

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

УДК 684.4.059

ПОГОДЖЕНО
Директор ННІ
лісового і садово-паркового
господарства

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
В.о. завідувача кафедри
технологій та дизайну виробів з
деревини

Роман ВАСИЛИШИН
(підпис) _____
« _____ 2023 р.

Андрій СПИРОЧКІН
(підпис) _____
« _____ 2023 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Обґрунтування надійності клейових композицій у виробх з
деревино-композиційних матеріалів»
Спеціальність: 187 «Деревообробні та меблеві технології»
Освітня програма: Деревообробні та меблеві технології
Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна

Гарант освітньої програми
д.т.н., проф. _____
(підпис)

Олена ПІНЧЕВСЬКА

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

К.т.н., доц. _____
(підпис)

Олександра ГОРБАЧОВА

Виконав _____
(підпис)

Андрій ПНАТОВИЧ

КИЇВ – 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ ІНСТИТУТ ЛІСОВОГО І САДОВО-ПАРКОВОГО ГОСПОДАРСТВА

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри технологій та
дизайну виробів з деревини
д.т.н., проф. Олена ІШЧЕВСЬКА
«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ Ігнатовичу Андрію Васильовичу

Спеціальність 187 «Деревообробні та меблеві технології»

Магістерська програма Деревообробні та меблеві технології

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: Обґрунтування надійності клейових композицій у виробах з деревино-композиційних матеріалів.

Затверджена наказом ректора НУБіП України № 1853 «Є» від 15.12.2022 р.

Термін подання завершеної роботи на кафедру _____

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 види клейових композицій, що використовують для склеювання деревинно-композиційних матеріалів.
2. Вивчити можливі сфери використання класних конструкцій залежно від умов середовища.
3. Виконати наукові дослідження згідно тематики роботи.
4. Обґрунтувати рекомендації щодо запропонованих напрямів використання клею.

Дата видачі завдання «__» _____ 20__ р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

Олександра ГОРБАЧОВА
Завдання прийняв до виконання Андрій ІГНАТОВИЧ

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка МКР містить 73 с., 27 рис., 19 табл., 52 джерела.

У першому розділі проаналізовано різновиди клеїв, що використовуються в деревообробному та меблевому виробництвах. Описано умови використання клеєних конструкцій та вплив різних природних чинників на них та тривалість експлуатації.

У другому проаналізовано ринок клею підвищеної вологостійкості та враховано характеристики під час нанесення та експлуатації. На основі цього вибрано клеї для дослідження та методом розставлення пріоритетів було визначено пріоритети експертів за певними технічними характеристиками та складено ієрархічну таблицю вибраних клеїв. Найкращим в цьому порівнянні виявився клей «Rakoll Express D3». Для порівняння було обрано «Rakoll ECO-4» (D4), та «Woodmax WR 13.50M» (D3).

В третьому розділі описано етап підготовки зразків до дослідження, методику проведення експерименту із визначення вологопоглинання, зміни розмірів та стійкості клейового з'єднання до умов експлуатації. Також наведено спосіб розрахунку й порівняння результатів дослідження.

В ході підготовки зразків до дослідження було проаналізовано вплив середовищ випробування на них. Визначено масу після кожного циклу випробування (через 1 тиждень). В умовах підвищеної вологості спостерігається найбільше збільшення маси зразків як ДСП, так і MDF. Найбільше відсоткове збільшення маси відбувається у зразків ДСП (6,25 % проти 4,3 %). А вплив морозу при цьому показав найменший вплив (маса зразків в середньому зменшилась на 0,77 %).

Так само вплив вологості на лінійні розміри виявився значно більшим ніж вплив температури чи їх комбінації (3,96 % по довжині, та 0,13 % по площинних розмірах). Основним напрямком впливу є зміна розмірів по товщині, при цьому значення ДСП та MDF дещо відрізняються в залежності від умов, що зумовлено різницею структур цих матеріалів.

В результаті проведення дослідження встановлено закономірності впливу чинників зовнішнього середовища на клеєве з'єднання:

- Вологість середовища чинить найбільший вплив на міцність клейового з'єднання. У всіх випадках спостерігається зниження міцності порівняно з контрольними зразками. Найбільше зниження для MDF з клеем WR 13.50M (на 55%).

- Підвищена температура також призводить до помітного ослаблення міцності клеєвого з'єднання. Найбільше зниження коефіцієнта стійкості спостерігається для MDF з клеем WR 13.50M (на 61 %).

