3	7	0,04	0,04	1,00	1,96	1,96			5,00	0,20	13,94	0,16	32,84	0,13
X4	6,5	0,04	0,04	0,04	1,00	1,96			3,08	0,12	6,18	0,07	13,52	0,05
X5	1,5	0,04	0,04	0,04	0,04	1,00			1,16	0,05	2,11	0,02	5,55	0,02
Σ									25,00	1,00	88,14	1,00	256,36	1,00

Таблиця 2.10

Матриця суміжності для порівняння матеріалів за межею міцності при статичному згині

		X1	X2	X3	X4	X5	K	W	P _{i1}	P _{i1*}	P _{i2}	P _{i2*}	P _{i3}	P _{i3*}
		2197	1190	1250	2920	2440								
X1	2197	1,00	1,52	1,52	0,48	0,48	2,45	0,52	5,00	0,20	21,76	0,19	97,96	0,19
X2	1190	0,48	1,00	0,48	0,48	0,48			2,92	0,12	13,52	0,12	61,84	0,12
X3	1250	0,48	1,52	1,00	0,48	0,48			3,96	0,16	17,10	0,15	77,76	0,15
X4	2920	1,52	1,52	1,52	1,00	1,52			7,08	0,28	34,32	0,30	155,71	0,30
X5	2440	1,52	1,52	1,52	0,48	1,00			6,04	0,24	27,50	0,24	123,57	0,24
Σ									25,00	1,00	114,18	1,00	516,84	1,00

Таблиця 2.11

Матриця суміжності для порівняння матеріалів за ціною

		X1	X2	X3	X4	X5	K	W	P _{i1}	P _{i1} *	P _{i2}	P _{i2} *	P _{i3}	P _{i3} *
		25	30	87	20	70								
X1	25	1,00	0,30	0,30	1,70	0,30	4,35	0,7	3,60	0,14	13,10	0,12	53,45	0,12
X2	30	1,70	1,00	0,30	1,70	0,30			5,00	0,20	19,12	0,18	76,00	0,18
X3	87	1,70	1,70	1,00	1,70	1,70			7,80	0,31	37,04	0,35	153,25	0,36
X4	20	0,30	0,30	0,30	1,00	0,30			2,20	0,09	9,04	0,09	37,95	0,09
X5	70	1,70	1,70	0,30	1,70	1,00			6,40	0,26	27,10	0,26	108,35	0,25
								Σ	25,00	1,00	105,40	1,00	429,00	1,00

Таблиця 2.12

Результати експертної оцінки пріоритетів показників

Кількість експертів	Клас якості			Товщина, мм			Щільність, кг/м ³			Межа міцності при статичному згині, Мпа			Ціна, грн/м ³		
	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	5	-1,71	2,94	5	-1,00	1,00	5	-0,86	0,73	3	0,00	0,00	3	0,1429	0,0204
2	3	0,29	0,08	5	-1,00	1,00	3	1,14	1,31	1	2,00	4,00	3	0,1429	0,0204
3	4	-0,71	0,51	4	0,00	0,00	5	-0,86	0,73	5	-2,00	4,00	4	-0,857	0,7347
4	4	-0,71	0,51	4	0,00	0,00	4	0,14	0,02	2	1,00	1,00	3	0,1429	0,0204
5	2	1,29	1,65	1	3,00	9,00	4	0,14	0,02	5	-2,00	4,00	3	0,1429	0,0204
6	4	-0,71	0,51	4	0,00	0,00	3	1,14	1,31	3	0,00	0,00	3	0,1429	0,0204
7	1	2,29	5,22	5	-1,00	1,00	5	-0,86	0,73	2	1,00	1,00	3	0,1429	0,0204
Середнє значення балу	3,29			4,00			4,14			3,00			3,14		
Середнє квадратичне відхилення	1,30			0,71			0,90			1,47			0,37		
Коефіцієнт варіації / 100%	0,40			0,18			0,22			0,49			0,12		
	$K_{експ-1}$	0,60		$K_{експ-2}$	0,82		$K_{експ-3}$	0,78		$K_{експ-4}$	0,51		$K_{експ-5}$	0,88	
Загальний коефіцієнт погодження експертів	0,72														

Середнє значення \bar{x}_{ij} та середнє квадратичне відхилення S_{ij} розраховуємо по кожній з відповідей за формулами (2.1, 2.2) [6]:

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

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

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

m – кількість експертів.

$$\bar{x}_{ij} = \frac{5 + 3 + 4 + 4 + 2 + 4 + 1}{7} = 3,29$$

$$S_{ij} = \pm \sqrt{\frac{2,94 + 0,08 + 0,51 + 0,51 + 1,65 + 0,51 + 5,22}{7 - 1}} = 1,30$$

Розраховуємо коефіцієнт варіації V_{ij} за формулою (2.3) [6]:

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

$$V_{ij} = \frac{1,30}{3,29} \cdot 100\% = 0,40$$

Загальний коефіцієнт погодження експертів визначаємо за формулами [21]:

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

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

де n – кількість характеристик в анкеті;

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

$$K_{Eij} = 1 - \frac{1,30}{3,29} = 0,60$$

$$K_E = \frac{0,60 + 0,82 + 0,78 + 0,51 + 0,88}{5} = 0,72$$

Якщо $0,5 \leq K_E \leq 1$, то думка експертів погоджена [21]:

Побудовано квадратну матрицю бінарних відношень (табл. 2.13).

Таблиця 2.13

Матриця бінарних відношень

		Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	K	W
		3,29	4,00	4,14	3,00	3,14		
Y1	3,29	=	<	<	>	>	1,38	0,26
Y2	4,00	>	=	<	>	>		
Y3	4,14	>	>	=	>	>		
Y4	3,00	<	<	<	=	<		
Y5	3,14	<	<	<	>	=		

Співвідношення між об'єктами виражені математичними символами «>», «=», «<».

Знаходимо, у скільки разів найкращий об'єкт відрізняється від найгіршого, використовуючи формулу (2.1) [21]:

$$K_j = \frac{4,00}{3,00} = 1,38$$

Далі знаходимо коефіцієнт ω_j , за формулою (2.2):

$$\omega_j = \left(\frac{1,38 - 1}{1,38 + 1} + \sqrt{\frac{0,05}{5}} \right) = 0,26$$

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

Замінюємо математичні символи «>», «=», «<» значеннями α_{ij} , і будуємо матрицю суміжності для порівняння показників (табл. 2.14).

Таблиця 2.14

Матриця суміжності для порівняння показників, що характеризують матеріали

		Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	K	W	P _{i1}	P _{i1*}	P _{i2}	P _{i2*}	
		3,29	4,00	4,14	3,00	3,14							
Y1	3,29	1,00	0,74	0,74	1,26	1,26	1,38	0,26	5,00	0,20	24,19	0,20	
Y2	4,00	1,26	1,00	0,74	1,26	1,26			5,52	0,22	26,92	0,22	
Y3	4,14	1,26	1,26	1,00	1,26	1,26			6,04	0,24	29,93	0,24	
Y4	3,00	0,74	0,74	0,74	1,00	0,74			3,96	0,16	19,53	0,16	
Y5	3,14	0,74	0,74	0,74	1,26	1,00			4,48	0,18	21,72	0,18	
									Σ	25,00	1,00	122,30	1,00

Розрахунок аналогічним чином з попередніми таблицями за формулами (2.5–2.11).

На основі наявних результатів побудовано загальну матрицю для обчислення комплексного пріоритету матеріалу (табл. 2.15).

Таблиця 2.15

Підсумкова матриця

Матеріал	Пріоритет матеріалу по одиничних показниках					Пріоритет показника		Комплексний пріоритет матеріалу
	1	2	3	4	5	номер	значення	
ДСП	0,15	0,11	0,52	0,19	0,12	1	0,20	0,23
Фанера	0,22	0,22	0,28	0,12	0,18	3	0,22	0,21
Деревина дуба	0,22	0,14	0,13	0,15	0,36	4	0,24	0,19
MDF	0,12	0,22	0,05	0,30	0,09	5	0,16	0,15
HPL	0,29	0,32	0,02	0,24	0,25	2	0,18	0,22

З табл. 2.15 (Підсумкова матриця) бачимо, що найбільший пріоритет має матеріал ДСП вартістю 2197 за м². Саме цей матеріал слід запропонувати на підприємстві для виготовлення кухонних шаф [21].

2.3. Рішення багатокритеріальної задачі методом аналізу ієрархій

Метод аналізу ієрархій (МАІ) – це математичний інструмент, розроблений американським вченим Томасом Сааті в 70-80 роках минулого століття. Цей метод дозволяє порівнювати та ранжувати об’єкти, які мають різні набори критеріїв та показників, які можуть бути як кількісними, так і якісними [21].

МАІ допомагає вирішувати складні проблеми прийняття рішень з системним підходом. Він не намагається диктувати “правильне” рішення, але надає можливість знайти такий варіант (альтернативу), який найкраще відповідає розумінню суті проблеми та вимогам до її вирішення шляхом взаємодії та обговорення [21].

Для вирішення завдання необхідні наступні дані:

Мета: вибір кращого матеріалу.

Кількість альтернатив – 5.

Кількість критеріїв – 5.

Позначено альтернативи та критерії скороченими назвами:

№	Критерії
Кр1	Базова щільність
Кр2	Статична твердість
Кр3	Вологопоглинання
Кр4	Ціна
Кр5	Міцність на статичний згин

№	Альтернативи
A1	ДСП
A2	Фанера
A3	Деревина дуба
A4	MDF
A5	HPL

Для вирішення завдання використовуємо шкалу Сааті (табл. 2.15), та побудовою матриці парних порівнянь (МПП) [21].

Побудовано та заповнено матрицю (МПП) (табл. 3.1) критеріїв відносно мети, процес вибору найкращого матеріалу ґрунтується на особистому аналізі того, як характеристики впливають на досягнення конкретної мети.