- Вплив низьких температур менш помітний, проте також призводить до зниження міцності шва на 15-42 % залежно від матеріалу і клею.

- Комбінована дія вологості та перепадів температури чинить сильний негативний вплив. Найбільше зниження коефіцієнта стійкості спостерігається для ДСП з клеем WR 13.50M (на 49 %).

Проведено візуальну оцінку зразків після випробування та виявлено характер руйнування при якому відрив відбувався паралельно шву по основі що свідчить про надійність клеєвого з'єднання попри екстремальні умови витримки.

Проаналізовано отримані результати, та визначено оптимальний вид клею – «Rakoll Express D3», що підтверджує дослідження пріоритетів. Також слід враховувати, що матеріал основи також має вплив на міцність клейового з'єднання. Для умов експлуатації з підвищеною вологістю та температурою рекомендується використовувати матеріали з високою щільністю та міцністю.

Клейова композиція, деревино композиційні матеріали, умови середовища, експлуатація, надійність, довговічність

ВСТУП	6
РОЗДІЛ I ОГЛЯД КЛЕЙОВИХ КОМПОЗИЦІЙ У ВИРОБАХ З ДЕРЕВИНИ	8
1.1. Аналіз та класифікація клеїв для склеювання деревини	9
1.2. Умови експлуатації клеєних конструкцій	27
РОЗДІЛ II ВИБІР ПРІОРИТЕТНОГО КЛЕЮ ДЛЯ ЛИЧКУВАННЯ	33
2.1. Обґрунтування підбору клеїв	33
2.2. Проведення розрахунків пріоритетного рішення за методом розставляння пріоритетів	40
РОЗДІЛ III МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ КЛЕЇВ	49
3.1. Підготовка матеріалів	49
3.2. Методика проведення досліджень	51
3.3. Оброблення результатів	54
РОЗДІЛ IV РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ	56
4.1. Вплив середовища на масу зразків та їх лінійні розміри	56
4.2. Визначення граничної міцності та коефіцієнта стійкості зразків	60
4.3. Візуальна оцінка результатів дослідження	64
ВИСНОВКИ	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	68

ВСТУП

Склеювання – це один з найпоширеніших способів з'єднання матеріалів між собою, при якому клей проникає в міжклітинні й внутрішньоклітинні простори деревини, твердіє, з'єднуючи склеювальні поверхні. Міцність клейового шва залежить від рівномірності просочування клейовим розчином склеюваних поверхонь, якості клею, технологічної послідовності виконання робіт, режиму склеювання, а також від щільності прилягання цих поверхонь.

При виробництві кухонних меблів постає питання міцності клейового з'єднання та вологостійкості. Для забезпечення якісного клейового шару необхідно дотримуватися рекомендованих параметрів зазначених виробником клею: температури матеріалу та клею, вологості матеріалу, витрата клею, час витримки, тиск тощо.

Особливо питання надійності постає при масовому виробництві, де неможливо точно контролювати режимні параметри процесу склеювання. А також виникають такі недоліки як нерівномірне нанесення клейового шару на площину, припорошення матеріалу деревним пилом тощо.

Об'єкт дослідження – параметри клейового з'єднання в різних умовах експлуатації.

Предмет дослідження – надійність клейових композицій у виробках із деревино-композиційних матеріалів.

Мета роботи – обґрунтування сфери застосування клеїв різної стійкості.

Методи дослідження: метод експертних оцінок – для вибору пріоритетного обладнання, експериментальний – для визначення вологості, зміни розмірів, стійкості до сколювання.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

- проаналізувати характеристики клеїв, що склеюють деревину і деревні матеріали;
- розглянути умови експлуатації виробів виготовлених з клеєних деревино-композиційних матеріалів;
- на основі проведеного аналізу експертних оцінок визначити пріоритетний

клею підвищеної вологостійкості;
 - провести експериментальні дослідження зміни вологості та розмірів
 деревино-композитних матеріалів, склеєних різними клеями;

- встановити вплив умов середовища експлуатації на міцність клейового

з'єднання;

- обґрунтувати доцільність використання клеїв в різних умовах
 експлуатації

Пояснювальна записка МКР містить 73 с., 27 рис., 19 табл., 52 джерела.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ I