Розрахунок значення середнього геометричного значення елементів матриці виконується за формулою (2.19) [21]:

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

де i – номер рядка матриці;

s – кількість елементів в i -му рядку матриці;

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

$$G_i = (1 * 0,83 * 0,63 * 0,56 * 0,71)^{\frac{1}{5}} = 0,730$$

Потім обчислюємо значення ЛПр для першого рядка за формулою (2.20) [21]:

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

$$\text{ЛПр}_1 = \frac{(1 * 0,83 * 0,63 * 0,56 * 0,71)^{\frac{1}{5}}}{(0,730 + 0,875 + 1,167 + 1,313 + 1,021)} = 0,143$$

Далі, для перевірки однозначності та узгодженості експертних оцінок, тобто чисел в матрицях парних порівнянь, використовуються дві важливі характеристики - індекс узгодженості (CI) і відношення узгодженості (CR), які розраховуються за формулами (2.23, 2.24) [21]:

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

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

де n – розмір матриці;

P_n – індекс узгодженості (табл. 2.17) [21] 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} [21].

$$L_{am} = (1 + 0,83 + 0,63 + 0,56 + 0,71) * 0,143 + (1,20 + 1 + 0,75 + 0,67 + 0,86) * 0,171 + (1,60 + 1,33 + 1 + 0,89 + 1,14) * 0,229 + (1,80 + 1,50 + 1,13 + 1 + 1,29) * 0,257 + (1,40 + 1,17 + 0,88 + 0,78 + 1) * 0,200 = 5,107 \quad (2.21)$$

$$CI = \frac{5,107 - 5}{5 - 1} = 0,108$$

$$CR = \frac{0,108}{1,12} = 0,097$$

Результати розрахунків занесено в табл. 3.1

Аналогічним чином розраховано та заповнено табл. 2.16–2.21.

Таблиця 2.16

Матриця МПП критеріїв відносно мети

	Назва	Кр1	Кр2	Кр3	Кр4	Кр5	G	ЛПр1
Кр1	Базова щільність	1	0,83	0,63	0,56	0,71	0,730	0,143
Кр2	Статична тввердість	1,20	1	0,75	0,67	0,86	0,875	0,171
Кр3	Вологопоглинання	1,60	1,33	1	0,89	1,14	1,167	0,229
Кр4	Ціна	1,80	1,50	1,13	1	1,29	1,313	0,257
Кр5	Міцність на статичний згин	1,40	1,17	0,88	0,78	1	1,021	0,200
Сума							5,107	1,00

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

Найбільше значення $ЛПр=0,229$

Таблиця 2.17

Матриця МПП альтернатив по відношенню до критерію «щільність»

	Назва	A1	A2	A3	A4	A5	G	ЛПр2
A1	ДСП	1	1,50	0,75	0,86	0,67	0,915	0,176
A2	Фанера	0,67	1	0,50	0,57	0,44	0,610	0,118
A3	Деревина дуба	1,33	2,00	1	1,14	0,89	1,221	0,235
A4	MDF	1,17	1,75	0,88	1	0,78	1,068	0,206
A5	HPL	1,50	2,25	1,13	1,29	1	1,373	0,265
Сума							5,187	1,00

Показники: $N=5$; $\lambda_{\max}=5,575$; $CI=0,189$; $CR=0,169$

Найбільше значення $ЛПр=0,265$

Таблиця 2.18

Матриця МПП альтернатив по відношенню до критерію «статична твердість»

	Назва	A1	A2	A3	A4	A5	G	ЛПр3
A1	ДСП	1	0,57	0,80	0,67	0,44	0,670	0,129
A2	Фанера	1,75	1	1,40	1,17	0,78	1,173	0,226
A3	Деревина дуба	1,25	0,71	1	0,83	0,56	0,838	0,161
A4	MDF	1,50	0,86	1,20	1	0,67	1,006	0,194
A5	HPL	2,25	1,29	1,80	1,50	1	1,508	0,290
Сума							5,196	1,00

Показники: $N=5$; $\lambda_{\max}=5,814$; $CI=0,203$; $CR=0,182$

Найбільше значення ЛПр=0,290

Таблиця 2.19

**Матриця МПП альтернатив по відношенню до критерію
«вологопоглинання»**

	Назва	A1	A2	A3	A4	A5	G	ЛПр4
A1	ДСП	1	0,80	0,67	0,57	0,44	0,670	0,129
A2	Фанера	1,25	1	0,83	0,71	0,56	0,838	0,161
A3	Деревина дуба	1,50	1,20	1	0,86	0,67	1,006	0,194
A4	MDF	1,75	1,40	1,17	1	0,78	1,173	0,226
A5	HPL	2,25	1,80	1,50	1,29	1	1,508	0,290
Сума							5,196	1,00

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

Найбільше значення ЛПр=0,290

Таблиця 2.20

Матриця МПП альтернатив по відношенню до критерію «ціна»

	Назва	A1	A2	A3	A4	A5	G	ЛПр5
A1	ДСП	1	0,78	0,88	1,75	1,17	1,068	0,206
A2	Фанера	1,29	1	1,13	2,25	1,50	1,373	0,265
A3	Деревина дуба	1,14	0,89	1	2,00	1,33	1,221	0,235
A4	MDF	0,57	0,44	0,50	1	0,67	0,610	0,118
A5	HPL	0,86	0,67	0,75	1,50	1	0,915	0,176
Сума							5,187	1,00

Показники: N=5; Lam=5,575; CI=0,189; CR=0,169

Найбільше значення ЛПр=0,265

Таблиця 2.21

Матриця МПП альтернатив по відношенню до критерію «міцність на статичний згин»

	Назва	A1	A2	A3	A4	A5	G	ЛПр6
A1	Сосна	1	0,83	0,56	1,25	0,71	0,838	0,161
A2	Сосна	1,20	1	0,67	1,50	0,86	1,006	0,194
A3	Ялина	1,80	1,50	1	2,25	1,29	1,508	0,290
A4	Ялина	0,80	0,67	0,44	1	0,57	0,670	0,129
A5	Ялиця	1,40	1,17	0,78	1,75	1	1,173	0,226
Сума							5,196	1,00

Показники: $N=5$; $\lambda_{\max}=5,814$; $CI=0,203$; $CR=0,182$

Найбільше значення ЛПр=0,290

Далі будемо матрицю пріоритетів критеріїв відносно мети та альтернатив відносно кожного з критеріїв (табл. 2.22).

Таблиця 2.22

Матриця пріоритетів критеріїв відносно мети та альтернатив відносно кожного з критеріїв

	Назва	ПрКр	A1	A2	A3	A4	A5
			ДСП	Фанера	Деревина дуба	MDF	HPL
Кр1	Базова щільність	0,143	0,176	0,118	0,235	0,206	0,265
Кр2	Статична твердість	0,171	0,129	0,226	0,161	0,194	0,290
Кр3	Вологопоглинання	0,229	0,129	0,161	0,194	0,226	0,290
Кр4	Ціна	0,257	0,206	0,265	0,235	0,118	0,176
Кр5	Міцність на статичний згин	0,200	0,161	0,194	0,290	0,129	0,226

Далі, для розрахунку значення глобального пріоритету ГлПр, необхідно підсумувати добутки значень стовпця “ПрКр” (табл. 4.7) на значення у стовпці “А1” для кожного рядка. Аналогічно обчислюють значення ГлПр для усіх інших рядків. [21].

$$\text{ГлПр}_1 = (0,143 * 0,176) + (0,171 * 0,129) + (0,229 * 0,129) + (0,257 * 0,206) + (0,200 * 0,161) = 0,162 \quad (2.22)$$

Отримані дані заносимо у табл. 2.23 глобальні пріоритети альтернатив

Таблиця 2.23

Глобальні пріоритети альтернатив

	Назва	ГлПр
1	ДСП	0,162
2	Фанера	0,199
3	Деревина дуба	0,224
4	MDF	0,170
5	HPL	0,244

З табл. 2.23 видно, що Альтернатива А5 (MDF панель Fundermax вартістю 2440 за м²) має найбільше значення глобального пріоритету – 0,244 і є найкращим варіантом для досягнення поставленої мети [21].

Отже, у можна сказати, що за першим методом, методом експертних оцінок, найбільш пріоритетним матеріалом є ДСП. За другим методом, методом ієрархій, пріоритетним матеріалом стала HPL панель. Через те, що за цими двома методами було визначено два різні матеріали, потрібно проводити експериментальні дослідження, після яких і буде визначено більш пріоритетний матеріал.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИКА ТА ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Суть експериментального дослідження

У сучасному меблевому виробництві важливу роль відіграє правильний вибір матеріалів та конструкційних рішень для створення надійних, довговічних та функціональних меблів. Полиці є одним з ключових складових меблевих конструкцій, які піддаються значним навантаженням в експлуатації, особливо в умовах інтенсивного використання в домашніх, офісних чи комерційних приміщеннях. Недостатня міцність полиць або невідповідність їхнього матеріалу до розрахункових навантажень може призвести до їхньої деформації, руйнування та навіть до пошкодження всієї меблевої конструкції [22].

З огляду на ці вимоги, основним аспектом є дослідження та вибір матеріалів для полиць, що дозволяють досягти оптимального співвідношення між міцністю, стійкістю до навантаження та економічністю. Випробування полиць на навантаження допоможе встановити їхні механічні властивості, зокрема граничну міцність, стійкість до прогину та довговічність. Такі дослідження є передумовою для формування рекомендацій щодо вибору матеріалів, конструкційних параметрів та типів кріплення, які дозволять підвищити безпеку та довговічність [23].

Вибір матеріалів для виготовлення меблів та конструкцій потребує врахування їх міцності та здатності витримувати довготривалі навантаження. Дерев'яні полиці широко використовуються у побуті та промисловості завдяки їх доступності та естетичним властивостям. Однак, для забезпечення безпеки експлуатації, необхідно розуміти поведінку деревини під навантаженням протягом тривалого часу, зокрема її здатність витримувати постійний тиск без значного прогину або руйнування. Обраними матеріалами є ДСП деревоволокниста плита середньої щільності (MDF) та HPL [23].

Наш експеримент дозволить оцінити міцність дерев'яної полиці та вивчити її прогин та деформації при рівномірному навантаженні в 50 кг при впливі різних середовищ, що наближено відповідає умовам її реального використання. Основна суть дослідження є визначення впливу навантаження і навколишнього середовища на дерев'яні полиці середніх розмірів 800 мм x 300 мм x 16 мм при постійному навантаженні в 50 кг, яке триває протягом двох тижнів в різних середовищах, а саме в сухому приміщенні та приміщенні з підвищеною вологістю, а також визначення модулю пружності та межі міцності для вибраних матеріалів. Отримані результати дозволяють зробити висновки про надійність і довговічність таких полиць у побутових умовах, а також вибрати оптимальні матеріали та конструкції для майбутніх виробів. Очікується, що тривале навантаження призведе до певного прогину полиці, який залежить від її геометричних параметрів і властивостей матеріалу. Даний експеримент дозволяє встановити максимальний прогин та оцінити, чи залишається полиця придатною для використання після довготривалого навантаження [24].

3.2. Методика та результати визначення пружності матеріалу

Експеримент проводився з чотирма групами зразків полиць розмірами 800 x 300 x 16 мм, які виготовлені з двох різних матеріалів: два зразки з деревино-стружкової плити (ДСП) і два зразки з деревоволокнистої плити середньої щільності (MDF). Кожен тип матеріалу піддавався випробуванню в двох різних середовищах: у сухому приміщенні та в умовах підвищеної вологості. Це дозволяє дослідити, як зміна вологості повітря впливає на довготривалу міцність і здатність матеріалів витримувати постійне навантаження. Для кожного зразка на полицю розміщували сумарне навантаження у 50 кг [50].

Орієнтовний вантаж визначався за формулами:

$$W = \frac{8 * E * I}{L^3} \quad , \quad (3.1)$$

де W – максимально рівномірно розподілене навантаження, Н;

E – модуль пружності;

I – момент інерції перерізу, см^2 ;

L – довжина зразка, мм.

$$W = \frac{8 \cdot 2500 \cdot 102,4}{80^3} = 4 \text{ мм}$$

Момент інерції визначається за формулою:

$$I = \frac{b \cdot t^3}{12} \quad (3.2)$$

де b – ширина зразка, мм;

t – товщина зразка, мм.

$$I = \frac{300 \cdot 16^3}{12} = 102,4 \text{ см}^2$$

Отже, в реальних умовах експлуатації обмеження на прогин, 4 мм знижує допустиме навантаження до більш практичного рівня – близько 40–50 кг.

Зразки залишалися під постійним навантаженням протягом двох тижнів, після чого вимірювали максимальний прогин у центральній частині кожної полиці (рис. 3.1).



Рис. 3.1. Схема навантаження зразків [25]

Зразки в сухому середовищі перебували у стандартних умовах з низьким рівнем вологості (близько 40–50 %), тоді як зразки в умовах підвищеної вологості знаходилися у приміщенні з рівнем вологості понад 70%. Очікується, що сухе середовище мінімізує вплив вологи на матеріал, зберігаючи його початкову міцність і структурну цілісність. Однак, зважаючи на властивості ДСП і деревоволокнистої плити середньої щільності (MDF),

слід очікувати певний прогин через навантаження та поступове накопичення деформації (ефект повзучості), але цей прогин має бути в межах допустимих норм для даного навантаження. Висока вологість може значно вплинути на властивості як ДСП, так і деревоволокнистої плити середньої щільності (MDF), оскільки обидва матеріали схильні до вбирання вологи. ДСП, зазвичай, вбирає вологу нерівномірно, що може призвести до набрякання матеріалу, втрати міцності та суттєвого збільшення прогину. В результаті підвищеної вологості зразки можуть демонструвати більший прогин порівняно з тими, що знаходилися в сухих умовах. Також можлива втрата структурної цілісності, особливо для деревоволокнистої плити середньої щільності (MDF), що зробить його менш придатним для використання у вологих приміщеннях. Після закінчення двотижневого періоду кожен зразок піддавався вимірюванню прогину в центрі для визначення максимальної величини деформації (рис. 3.3). Крім того, візуально оцінювалася поверхнева структура кожного зразка на предмет набрякання чи тріщин, які могли утворитися внаслідок тривалого впливу навантаження у вологих умовах. Дані вимірювань було занесено у табл. 3.1 та показано на діаграмі (рис. 3.2), для порівняння показників зразків у сухому та вологому середовищі [25].

Таблиця 3.1

Навантаження зразків перший етап

Час експозиції, діб	Прогин зразків мм			
	Низька вологість		Підвищена вологість	
	MDF	ДСП	MDF	ДСП
1	8,8	8,65	8,3	11,5
2	9	9,11	8,59	12,05
3	9,2	9,57	8,88	12,61
4	9,45	10,15	9,18	13,16
5	9,62	10,4	9,25	13,3
6	9,85	10,58	9,41	13,54
7	10,08	10,7	9,5	13,68
8	10,2	10,8	9,55	13,75
9	10,2	10,98	9,57	13,75
10	10,2	11,11	9,59	13,75
11	10,21	11,2	9,61	13,79

Продовження табл. 3.1

12	10,26	11,32	9,64	13,94
13	10,3	11,41	9,67	14,1
14	10,35	11,5	9,7	14,25

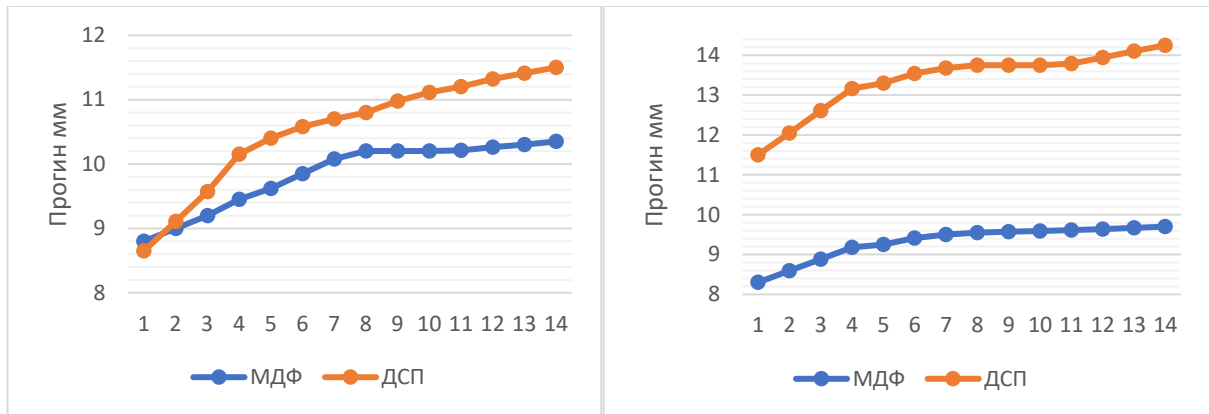


Рис. 3.2. Діаграма навантаження зразків першого етапу: а – сухому середовищі; б – вологому середовищі.

Даний експеримент дозволяє зробити висновки про вплив вологості на тривалу міцність ДСП і деревоволокнистої плити середньої щільності (MDF) при постійному навантаженні, що допоможе обрати оптимальні матеріали для умов різної вологості. Отримані результати можуть служити рекомендаціями для виробників меблів та конструкцій з деревних матеріалів, особливо для тих, що працюють в умовах з високою вологістю.



Рис. 3.3. Експериментальні зразки під час визначення пружності

Після закінчення двотижневого періоду навантаження на кожен зразок було знято, і розпочалася фаза спостереження за процесом відновлення

деформації. Це дозволило визначити, наскільки ДСП і деревоволокниста плита середньої щільності (MDF) здатні повертатися до початкової форми після тривалого впливу ваги у різних умовах вологості. Після зняття навантаження вимірювання прогину проводилося через певні інтервали часу та заноситься в таблицю (табл. 3.2) та були позначені на діаграмі (рис. 3.4), щоб відстежити динаміку відновлення зразків. Зібрані дані про залишковий прогин після кожного проміжку часу дозволять оцінити пружність матеріалів у різних умовах [26].

Таблиця 3.2

Відновлення зразків перший етап

Час експозиції, діб	Відновлення зразків, мм			
	низька вологість		підвищена вологість	
	MDF	ДСП	MDF	ДСП
1	3,15	3,65	2,25	4,35
2	3,03	3,57	2,22	4,3
3	2,95	3,45	2,2	4,15
4	2,89	3,34	2,19	4,08
5	2,77	3,15	2,17	3,95
6	2,75	3,13	2,15	3,9
7	2,75	3,1	2,15	3,85

Отримані результати допоможуть зрозуміти, наскільки ДСП та деревоволокниста плита середньої щільності (MDF) здатні до відновлення після тривалого навантаження і як вологість впливає на цей процес. Важливо зазначити, що залишковий прогин після зняття вантажу буде особливо важливим показником, оскільки він демонструє, наскільки структура матеріалу змінилася на постійній основі. Очікується, що зразки, які перебували в сухих умовах, матимуть кращу здатність до відновлення після зняття навантаження. ДСП та деревоволокниста плита середньої щільності (MDF), що не зазнали додаткового впливу вологи, повинні продемонструвати пружну деформацію, яка частково або повністю зникає після зняття вантажу. Проте навіть у сухих умовах матеріали можуть проявити певну залишкову деформацію через повзучість, яка виникла протягом двох тижнів.

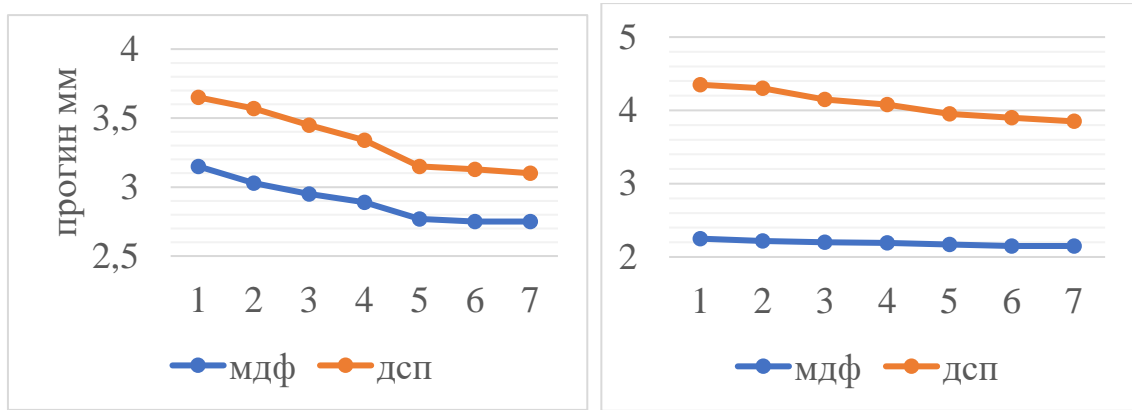


Рис. 3.4. Діаграма відновлення зразків першого етапу: а – сухому середовищі; б – вологому середовищі.