ОГЛЯД КЛЕЙОВИХ КОМПОЗИЦІЙ У ВИРОБАХ З ДЕРЕВИНИ

Розвиток деревообробного виробництва сприяє інтенсифікації процесів склеювання, розробленню та модифікуванню нових клейових матеріалів та з'єднань на їх основі, які враховують екологічні аспекти сьогодення. Клеї, які використовують для склеювання деревини та деревинних матеріалів, поділяють на клеї природного походження та синтетичні клеї (рис. 1.1). До клеїв природного походження відносять білкові, а саме: казеїнові, альбумінові, колагенові, і вуглеводні, а саме: крохмальні та декстринові. Клеї синтетичного походження поділяють на конденсаційні та полімеризаційні. За відношенням до температури їх класифікують на термопластичні та термореактивні. Така термінологія класифікації клеїв набула значного поширення. Термопластичні клеї під час нагрівання й охолодження здатні багаторазово переходити із в'язко-текучого стану у твердий. Термореактивні – формують тверде та крихке клейове з'єднання [1].

Для склеювання деревини та деревинних матеріалів використовують як термореактивні, так і термопластичні клеї. Перші набули ширшого використання для склеювання деревини, клейове з'єднання якої буде експлуатуватися при зміні вологості та температури, а другі в середині приміщень. Це зумовлено стійкістю клейового з'єднання до дії вологості та температури. Клейові з'єднання на термореактивній основі є стійкіші до дії вологи та температури, але є крихкими та токсичними. Клейові з'єднання на термопластичній основі є менш стійкими до дії вологості та температури, але разом з тим є менш токсичними, більш еластичними [1].



Рис. 1.1. Клей: а – ПВА; б – поліуретановий, в – епоксидний; г – рідкий міздряний [1].

Листові композиційні матеріали, шпонувані або ламіновані, широко використовуються для виготовлення різноманітних виробів, включаючи меблі, двері, обробку стін та стель, а також автомобільний та суднобудівний інтер'єр.

Основними вимогами до таких матеріалів є висока естетичність, стійкість до зносу, а також збереження природного вигляду та текстури натурального шпону.

Мета дослідження полягає в аналізі доступних клеїв, придатних для з'єднання листових композиційних матеріалів і натурального шпону. Також

важливо визначити можливість використання цих клеїв з метою забезпечення міцності та довговічності склеювання, при цьому дотримуючись екологічних стандартів для забезпечення безпеки під час експлуатації виробів.

1.1. Аналіз та класифікація клеїв для склеювання деревини

Клей – речовини або суміші речовин органічної або неорганічної природи, що внаслідок притаманних їм специфічних властивостей, за певних умов, здатні утворювати міцні з'єднання різноманітних матеріалів і є тим зв'язком, яке визначає довговічність з'єднання деревини, забезпечуючи при цьому відповідну

адгезійну і когезійну міцність.

Першими синтетичними клеями були фенолформальдегідні, які широко використовувались для склеювання. Пізніше були синтезовані

карбамідоформальдегідні, меламіно-формальдегідні, полівінілацетатні (ПВА) та

ін. Для склеювання деревини та деревинних матеріалів використовують близько

75% клеїв від загальної кількості їх виробництва. З них майже 30% – це клеї на основі полівінілацетату [1].

З розвитком асортименту клейових матеріалів постало питання їх класифікації, тобто чіткого поділу за певними ознаками. Загальна їх класифікація

відома, запропонована та подана у вигляді структурної схеми, яку наведено на (рис. 1.2).

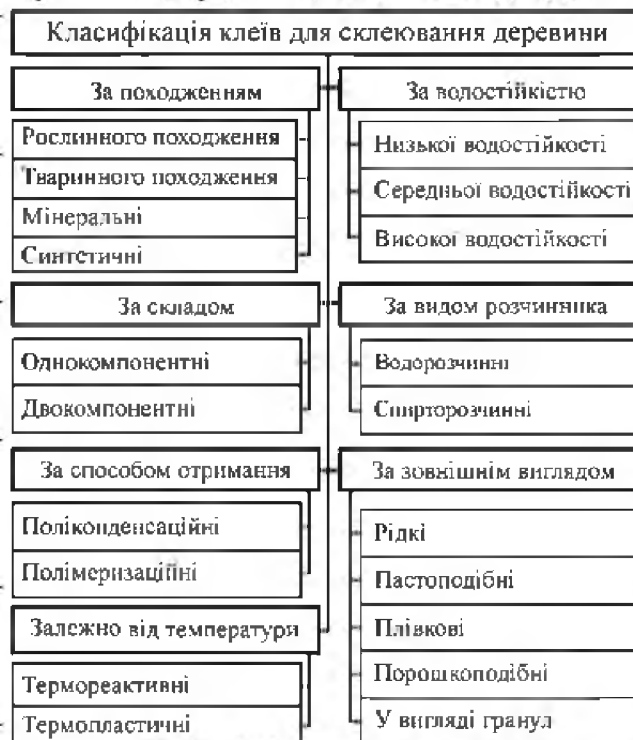


Рис. 1.2. Класифікація клеїв для склеювання деревини [1]

Зважаючи на адгезію до деревини, еластичність клейового шва,

екологічність тощо, найперспективнішими для склеювання деревини є клеї на

основі ПВА. Разом з тим до основних недоліків ПВА клеїв відносять їх низьку

водостійкість і теплостійкість. Для усунення цих недоліків ПВА клеї

модифікують. Тому на сьогодні ПВА клеї можуть бути пластифіковані й не

пластифіковані, однокомпонентні та двоконпонентні, мати підвищену водо- та вологостійкість клейових з'єднань [1].

Різноманітні амінопластичні смоли (рис. 1.3) є найважливішим класом клеїв у деревообробній промисловості, особливо для виробництва деревостружкових плит і деревоволокнистих плит середньої щільності (MDF), а також частково для орієнтовано-стружкових плит (OSB), фанери, блок-плит і деяких інших типів дерев'яних плит. Вони також використовуються в меблевій промисловості та столярних майстернях. Амінопластичні клейові смоли утворюються в результаті реакції сечовини та/або меламіну з формальдегідом.



Рис. 1.3. Амінопластичні клейові смоли [2]

На основі сировини, що використовується, можна приготувати різні типи смол, а саме [2]:

UF – urea-formaldehyde resin (карбамідо-формальдегідна смола);

MF – melamine-formaldehyde resin (меламіно-формальдегідна смола);

MUF – melamine-urea-formaldehyde cocondensation resin (меламін-сечовина-формальдегідна конденсаційна смола);

mUF – melamine fortified UF resins (КФ-смоли, посилені меламіном);

MF + UF – mixture of an MF and a UF resin (суміш МФ і КФ смол);

MUPH, PMUF – melamine-urea-phenol-formaldehyde cocondensation resin (меламін-сечовина-фенол-формальдегідна конденсаційна смола)

Найбільш важливими параметрами для амінопластичних смол є:

1) Тип використуваних мономерів.

2) Відносне молярне співвідношення різних мономерів у смолі:

a) F/U молярне співвідношення формальдегіду до сечовини

b) F/M молярне співвідношення формальдегіду до меламіну

c) $F/(NH_2)_2$ молярне співвідношення формальдегіду до амідних або амінних груп, при цьому сечовина вважається за дві NH_2 групи, а меламін – за три NH_2 групи.

3) Чистота різної сировини, наприклад, рівень залишкового метанолу або мурашиної кислоти у формальдегіді, біурету в сечовині або амеліну та аммеліду в меламіні.

4) Процедури реакції, що використовуються, наприклад

a) послідовність зміни рН

b) послідовність зміни температури

c) типи й кількість лужних і кислотних каталізаторів

d) послідовність додавання різних видів сировини

e) тривалість різних етапів реакції в процесі приготування.

Виробництво амінопластичних клейових смол, як правило, є багатоступеневою процедурою, яка включає в себе лужні та кислотні стадії.

Амінопластичні смоли можуть бути виготовлені в різних типах для різних потреб у склеюванні деревини. Цього можна досягти, просто використовуючи три основні мономери, згадані вище, і варюючи процедуру приготування.

Карбамідо-формальдегідні смоли [3–11] засновані на серії послідовних реакцій карбаміду і формальдегіду. Використовуючи різні умови реакції та приготування, можна отримати практично нескінченну різноманітність конденсованих хімічних структур карбамідоформальдегідних смол. Смоли UF є

терморективними смолами й складаються з лінійних або розгалужених олігомерів і полімерів, завжди з домішками певної кількості мономерів.