У приміщенні з підвищеною вологістю матеріали мали вищий ризик вбирання вологи, що може знизити їхню здатність до відновлення після зняття навантаження. Для ДСП та деревоволокнистої плити середньої щільності (MDF), що перебували у вологих умовах, можливий значний залишковий прогин, оскільки волога могла послабити внутрішні зв'язки між деревними частками або волокнами, погіршуючи структурну цілісність [25].

Ця частина експерименту дозволяє оцінити здатність матеріалів відновлювати форму після деформації, що є фактором при виборі деревних матеріалів для меблів та конструкцій, особливо тих, що піддаються періодичним навантаженням. Виявлена різниця у відновлюваності зразків у сухих і вологих умовах може бути корисною для розробників, які планують використовувати ДСП та MDF у середовищі з різним рівнем вологості.

Після першого етапу, на якому було визначено початковий прогин та здатність зразків відновлюватися після зняття навантаження, усі зразки було піддано повторному навантаженню (рис. 3.5). Цей етап мав на меті дослідити, як попереднє навантаження та, особливо, перебування у середовищі з різною вологістю вплинули на здатність матеріалів витримувати вагу під час повторного навантаження. Після завершення першого етапу, коли всі зразки пройшли двотижневе навантаження і подальше відновлення, було проведено початкові вимірювання прогину кожного зразка. Також були зафіксовані

залишкові деформації, які не відновилися після першого навантаження, що дозволило зрозуміти, чи є якісь постійні зміни у структурі матеріалів.



Рис. 3.5. Експериментальні зразки під час другого етапу навантаження

Зважаючи на накопичення залишкової деформації після першого навантаження, можливе невелике збільшення прогину під час другого навантаження. Особливо це може бути помітним для ДСП, оскільки цей матеріал менш щільний порівняно з деревоволокнистою плитою середньої щільності (MDF) і може демонструвати дещо більшу схильність до накопичення деформацій. Підвищена вологість могла спричинити набухання та ослаблення внутрішніх зв'язків як у ДСП, так і в деревоволокнистій плиті середньої щільності (MDF). У результаті, під час повторного навантаження такі зразки можуть показати значно більший прогин, оскільки їхня структурна цілісність могла бути порушена під час попереднього циклу. деревоволокниста плита середньої щільності (MDF), попри свою щільність, дуже чутливий до вологи, яка послаблює волокна. Під час повторного навантаження деревоволокниста плита середньої щільності (MDF) у вологих умовах може показати істотно більший прогин і навіть втрату своєї початкової форми після навантаження, що вказує на обмежену придатність цього матеріалу для умов з високою вологістю [27].

Результати заносились в табл. 3.3 та були позначені на діаграмі (рис. 3.6).

Таблиця 3.3

Навантаження зразків другий етап

Прогин зразків мм				
Час експозиції, діб	Низька вологість		Підвищена вологість	
	MDF	ДСП	MDF	ДСП
1	9,4	9,65	8,45	13,55
2	9,6	9,96	8,68	13,81
3	9,8	10,27	8,91	14,07
4	10,05	10,57	9,14	14,33
5	10,12	10,65	9,2	14,47
6	10,21	10,73	9,2	14,56
7	10,3	10,78	9,2	14,65
8	10,35	10,8	9,2	14,7
9	10,37	10,89	9,2	14,7
10	10,39	10,95	9,2	14,7
11	10,4	11	9,21	14,72
12	10,41	11,06	9,23	14,78
13	10,41	11,11	9,25	14,84
14	10,42	11,16	9,27	14,9

Результати другого етапу надають важливу інформацію про поведінку ДСП та MDF під повторним навантаженням, зокрема про їхню здатність витримувати багаторазові цикли навантаження в умовах різної вологості. Дані допоможуть оцінити доцільність використання цих матеріалів у середовищах з підвищеною вологістю або для конструкцій, які зазнають періодичного навантаження, як-от полиці або меблеві поверхні (рис. 3.6).

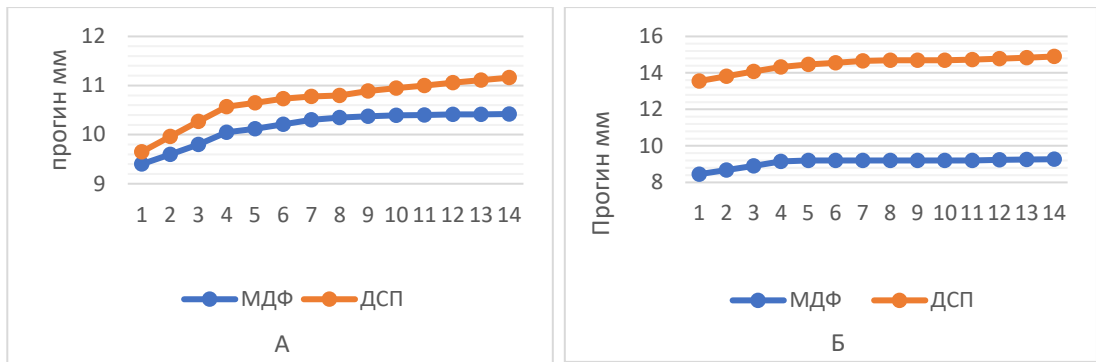


Рис. 3.6. Діаграма навантаження зразків другого етапу: а – сухому середовищі; б – вологому середовищі.

Після завершення другого етапу навантаження, під час якого зразки ДСП і деревоволокнистої плити середньої щільності (МДФ) перебували під постійним навантаженням протягом 14 днів, вантаж було знято. Розпочався етап спостереження за відновленням зразків, що дозволило оцінити їхню здатність до пружної деформації після багаторазового навантаження та вплив умов навколишнього середовища на їхні механічні властивості. Одразу після зняття вантажу вимірювався початковий прогин кожного зразка. Це значення фіксувалося як залишкова деформація, яка не зникла відразу після зняття навантаження [29].

Зразки спостерігалися протягом певного періоду часу, щоб оцінити швидкість і масштаб відновлення. Вимірювання проводилися через одну добу, щоб повністю відстежити динаміку відновлення. Прогини фіксувалися для кожного зразка [30]. Дані записувалися у таблицю для порівняння з прогином після першого навантаження. Зразки з сухого середовища і з підвищеною вологістю порівнювалися для визначення, як вологості вплинула на здатність матеріалів до відновлення після багаторазового навантаження (табл. 3.4).

Таблиця 3.4

Відновлення зразків другий етап

Відновлення зразків мм				
Час експозиції, діб	Низька вологість		Підвищена вологість	
	MDF	ДСП	MDF	ДСП
1	5,41	4,7	4,1	6,17
2	4,48	4,63	3,47	5,79

Продовження табл. 3.4

3	3,55	4,55	2,85	5,4
4	3,38	4,53	2,63	5,28
5	3,2	4,5	2,4	5,15
6	3,13	3,83	2,4	5,13
7	3,05	3,15	2,4	5,1

Можлива залишкова деформація, яка виникає через накопичення пластичних змін після багаторазового навантаження. Зразки можуть не повертатися повністю до початкової форми, але ступінь цієї деформації буде менш вираженим у порівнянні з зразками з вологого середовища (рис. 3.7).

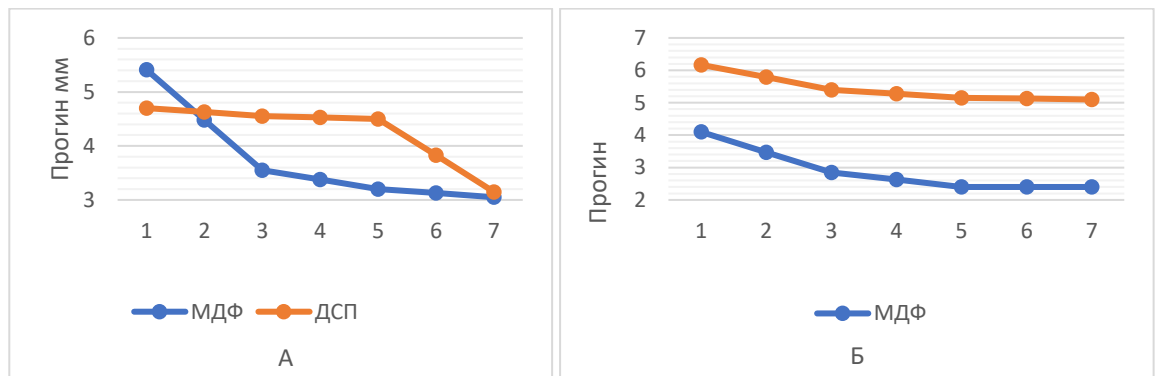


Рис. 3.7. Діаграма відновлення зразків другого етапу: а – сухому середовищі; б – вологому середовищі.

В ході експерименту було помічено, що з часом стріла прогину на зразках зменшується. Можна стверджувати, що час протягом якого навантаження знімається дозволяє матеріалу частково або повністю відновитися. Підвищена стійкість обумовлюється тим, що відбувається перерозподіл молекулярної структури під час навантаження. Це явище сприяє більш рівномірному розподілу внутрішніх напруг під час наступних навантажень [31].

Отримані результати свідчать про об'єктивні дані щодо стійкості ДСП та MDF до навантаження. Порівнюючи показники можна раціонально підібрати саме той матеріал згідно з призначенням виробу, який забезпечуватиме його надійність і довговічність в умовах інтенсивної експлуатації.

3.3. Методика та результати визначення міцності матеріалу

Визначення межі міцності матеріалу та модуля пружності є критично важливими для меблевої промисловості, оскільки ці механічні властивості безпосередньо впливають на надійність, безпеку та довговічність виробів. Меблі піддаються різним видам навантажень, починаючи від статичних) і закінчуючи динамічними. Механічні характеристики матеріалів визначають здатність меблів витримувати такі навантаження без деформацій, пошкоджень або руйнування. Варто було провести дослідження цих показників для обраних матеріалів [32].