Присутність деякої кількості не прореагованої сечовини часто є корисною для досягнення певних ефектів, наприклад, кращої стабільності смоли при зберіганні. Присутність вільного формальдегіду має, однак, як позитивні, так і

негативні наслідки. З одного боку, він необхідний для індукції подальшої реакції затвердіння, а з іншого боку, він викликає певний рівень викидів формальдегіду під час гарячого пресування, циклу затвердіння смоли. Навіть у затвердлому

стані низький рівень залишкового формальдегіду може призвести до неприємного запаху формальдегіду, що виділяється з плит під час експлуатації.

Цей факт суттєво змінив склад і рецептуру УФ-смол протягом останніх 20 років.

Після затвердіння поліуретанові смоли складаються з нерозчинних тривимірних сіток, які неможливо розплавити або термоформувати знову. На стадії нанесення

поліуретанові смоли використовуються у вигляді водних розчинів або дисперсій,

або навіть у вигляді ще розчинних порошків, висушених розпиленням. Однак у

більшості випадків для нанесення їх потрібно знову розчинити і повторно диспергувати у воді.

Попри те, що карбамідні смоли складаються лише з двох основних

компонентів, а саме сечовини та формальдегіду, можна досягти широкого

спектра можливих реакцій та структур смол. Основні характеристики карбамідних смол можна пояснити на молекулярному рівні [4, 6]:

- їх висока реактивність
- їх водорозчинний стан, що робить ці смоли ідеальними для використання в деревообробній промисловості
- оборотність їх амінометиленового містка, що також пояснює низьку стійкість КФ-смол до впливу води й вологи, особливо при високих температурах; це також є однією з причин гідролізу, що призводить до подальшого виділення формальдегіду.

Реакція сечовини з формальдегідом це, в основному, двостадійний процес, який зазвичай складається з лужної стадії метилування (гідроксиметилювання)

та кислотної стадії конденсації. Реакція метилування, яку зазвичай проводять

при високому мольному співвідношенні (Ф/К 1,8–2,5), полягає в додаванні до

однієї молекули сечовини до трьох (теоретично чотирьох) молекул

біфункціонального формальдегіду з утворенням метилосечовини; типи й пропорції утворених метилольних груп залежить від молярного співвідношення

Кожна стадія метилювання має власну константу швидкості k_i , з різними значеннями для прямої та зворотної реакції. Утворення цих метилольних груп в основному залежить від молярного співвідношення F/U. Чим вище молярне співвідношення, тим більшу молекулярну масу має утворений метилольований продукт. Сама КФ-смола утворюється на стадії кислотної конденсації, де використовуються такі ж високі молярні співвідношення, як і на стадії лужного метилювання (F/U 1,8-2,5); метилольні групи, сечовина і вільний формальдегід реагують з лінійними та частково розгалуженими молекулами із середньою і навіть вищою молярною масою, утворюючи полідисперсний розподіл молярної маси, характерний для UF-смол. Молярні співвідношення нижче приблизно 1,8 на цьому етапі кислотної конденсації, як правило, призводять до випадання смоли в осад [2].

Фенольні смоли (фенол-формальдегідні (ФФ) смоли (рис. 1.4.)) демонструють повну стійкість до гідролізу C-C зв'язку між ароматичним ядром і метиленовим містком і, отже, використовуються для водо- і атмосферостійких клейових ліній і плит, таких як водо- і атмосферостійкі ДСП, OSB, MDF або фанера для використання в зовнішніх погодних умовах. Ще однією перевагою фенольних смол є дуже низький рівень емісії формальдегіду в процесі експлуатації, після затвердіння, також завдяки стабільності метиленових містків між ароматичними ядрами. Недоліками фенольних смол є значно більший час пресування, необхідний для затвердіння, порівняно з КФ-смолами, темний колір клейової лінії й поверхні плити, а також вищий рівноважний вміст води в плиті [2].

Процедура приготування фенольної смоли – це багатоступеневий процес, який характеризується часом, послідовністю та кількістю (у випадку декількох етапів) додавання фенолу, формальдегіду та лугу як найважливіших сировинних компонентів. Як і у всіх інших формальдегідних конденсаційних смол, переважають дві основні реакції.



Рис. 1.4. Фенол формальдегідний клей [20]

Метилування: не існує особливої переваги для орто- або пара-заміщення, яку, однак, можна досягти за допомогою спеціальних каталізаторів [12–14].

Метилування є сильно екзотермічним і включає ризик неконтрольованої реакції [15].

Утворюються конденсаційні метиленові та метиленові ефірні зв'язки; останні не існують у високолужних умовах. На цій стадії утворюються ланцюги, які все ще містять вільні метилольні групи. Реакцію зупиняють простим охолодженням реактора, що запобігає застиганню смоли.