Межа міцності матеріалу, яка вказує на максимальне напруження, що може бути витримане матеріалом до руйнування, є важливим показником для оцінки граничних умов експлуатації меблевого виробу. Цей параметр дозволяє зрозуміти, яке навантаження може витримати виріб до початку незворотних пошкоджень. Для виробів, що мають витримувати вагу користувача, як-от стільці, ліжка чи столи, межа міцності матеріалів, з яких вони виготовлені, повинна бути значно вищою за очікувані навантаження. Це забезпечує запас міцності, що знижує ризик поломки меблів у процесі експлуатації та підвищує їхню надійність. Модуль пружності, або модуль Юнга, характеризує здатність матеріалу опиратися пружній деформації. Для меблевих виробів, особливо тих, які використовуються для підтримки ваги, цей параметр є визначальним, адже він описує жорсткість матеріалу. Матеріали з високим модулем пружності менше деформуються під навантаженням, що означає, що виріб буде стійкішим і збережеться його форма навіть при тривалому навантаженні. Наприклад, у конструкціях стільців, столів або каркасів диванів вибір матеріалів з високим модулем пружності дозволяє забезпечити стійкість виробу до вигину та деформації, що особливо важливо для підтримки комфорту та безпеки користувачів [33].

Важливість цих характеристик також зумовлена різноманітністю матеріалів, які використовуються у меблевій промисловості, від традиційних деревних матеріалів до сучасних композитів і деревопластиків. Кожен з цих

матеріалів має свої особливості, і вибір матеріалу повинен враховувати, як його механічні властивості вплинуть на готовий виріб. Наприклад, деревостружкові плити, які часто використовуються в меблевому виробництві, мають менший модуль пружності та межу міцності порівняно з MDF або деревоволокнистою плитою середньої щільності (MDF). Розуміння цих параметрів дозволяє конструкторам і технологам приймати обґрунтовані рішення щодо комбінування матеріалів для досягнення оптимальної жорсткості та міцності виробу. Вимірювання межі міцності та модуля пружності забезпечує не тільки безпеку і комфорт користувачів, але й дозволяє створювати більш економічно ефективні та довговічні меблі. Виробники можуть оптимізувати конструкцію, використовуючи матеріали з достатньо високою міцністю та пружністю, щоб уникнути надмірних витрат на дорогі матеріали без шкоди для якості [34].

Визначають середній модуль пружності під час плоского згинання і границю міцності при згинанні навантаженням, прикладеним до центру зразка на двох опорних точках. Модуль пружності при згинанні обчислюють з урахуванням лінійного діапазону діаграми "навантаження-прогин" (рис. 3.9). Це обчислене значення вказує на плоский, а не на справжній модуль, оскільки метод містить у собі як розтягнення, так і згинання. Границю міцності при згинанні зразка обчислюють шляхом визначення співвідношення згинального моменту M за руйнівного навантаження F_{\max} до моменту опору його повного поперечного перерізу [35].

Випробувальний пристрій складається з таких частин: Дві паралельні циліндричні опори, які можна переміщувати у горизонтальній площині, довжина яких перевищує ширину зразка. Діаметр циліндричних опор повинен дорівнювати $15 \pm 0,5$ мм. Вони регулюють відстань між опорами. Циліндрична навантажувальна головка такої самої довжини і з діаметром $30 \pm 0,5$ мм, розташована паралельно опорам на однаковій відстані від них.

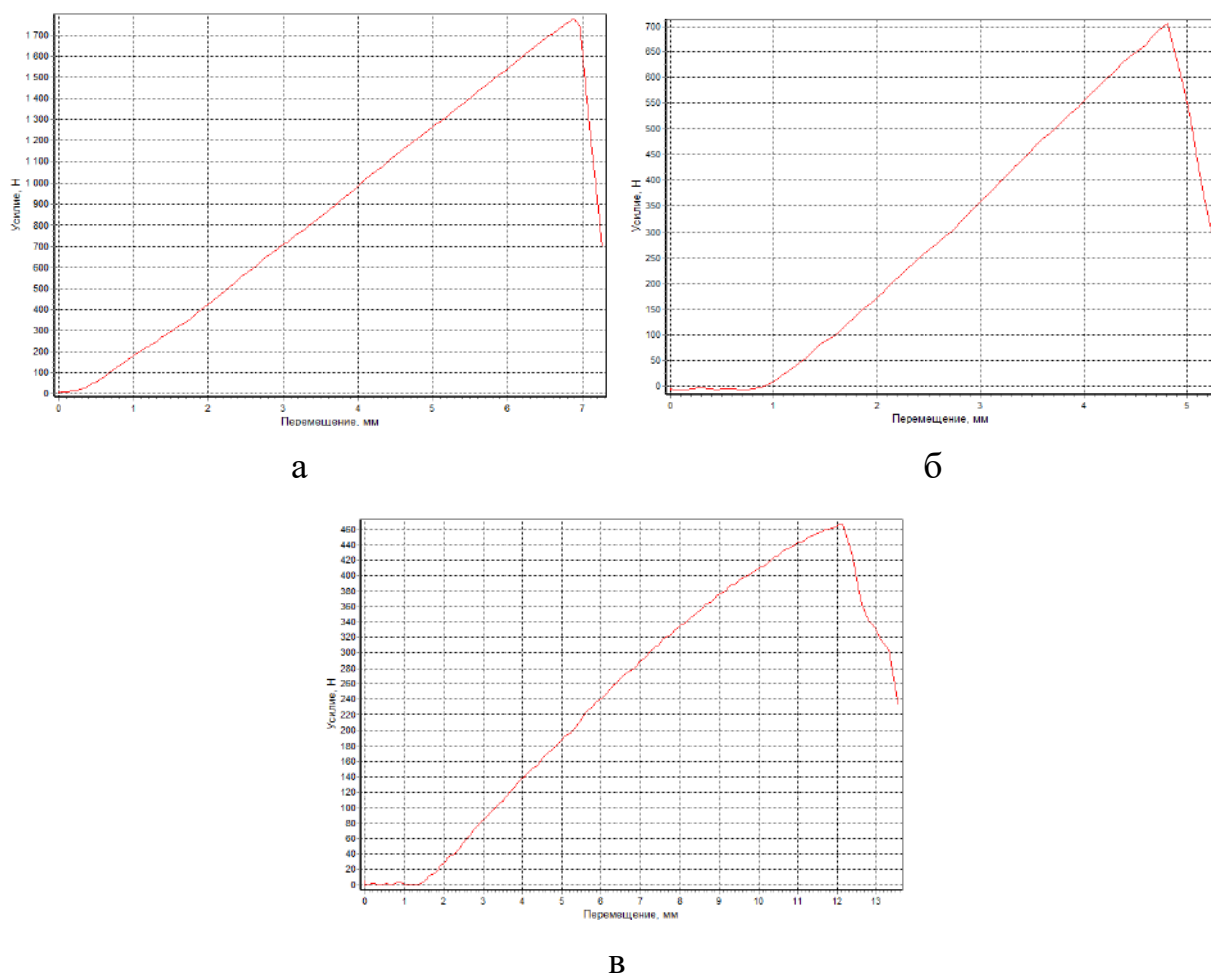


Рис. 3.9. Діаграма навантаження-прогину матеріалів: а – НРЛ; б – ДСП;
в – MDF.

Випробувальний пристрій, придатний для вимірювання відхилу випробного зразка від середини відстані між опорами з точністю до 0,1 мм та забезпечує вимірювання зразка з похибкою не більше ніж 1 % вимірювального значення (рис. 3.10) [34].



Рис. 3.10. Випробувальний пристрій

Зразки виготовляють у формі прямокутного бруска з такими розмірами: ширина b має бути 50 ± 1 мм.

Довжина l_2 повинна відповідати 20-кратній номінальній товщині плюс 50 мм, при цьому максимальна довжина зразка становить 1050 мм, а мінімальна – 150 мм. Якщо під час визначення міцності при згинанні виникає значний прогин зразка без його руйнування, відстань між опорами слід зменшити. Це випробування потребує вказівки нової відстані між опорами у звіті, і в такому випадку слід використовувати нові зразки. Зразки не повинні мати дефектів, які можуть знизити їх міцність. Ширину і товщину кожного зразка вимірюють у таких місцях [34]:

товщину зразка – у точці перетину діагоналей;

ширину зразка – у середині зразка.

Регулюють відстань між центрами опор, що дорівнює 20-кратній товщині зразка з точністю 1 мм, але не менше ніж 100 мм і не більше ніж 1000 мм. Вимірюють відстань між центрами опор з точністю до 0,5 мм. Зразок укладають на опори випробувального пристрою так, щоб поздовжня вісь зразка була перпендикулярна до опор. У разі визначення границі міцності при згинанні навантажують зразок з постійною швидкістю до руйнування. Проміжок часу від початку навантаження до руйнування не повинен становити 60 ± 30 с. Вимірюють відхил посередині випробного зразка (нижче головної частини навантаження) з точністю до 0,1 мм, його значення повинно не перевищувати 1% вимірюваного значення. Випробують зразки через рівні інтервали часу та реєструють максимальну навантажувальну силу під час руйнування з точністю до 1% вимірюваного значення. Контролювати потрібно у двох групах зразків, відповідно за двома напрямками плити, тобто в поздовжньому і поперечному напрямках. У кожній групі половина зразків повинна бути перевірена «верхнім боком» догори, а половина – «нижнім боком» донизу [35].

Для визначення модуля пружності при згинанні E_m (Н/мм²) для кожного зразка використовується формула [34]:

$$E_m = \frac{l_1^3 (F_2 - F_1)}{4bt^2(a_2 - a_1)} \quad (3.3)$$

де l – відстань між центрами опор, мм;

b – ширина зразка, мм;

t – товщина зразка, мм.

$F_2 - F_1$ – збільшення навантаження у прямолінійному діапазоні діаграми "навантаження-прогин" (рис. 3.11) F_1 – повинно становити приблизно 10 %, а F_2 – 40 % від руйнівного навантаження;

$a_1 - a_2$ – збільшення прогину посередині зразка (відповідно $F_2 - F_1$).

$$E_m = \frac{300^2(684.632 - 184.906)}{4 * 50 * 12^2(2.91 - 1.02)} = 20656.684 \text{ Н/мм}^2,$$

Модуль пружності кожного зразка потрібно вказувати з точністю до трьох значущих цифр.

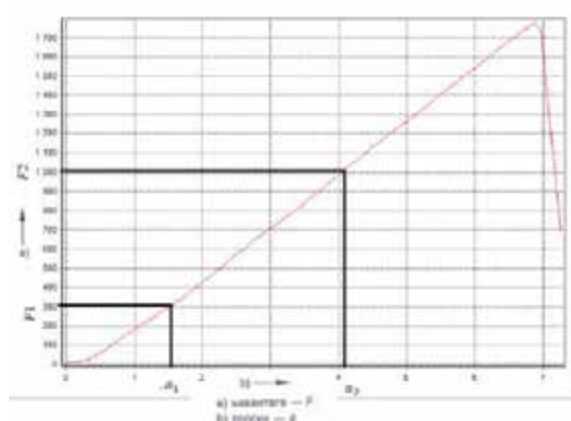


Рис. 3.11. Визначення показників $F_2 - F_1$; $a_2 - a_1$

Межа міцності при згинанні f (Н/мм²) для кожного зразка обчислюється за формулою [34]:

$$f_m = \frac{3f_{max}l_1}{2bt^2}, \quad (3.4)$$

$$f_m = \frac{3 * 1739.898 * 300}{2 * 50 * 12^2} = 111.173 \text{ Н/мм}^2,$$

де l – відстань між центрами опор, мм;

b – ширина зразка, мм;

t – товщина зразка, мм;

F_{max} – максимальне навантаження, Н.

Границя міцності під час згинання для кожної групи випробних зразків, відібраних від даної плити – це середнє арифметичне значення від міцності при згинанні відповідного зразка, виражене трьома значущими цифрами. Всі результати були занесені в таблицю (табл. 3.5) [34].

Таблиця 3.5

Розрахункові значення модуля пружності та межі міцності

Матеріал	Модуль пружності H/mm^2		Середнє арифметичне	Межа міцності H/mm^2		Середнє арифметичне
	Зразок1	Зразок2		Зразок1	Зразок2	
HPL	20656,684	19892,201	20274,442	111,173	215,574	163,373
MDF	9177,799	7427,180	8302,489	52,587	47,369	49,978
ДСП	5778,050	5677,874	5727,962	24,814	23,058	23,936

Згідно з розрахунковими даними, матеріал HPL має найвищий модуль пружності серед усіх зразків, із середнім значенням $20274,442 H/mm^2$. Це означає, що HPL є найбільш жорстким матеріалом, що краще чинить опір деформаціям при згинанні. Також він має найвищу межу міцності при згині, із середнім значенням $163,373 H/mm^2$, що свідчить про його здатність витримувати великі навантаження перед руйнуванням. Матеріал MDF має середній модуль пружності та межу міцності $8302,489 H/mm^2$, та $49,978 H/mm^2$, що є середніми показниками в порівнянні з іншими матеріалами. Це вказує на те, що MDF має помірну жорсткість і міцність, що може бути достатнім для багатьох меблевих застосувань, але він поступається HPL. ДСП показує найнижчі значення модуля пружності і межі міцності – $5727,962 H/mm^2$ та $23,936 H/mm^2$, відповідно, що вказує на його обмежену стійкість до деформацій та руйнування під навантаженням. Це свідчить про те, що ДСП є найменш жорстким і міцним серед розглянутих матеріалів, що може обмежити його застосування в конструкціях, де потрібна висока міцність і стійкість до згину [35].

РОЗДІЛ 4

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ

У ході проведеного експерименту було показано суттєвий вплив вологості на фізико-механічні властивості деревино-стружкової плити (ДСП) та деревоволокнистої плити середньої щільності (MDF). Результати показали, що в умовах підвищеної вологості зазначені матеріали зазнають більшої деформації, що проявляється у вигляді збільшеного прогину під тривалим навантаженням. Цей ефект пояснюється активним вбиранням вологи, що призводить до пошкодження частинок деревини в їх структурі та ослаблення зв'язків між ними, що знижує загальну міцність конструкції. Умови підвищеної вологості справді мають значний вплив на поведінку деревних матеріалів, таких як ДСП та деревоволокнистої плити середньої щільності (MDF), сприяючи їх більшій деформації в процесі експлуатації. Це обумовлено властивістю деревини активно вбирати вологу з навколишнього середовища, що, в свою чергу, призводить до змін у структурі матеріалу. Пориста структура ДСП та деревоволокнистої плити середньої щільності (MDF), утворена з дрібних деревних частинок або волокон, дозволяє волозі проникнути всередину, спричиняючи фізико-хімічні зміни, які суттєво впливають на міцність і довговічність матеріалу. Однією з головних причин, через яку деревні матеріали деформуються в умовах підвищеної вологості, є пошкодження зв'язків між деревними волокнами. Волокна деревини є гігроскопічними, здатними вбирати воду, тому за високої вологості повітря вони активно поглинають молекули води. Внаслідок цього об'єм волокон збільшується, і вони розбухають, що призводить до розширення матеріалу та появи внутрішніх напружень. Ці напруження, які виникають у зв'язку з нерівномірним розподілом вологи, зумовлюють деформацію конструкції, а за наявного постійного навантаження посилюють її прогин. Крім того, зв'язки між деревними частинками, що утворюються за допомогою синтетичних клейових смол, також послаблюються під впливом вологи. Волога,

проникаючи в структуру матеріалу, послаблює міцність клеєвих з'єднань, що знижує загальну жорсткість матеріалу та його здатність витримувати навантаження. Таким чином, навіть незначне навантаження в умовах підвищеної вологості призводить до того, що матеріал швидше піддається деформації, яка може стати незворотною, після чого внутрішні зв'язки між частинами втрачають свою міцність і цілісність [36].

Зразки, що перебували в умовах сухого середовища, показали значну кращу стійкість до деформацій. Сухе середовище мінімізує вплив вологи на матеріал, дозволяючи зберегти його початкову міцність і структурну цілісність. Важливим аспектом експерименту стало вивчення впливу постійного навантаження на прогін ДСП і деревоволокнистої плити середньої щільності (MDF), а також здатності цих матеріалів до відновлення після зняття навантаження. У процесі дослідження було встановлено, що постійне навантаження надає істотний вплив на геометричні параметри зразків, зокрема на їхній прогін, і цей вплив збільшується в умовах підвищеної вологості [37].

При постійному навантаженні по 50 кг протягом двох тижнів спостерігалось поступове накопичення деформацій, що має місце наявність повзучості, характерної для деревних матеріалів. Повзучість є процесом, при якому матеріал під тривалим статичним навантаженням змінює форму, збільшуючи прогін без навіть додаткового впливу ззовні. У ДСП та деревоволокнистої плити середньої щільності (MDF) повзучість проявляється інтенсивніше за умов високої вологості, коли матеріали вибирають вологу, що призводить до збільшення прогини через ослаблення міжмолекулярних зв'язків. У результаті матеріал може втрачати свою початкову форму та міцність. За умов постійного навантаження матеріал поверхню «просідає», що є критичним для меблів, які повинні зберігати форму та витримувати навантаження протягом тривалого використання [38].

Процес відновлення матеріалу після зняття навантаження є індикатором його пружних властивостей. Після завершення двотижневого циклу навантаження в експерименті настав період відновлення, під час якого зразки

перебували в тих самих умовах, але без додаткового навантаження. Здатність до відновлення виявилася різною залежно від середовища: у сухих умовах спостерігалось значно кращі показники відновлення, ніж у вологих. Зразки ДСП та деревоволокнистої плити середньої щільності (MDF), що перебували в сухих умовах, продемонстрували повернення частини до початкової форми, що працює про їхню пружну деформацію. Такий тип деформації є оборотним, і при знятті навантаження матеріал поступово відновлює форму, хоча й не повністю, через певні незворотні зміни структури, які виникли за тривалого навантаження [39].

Натомість у вологих умовах після зняття навантаження відбулася лише часткова деформація, а рівень залишкового прогину був значно вищим, що свідчить про накопичення пластичних деформацій. Волога, що проникла в структуру ДСП і деревоволокнистої плити середньої щільності (MDF), зменшувала внутрішні зв'язки, що обумовило нижчу здатність до відновлення. Пластична деформація характеризується тим, що після зняття навантаження матеріал не повертається до своєї початкової форми, і деформація стає постійною. Таким чином, матеріал, що зазнав тривалого навантаження у вологих умовах, частково втрачає свою структурну ціліність, що може призвести до поступового руйнування в реальних умовах експлуатації [39].

Також варто відмітити, що під час повторного циклу навантаження, який був частиною експерименту, зразки ДСП та деревоволокнистої плити середньої щільності (MDF), які піддавались впливу високої вологості, продемонстрували швидше накопичення прогину. Це може свідчити про те, що попередній цикл навантаження створив у матеріалі мікропошкодження або порушив структуру, що знижує його здатність протистояти новому навантаженню. Цей ефект є важливим з точки зору практичного застосування, оскільки матеріали, які використовуються в умовах з підвищеною вологістю, є схильними до втрати міцності при багаторазових циклах навантаження, що впливає на їхню довговічність [40].

Щодо здатності матеріалів до відновлення після зняття навантаження, можна відзначити значну відмінність у поведінці зразків із сухих та вологих середовищ. Зразки ДСП та деревоволокнистої плити середньої щільності (MDF), які експлуатувалися в сухих умовах, після зняття навантаження показали певний рівень пружної деформації, яка частково або повністю зникла. Це свідчить про здатність матеріалів повернутися до початкової форми при незначному вологопоглинанні, тобто їхня структура залишається незмінною і зберігає можливість до відновлення. Однак, навіть у сухих умовах, було зафіксовано поступове накопичення залишкової деформації (ефект повзучості), яка розвивалася в течії двотижневого періоду експерименту. Зразки, які перебували в умовах високої вологості, після зняття навантаження показали більший залишковий прогин, що вказує на те, що волога суттєво послаблює внутрішні зв'язки між частинками деревини, знижуючи здатність до відновлення. Після двох тижнів навантаження спостерігалось зниження міцності зразків, що поставило під сумнів їхню здатність підтримувати постійне навантаження у вологих умовах без втрати основних механічних характеристик [41].

На основі отриманих даних можна сформулювати практичні рекомендації щодо вибору матеріалів для умов експлуатації з різним рівнем вологості. Використання ДСП та деревоволокнистої плити середньої щільності (MDF) у вологих приміщеннях, таких як ванні кімнати, кухні або інші зони з підвищеною вологістю, може бути небажаним через їхню здатність вбирати вологу, що призводить до ослаблення структури та зниження довговічності. Враховуючи результати, які вказують на значну деформацію матеріалів при зволоженні, доцільно рекомендувати альтернативні вологостійкі матеріали для конструкцій, які будуть піддаватися впливу вологи. Також варто відзначити можливість використання захисних покриттів для зниження вологопоглинання, які дозволяють зберегти структуру та міцність матеріалів за більш тривалого часу використання (рис. 4.1).