Фенольні смоли містять олігомерні та полімерні ланцюги, а також мономерні метилол-феноли, вільний формальдегід і не прореагований фенол.

Вміст обох мономерів повинен бути зведений до мінімуму за допомогою належної процедури приготування. Різні процедури підготовки описані в літературі та патентах [16–24].

Спеціальні смоли ФФ, що складаються з двофазної системи висококонденсованої та маслянистої смоли ФФ і стандартної смоли ФФ з меншою мірою конденсації, також були виготовлені [25] і використовуються в промислових масштабах.

Інша двофазна смола складається з висококонденсованої смоли ФФ, яка все ще знаходиться у водному розчині, і дисперсії ФФ [26]. Такі спеціальні смоли призначені для склеювання плитних

виробів з деревини з підвищеною вологістю, де існує небезпека надмірного проникнення смоли в поверхню деревини, що може призвести до розриву клейового шва та інших серйозних проблем.

Властивості смол визначаються в основному молярним співвідношенням Ф/Ф, концентрацією фенолу і формальдегіду в смолі, типом і кількістю каталізатора (в більшості випадків лужного), а також умовами реакції. Реакція здійснюється у водній системі без додавання органічних розчинників. Чим вище молярне співвідношення Ф/Ф, тим вища реакційна здатність смоли, отже, вища швидкість її затвердіння [27], ступінь розгалуження і тривимірного зшивання.

При нижчих молярних співвідношеннях Ф/Ф переважно утворюються лінійні молекули. Вчені [28] виявили збільшення міцності зчеплення фанери зі збільшенням молярного співвідношення Ф/Ф, однак міцність зчеплення залишається постійною для молярних співвідношень, вищих за 1,4. Це значення все ще значно нижче, ніж загальноприйняті промислові молярні співвідношення ФФ-смола для клеїв для деревини.

Зазвичай в якості каталізатора використовують гідроксид натрію в кількості до одного моля на моль фенолу (молярне співвідношення NaOH/P), що відповідає частці лугу в рідкій смолі приблизно 10% за вагою. рН фенольної смоли знаходиться в діапазоні від 10 до 13. Переважну частину лугу становить вільний NaOH, а менша частина присутня у вигляді фенату натрію. Луг необхідний для підтримки розчинності смоли у воді через утворення фенат-іонів, щоб досягти максимально високого ступеня конденсації при в'язкості, яка все ще може бути використана на практиці. Крім того, вміст лугу значно знижує в'язкість реакційної суміші. Таким чином, чим вищий вміст лугу в смолі, тим вищий можливий ступінь її конденсації, отже, вища реакційна здатність смоли, вища швидкість її затвердіння і, отже, коротший необхідний час пресування.

Клеї для дерев'яних плит (поліізоціанати). Клеї на основі ізоціанатів (рис. 1.5) (особливо PMDI) використовуються вже понад 50 років у виробництві дерев'яних плит [29, 30], але все ще мають відносно низький обсяг споживання порівняно з системами на основі смол UF, MUF або PF. Основним застосуванням

є виробництво водонепроникних панелей, але також існує виробництво панелей з сировини, яку важко склеювати, наприклад, соломі, жому, рисової шкарлупи або жому цукрової тростини.



Рис. 1.5. Клей на основі полізоціанату [29]

PMDI можна використовувати як клей для виробів з деревини, таких як ДСП для зовнішніх робіт, ОСП для зовнішніх робіт, ламіновані стружкові плити (LSL), MDF або інші спеціально розроблені композитні матеріали. Під час гарячого пресування в'язкість PMDI зникає, що дозволяє йому розтікатися і проникати під поверхню, фіксуючись у глибині деревини [31]. Низький кут змочування PMDI порівняно з конденсаційними смолами на водній основі забезпечує швидке проникнення в поверхню деревини; однак це також може призвести до утворення "голодних" ліній зв'язку [32].

PMDI отримують під час виробництва мономерного MDI. PMDI, що виробляється промисловим способом фосгенуванням ди-, три- і вінцих амінів, містить суміш трьох різних ізомерів MDI, тризоціанатів і різних полізоціанатів, і, таким чином, структура і молярна маса залежать від кількості фенільних груп.