Рис. 4.1. Деревино стружкова плита з захисним покриттям [42]

У конструкціях із ДСП і деревоволокнистої плити середньої щільності (MDF), що використовуються в сухих приміщеннях, зберігається можливість тривалої експлуатації за умов відповідності вимогам і дотримання нормативних вимог до таких матеріалів. Навантаження на меблі в домашніх умовах або офісних приміщеннях повинно бути розраховано таким чином, щоб не перевищувати допустимі межі, оскільки перевищення призведе до повзучості матеріалів, що проявляється у вигляді збільшення накопичення деформації. Крім того, для меблів, які можуть піддаватися тривалому навантаженню, рекомендується періодичне розвантаження для покращення відновлення форми. Це дозволяє зменшити залишкові напруження, що виникають у структурі матеріалу під навантаженням, та покращити рівномірний розподіл навантажень у подальшому [42].

Стабільність умов у приміщеннях також є критичним фактором для збереження фізико-механічних властивостей деревних матеріалів, таких як ДСП та MDF. Зокрема, стабільна температура та вологість дозволяють значно знизити ризик деформацій, набрякання, сколів або тріщиноутворення, що часто виникають у деревних матеріалах через різкі зміни вологісного режиму (рис. 4.2). У приміщеннях, де показники вологості підтримуються на стабільному рівні, деревні матеріали менше піддаються впливу повзучості та пластичних деформацій, оскільки не відбувається надмірного вологопоглинання або пересихання, які порушують внутрішні зв'язки в матеріалі. Стабільні умови у приміщенні особливо важливі для конструкцій,

що піддаються постійним або циклічним навантаженням, оскільки нерівномірне поглинання вологи з часом може призвести до накопичення внутрішніх напружень. Це вкрай небажано, адже навіть невеликі відхилення у показниках вологості або температури можуть знижувати міцність клейових з'єднань та спричиняти мікротріщини. Такі процеси ускладнюють відновлення матеріалу після зняття навантаження і призводять до накопичення незворотних змін у його структурі. Забезпечення стабільних умов особливо важливе в регіонах з високими коливаннями вологості, а також для приміщень, які не обладнані системами клімат-контролю. Використання осушувачів повітря, вентиляційних систем та регуляторів вологості дозволяє зберегти оптимальні умови для меблів та конструкцій з деревини, забезпечуючи таким чином їхню довговічність та надійність. У приміщеннях, де зберігається стабільна температура і вологість, деревні матеріали зберігають свою форму та механічні властивості, а також демонструють кращу стійкість до постійних навантажень і здатність відновлюватись після них [43].



Рис. 4.2. Деформації плитних матеріалів: а – набрякання; б – сколи [43].

Отже, отримані результати підкреслюють, що для забезпечення тривалої експлуатації меблевих конструкцій з ДСП та деревоволокнистої плити середньої щільності (MDF) варто враховувати їхню стійкість до деформацій під тривалим навантаженням і обмежену здатність до відновлення у вологих умовах. Це знання є корисним для розробки рекомендацій щодо конструкційного застосування таких матеріалів у відповідних умовах

експлуатації. У сухих середовищах ДСП і деревоволокниста плита середньої щільності (MDF) мають кращі показники відновлення, тому такі умови є найбільш підходящими для їх тривалого використання. У приміщеннях з підвищеною вологістю використання таких матеріалів для навантажених конструкцій доцільно обмежити або застосовувати додаткові захисні заходи, які дозволяють уникнути накопичення пластичних деформацій та продовжити експлуатаційний термін виробу (рис. 4.3) [44].



Рис. 4.3. Підсилення конструкції за допомогою металевої стійки [44]

Проведений експеримент також дозволяє сформулювати рекомендації для виробників меблів та інших дерев'яних конструкцій. По-перше, варто розглянути можливість використання додаткових захисних складів для матеріалів, які застосовуються в приміщеннях з підвищеною вологістю. Це може бути одним із факторів для збереження початкових характеристик ДСП та деревоволокнистої плити середньої щільності (MDF), зокрема їх міцності та здатності до відновлення. По-друге, подальші дослідження можуть зосередитися на інших типах деревних композитів або матеріалів, стійких до впливу вологи, для створення меблів та конструкцій, які будуть довговічнішими у вологих умовах. Крім того, перспективним напрямком є тестування впливу різних покриттів, що захищають від вологи, та їх впливу на механічні властивості матеріалів [45].

ВИСНОВКИ

Поставлено питання визначення впливу навантаження і впливу середовища на меблеві поверхні кухонних меблів.

Було проведено аналітичний огляд різних типів матеріалів, що застосовуються у деревообробній промисловості. Розглянуто їх параметри, властивості, переваги та недоліки. Встановлено, що найперспективнішим матеріалом для виготовлення стійких меблевих поверхонь є HPL.

За допомогою методу аналізу ієрархій обґрунтовано оптимальний вибір матеріалів для подальших досліджень, як таких, що мають найкраще поєднання показників: щільності, статичної твердості, вологопоглинання, міцності на статичний згин та ціни.

Експериментально встановлено вплив умов середовища (підвищена вологість, висока навантаженість) на деформацію та зменшення здатності відновлення після зняття навантаження ДСП та деревоволокниста плита середньої щільності (MDF). Встановлено закономірності та ступінь впливу даних факторів на матеріали та збільшення стріли прогину під час дослідження.

Також було досліджено модуль пружності та межу міцності при згині для обраних матеріалів, ці дослідження вказують на те що HPL є найбільш жорстким матеріалом, що краще чинить опір деформаціям при згинанні. Також він має найвищу межу міцності при згині.

За результатами випробувань можна свідчити про об'єктивні дані щодо стійкості ДСП та MDF до навантаження. Можлива залишкова деформація, яка виникає через накопичення пластичних змін після багаторазового навантаження. Зразки можуть не повертатися повністю до початкової форми, але ступінь залишкової деформації залежить від умов навколишнього середовища. Також

Встановлено, що деревоволокниста плита середньої щільності (MDF) є більш стійкою до навантажень, тоді як ДСП показує меншу здатність витримувати напруги.

Отже, кожен із розглянутих матеріалів має власні переваги та недоліки, що можуть впливати на вибір матеріалу залежно від конкретних потреб і середовища експлуатації. Деревина, наприклад, має високу естетичну цінність і довговічність, але є чутливою до вологості і потребує спеціального догляду. ДСП і MDF є більш доступними, однак поступаються деревині в міцності та вологостійкості. HPL вирізняється високою зносостійкістю та стійкістю до вологи, що робить його перспективним матеріалом для кухонних меблів. Крім того, експериментально підтверджено вплив зміни параметрів навколишнього середовища на лінійні розміри матеріалів, що використовуються для основи виробів, особливо за товщиною. Це свідчить про необхідність приділяти увагу спеціальному захисту даних матеріалів від сорбції вологи для забезпечення стабільності готових виробів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мех Є. В. Використання деревини у внутрішньому просторі будинків. Тези доповідей учасників Всеукраїнської науково-практичної конференції «Сучасний ландшафт: проектування, формування, збереження». 2016. URL: <https://dspace.nau.edu.ua/bitstream/NAU/23770/1/%D0%A2%D0%B5%D0%B7%D0%B8%20%D0%B4%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D0%B2%D1%96%D0%B4%D1%96%20%D0%9C%D0%B5%D1%85.pdf> (дата звернення: 24.12.2023).
2. Halmschlager V., Hofmann R. Assessing the potential of combined production and energy management in Industrial Energy Hubs – Analysis of a chipboard production plant. *Energy*. 2021. Vol. 226. 20415.
3. Кусняк І.І. Ефективність виготовлення фанери, склеєної термопластичною плівкою. *Scientific Bulletin of UNFU*. 2020. 30(2), 88-92. <https://doi.org/10.36930/40300216>. URL: <https://nv.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/2159> (дата звернення: 24.12.2023).
4. Що таке MDF? Виробництво та застосування. *Новий Стиль* : веб-сайт. URL: <https://noviy-style.kiev.ua/ua/content/66-что-такое-mdf> (дата звернення: 10.01.2024).
5. Що таке пластик HPL? Його особливості та характеристики. *OSCAR* : веб-сайт. URL: <https://oscar-group.com.ua/ua/shho-take-hpl-paneli/> (дата звернення: 10.09.2024).
6. Божок О.П. Будова і фізико-механічні властивості деревини. *Науковий вісник*. 2016. Вип. 634.52. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/budova-i-fiziko-mehanichni-vlastivosti-derevini-kariyi-sertsepodibnoyi> (дата звернення: 11.09.2024).
7. Gayda S. The investigation of physical and mechanical properties wood particleboards. Ukrainian National Forestry University. 2011. VOL. 37 NO. 2 URL: <https://forest->

- woodworking.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/152 (дата звернення: 25.01.2024).
8. Дослідження механічних властивостей фанери. *CINECA* : веб-сайт. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/16774/1/2.pdf#page=162> (дата звернення: 11.01.2024).
9. Бойко Л.М. Методика оцінки довговічності деревоволокнистих плит середньої щільності(MDF). Технологія деревообробки. Лісництво та декоративне садівництво. 2016. Вип. 238. URL: https://forestscience.com.ua/web/uploads/pdf/Ukrainian%20journal%20of%20forest%20and%20wood%20science_No.%20238_215-223.pdf (дата звернення: 11.08.2024).
10. Лютий П.В., Бехта П.А. Властивості личкованих деревинно-полімерних матеріалів. Наукові праці Лісівничої академії наук України. 2016. Вип.14. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/Nplanu_2016_14_41.pdf (дата звернення: 13.08.2024).
11. Гомон С.В. Результати експериментальних досліджень деревини під впливом різних середовищ. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій». 2021. URL: https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/36441/2/MNPK_2021v1_Homon_S_S-Research_of_birch_wood_under_11.pdf (дата звернення: 19.07.2024).
12. Сорокіна С.В., Колесник В.В. Відповідність якості та безпечності дсп за умов застосування у жилих утеплювальних приміщеннях. Технологія легкої і харчової технології. Харківський державний університет харчування та торгівлі. Вісник ХНТУ. 2019. Вип. 1.68. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vidpovidnist-yakosti-ta-bezpechnosti->

- [dsp-za-umov-zastosuvannya-u-zhilih-oteplyuvalnih-primischennyah](#) (дата звернення: 13.01.2024).
13. Білей П.В. Фізичні закономірності впливу параметрів середовища на плити фанери. Науковий вісник НЛТУ. 2010. Вип. 20.6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/fizichni-zakonomirnosti-vplivu-parametriv-seredovischa-na-protses-sushinnya-pilomaterialiv> (дата звернення: 13.01.2024).
14. Анциферова О.В. Практичні рекомендації щодо прогнозування довговічності плит MDF. Технології деревообробки. 2014. Вип. 212. URL: <http://ir2.stu.cn.ua/bitstream/handle/123456789/21393/214-215%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20.%20%20..pdf?f=sequence=1> (дата звернення: 14.01.2024).
15. Що таке ДСП. *Шафи купе* : веб-сайт. URL: <https://shafa-kupe.lviv.ua/clauses/115/> (дата звернення: 10.07.2024).
16. Фанера. Види та застосування. *Шпон в Україні*: веб-сайт. URL: <https://baykal.com.ua/ua/a430233-что-такое-фанера.html> (дата звернення: 10.07.2024).
17. Профілі MDF. *Маркет Двері* : веб-сайт. URL: <https://market-dveri.ua/uk/что-такое-mdf-11/> (дата звернення: 14.06.2024).
18. Genfasad HPL. *Маркет Двері* : веб-сайт. URL: <https://genfasad.com.ua/high-pressure-laminate/> (дата звернення: 14.01.2024).
19. Деревина дуба: переваги та використання. *Vinbazar*: веб-сайт. URL: <https://vinbazar.com/journal/nshe/derevina-duba-perevagi-ta-vikoristannya> . (дата звернення: 16.01.2024).
20. Застосування hpl панелей. *VIYAR блог* : веб-сайт. URL: https://viyar.ua/ua/articles/interri_iz_zastosuvannyam_hpl_paneley/ (дата звернення: 16.01.2024).

21. Пінчевська О.О., Головач В.М. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни: «Інноваційні технології з оброблення деревини». Київ : НУБіП України. 2021. 25 с.
22. Технічне підготовлення виробництва корпусних меблів. *Корпусні меблі*: веб-сайт. URL: <http://ir2.stu.cn.ua/handle/123456789/25292> (дата звернення: 16.09.2024).
23. Jivkov V. Particleboard and MDF For Shelving. University of forestry. 2nd edition. *Processing Technologies for the Forest and Biobased Products Industries*. 2012. URL: https://www.google.com/books?hl=uk&lr=&id=Faji9eEG29gC&oi=fnd&pg=PA205&dq=Particleboard+and+MDF+For+Shelving&ots=z2ld5lmpS&sig=n7qR607ACquo_r_po10KtEXQXTs (дата звернення: 16.09.2024).
24. Hodousek M., Böhm M., Součková A., Hýsek S. Effect of moisture content on the air permeability of oriented strand boards. *BioResources*. 2018. Vol. 13(3), pp. 4856-4869. doi: 10.15376/biores.13.3.4856-4869. URL: https://bioresources.cnr.ncsu.edu/wp-content/uploads/2018/05/BioRes_13_3_4856_Hodousek_BSH_Effect_Moisture_Content_Air_Permeability_OSBs_12466.pdf (дата звернення: 17.05.2024).
25. Горбачова О.Ю., Спірочкін А.К. Методичні вказівки до вивчення курсу з дисципліни «Технологія виробів з деревини» для студентів спеціальності 187-Деревообробні та меблеві технології. Київ : НУБіП України. 2019. 132 с.
26. Martensson A., Thelandersson S. Effect of moisture and mechanical loading on wooden materials. *Peer-reviewed article*. 1998. Vol. 24. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01153558> (дата звернення: 17.05.2024).
27. Porcu M.C. Ductile behavior of timber structures under strong dynamic loads. In book: *Wood in Civil Engineering*. Chapter: 9. doi: 10.5772/65894. URL:

- https://www.google.com/books?hl=uk&lr=&id=sPiODwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA173&dq=The+ability+of+wooden+materials+to+withstand+loads&ots=QGQ_7kWXxG&sig=nVVwQS7VghUKPG5ciSUfUaU8bMI (дата звернення: 17.01.2024).
28. Pritchard J., Ansell M. P., Thompson R. J. H., Bonfield P. W. Effect of two relative humidity environments on the performance properties of MDF, OSB and chipboard. *Materials Research Centre, Department of Engineering and Applied Science, University of Bath*. 1999. № 35(5). Pp. 405-423. doi: 10.1007/s002260100108. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s002260100108> (дата звернення: 17.01.2024).
29. Orlando J. Wood elasticity and compressible wood-based materials. *Progress in Materials Science*. 2024. Vol. 147. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079642524001233> (дата звернення: 20.10.2024).
30. Armstrong L. D., Kingston R. S. T. Effect of moisture changes on creep in wood. *Nature*. Vol 185. Issue 4716, pp. 862-863. URL: <https://www.nature.com/articles/185862c0> (дата звернення: 4.10.2024).
31. Markus J. Molecular deformation mechanisms of the wood cell wall material. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*. 2015. Vol. 42. Pp. 198-206. doi: 10.1016/j.jmbbm.2014.11.010. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1751616114003622> (дата звернення: 20.07.2024).
32. Kherais M., Csébfalvi A., Len A., Pál-Schreiner J. The effect of moisture content on the mechanical properties of wood structure. *Pollack Periodica*. Vol. 19(1). doi: 10.1556/606.2023.00917 URL: https://vlp.com.ua/files/14_10.pdf (дата звернення: 17.05.2024).
33. Марченко Н.В. Визначення основних механічних властивостей деревини. Тези доповідей учасників міжнародної науково-практичної конференції «стале управління лісовим комплексом та збалансований

- розвиток урболандшафтів». 2018. URL: https://dglib.nubip.edu.ua/bitstream/123456789/8961/1/108_Marchenko.pdf (дата звернення: 17.05.2024).
34. Гомон С.С. Експериментально-статистичні дослідження модуля пружності деревини. *Збірник наукових праць*. 2018. Вип 35. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/rmkbs_2018_36_14.pdf (дата звернення: 20.06.2024).
35. Національний стандарт України ДСТУ EN 310:2003. Визначення модуля пружності та границі міцності під час згинання. Чинний від 01.10.2004.
36. Чевелюк А.С. Особливості довговічності деревинних матеріалів. Міжнародна студентська науково-технічна конференція. 2018. URL: <https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/41385/2/054.pdf> (дата звернення: 21.06.2024).
37. Пінчевська О.О., Буйських Н.В. Деформування деревини під дією повторних статичних навантажень *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства*. 2012. Вип. 123. URL: <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/41735> (дата звернення: 1.08.2024).
38. Соколовський Я.І., Криштапович В.І., Мокрицька О.В. Визначення реологічних властивостей деревини залежно від зміни температури і вологості. *Проблеми трибології*. 2017. Том 83. Вип. 1. 19-29. Веб-сайт. URL: <https://tribology.khnu.km.ua/index.php/ProbTrib/article/view/575> (дата звернення: 21.07.2024).
39. Кульман С.М. Нелінійна динамічна модель деформування та руйнування композиційних матеріалів на основі деревини. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Сер. : Лісівництво та декоративне садівництво*. 2012. Вип. 171(2). С. 200-207. URL:

- <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/41735> (дата звернення: 25.04.2024).
40. Соколовський Я.І., Петрів О.М. Вплив початкової вологості на деформаційно-релаксаційні процеси в деревностружковій плиті під час пресування. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка» : Теплоенергетика. Інженерія довкілля. Автоматизація.* 2007. № 581. С. 9–14. URL: https://vlp.com.ua/files/02_46.pdf (дата звернення: 12.04.2024).
41. Войтович І.Г. Основи технології виробів з деревини для студентів спеціальності «Деревооброблювальні технології» : підручник. Львів: НЛТУ України, ТЗОВ «Країна ангелів». 2010. 305 с.
42. Черниш О. М. Прикладна механіка : навчальний посібник для практичних робіт для студентів спеціальності 187 "Деревообробні та меблеві технології" закладів вищої освіти. К. : Центр учбової літ-ри, 2023. 339 с.
43. Дячун З. Конструювання меблів. Столи, стільці та крісла меблі для відпочинку взаємозамінність, міцність : навч. посіб. К : Києво-Могилянська академія. 2011. 387 с.
44. Бараненко О.Ф., Григоренко І. В. Дослідження вимірювальної системи параметрів технологічного процесу виготовлення ДСП. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я.* 2018. Харків : НТУ "ХПІ", 2018. С. 6. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/162467625.pdf> (дата звернення: 12.03.2024).
45. Gayda S.V. MDF-FACADE TECHNOLOGIES. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry.* 2018. Vol. 44 (2018). doi: <https://doi.org/10.36930/42184410> URL: <https://forest-woodworking.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/63> (дата звернення: 12.11.2024).

46. Бехта П. А. Властивості фанери. *Наукові праці лісівничої академії наук України*. 2019. № 19. doi: <https://doi.org/10.15421/411943> URL: <http://fasu.nltu.edu.ua/index.php/nplanu/article/view/312> (дата звернення: 22.10.2024).
47. Jivkov V., Simeonova R., Kamenov P., Marinova A. Strength properties of new lightweight panels for furniture and interiors. *Wood is good – with knowledge and technology to a competitive forestry and wood technology sector*. 2012. pp. 49-57. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/162467625.pdf> (дата звернення: 23.01.2024).
48. Єрошенко А. В. Дослідження фізико-механічних властивостей деревинних композиційних матеріалів. *технічні науки та технології. Науковий вісник НЛТУ*. 2016. Вип 25. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/tnt_2016_2_32.pdf (дата звернення: 23.01.2024).
49. Калюжний О.Б., Шептур О.А. Технологія деревинних композиційних матеріалів і фанери : Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної форми навчання зі спеціальності спеціальності 187 «Деревообробні та меблеві технології». Харків : Державний біотехнологічний університет. 2024. 27 с. :URL: https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/51011/1/mv_TDKMIF_lr_2_187_24.pdf (дата звернення: 23.09.2024).
50. Національний стандарт України ДСТУ 2080-92. Продукція меблевого виробництва, терміни та визначення основних понять видів меблів і їх дефектів. Чинний від 01.07.1993