Цей розподіл значною мірою впливає на реакційну здатність, а також на звичайні характеристики, такі як в'язкість, текучість, змочуваність і здатність проникати в поверхню деревини. Структура і молярна маса залежать від кількості

ароматичних кілець [33]. Для PMDI розподіл трьох мономерних ізомерів має великий вплив на якість, оскільки реакційна здатність різних ізомерів (4,40 -, 2,40 -, і 2,20 - MDI) значно відрізняється [34]. Чим більша частка ізомерів 2,20 - та 2,40 -, тим нижча реакційна здатність. Це може призвести до різної міцності з'єднання, а також до залишкових низькоактивних ізомерів у виготовлених деревних плитах. У мономерній формі (MDI) функціональність становить 2, а вміст NCO – 33,5 %, тоді як PMDI має середню функціональність 2,7 з вмістом NCO приблизно 30,5 %. Вміст HCl зазвичай нижче 200 ppm. PMDI дешевший за чистий MDI і має нижчу температуру плавлення (рідина при кімнатній температурі) через підвищену асиметрію. Він менш схильний до димеризації і, як наслідок, більш стабільний під час зберігання, ніж чистий MDI. PMDI використовується, коли колір готового клею не має значення [35].

Відмінні прикладні властивості PMDI та виготовлених на його основі дерев'яних плит ґрунтуються на особливих властивостях PMDI, особливо на чудовій змочуваності дерев'яної поверхні порівняно з поліконденсаційними смолами на водній основі. Завдяки цьому можна також склеювати поверхні з поганою змочуваністю, такі як солома. За даними Larimer [36], кути змочування для PMDI на різних поверхнях набагато нижчі, ніж для UF-смол. Крім того, ці смоли добре проникають у поверхню деревини, що, мабуть, визначається низькою молярною масою PMDI порівняно з поліконденсаційними смолами. Marcinko та ін. [37] у своїх дослідженнях, використовуючи твердотільні C-NMR, DSC, флуоресцентну мікроскопію та DMA, виявили, що PMDI може проникати в деревину в 5-10 разів глибше, ніж PF-смоли. PMDI не тільки проникає в макроскопічні порожнини деревини, але навіть проникає в полімерну структуру деревини. Це забезпечує хорошу механічну фіксацію. Хороша здатність PMDI до змочування і проникнення іноді може спричинити появу "голодних" клейових ліній. Завдяки високій реакційній здатності PMDI та його низькій молярній масі утворюється особливий міжфазний шар між поверхнею деревини та адгезивом. Якщо затвердіння відбувається швидше, ніж термодинамічно індукована десорбція під час реакції затвердіння, то може утворитися

полісечовина/біуретова мережа проникаючи в мережу складових деревини. Ковалентні зв'язки, а також вторинні сили можуть допомогти уникнути реакції десорбції під час затвердіння.

Marcinko [38] показав, що ізоціанати легко поширюються на поверхні деревини: 2–3 % ізоціанату достатньо, щоб утворилася плівка, яка повністю покриває деревину, що неможливо навіть при використанні 6 % фенольної смоли. Хороша мобільність MDI базується на кількох параметрах [38]:

- MDI не містить води, тому не може втратити свою рухливість під час адсорбції;

- на поверхні деревини низький поверхневий натяг (близько 50 мН/м) порівняно з водою (76 мН/м) низька в'язкість;

- Неможливість розведення.

PMDI водою була вирішена шляхом введення емульгованого PMDI, який часто називають EMDI, що дозволяє рівномірно розподіляти клей під час процесу склеювання. EMDI є продуктом реакції PMDI з поліпіклолями. EMDI виробляється під високим тиском і диспергується у воді.

Поліуретанові клеї (рис. 1.6) утворюються в результаті реакції різних типів ізоціанатів з поліолами. Полярна уретанова група дозволяє приклеювати клей до різних поверхонь. Залежно від використовуваної сировини, можна отримати клейові лінії з гумоподібною або еластично-крихкою твердою поведінкою. Кінцеві групи визначають тип клею – реактивний чи фізично твердіючий.

Однокомпонентні ізоціанатні клейові системи складаються з ланцюгів з ізоціанатними групами на кінцях. Реакція цих груп з вологістю поверхонь призводить до утворення затверділої системи. Один з матеріалів, який має бути склесним, повинен містити воду, необхідну для затвердіння.



Рис. 1.6. Поліуретановий клей [38]

Ці клеї вимагають розведення органічними розчинниками або високої температури через їхню високу в'язкість. Вони також можуть включати інші компоненти, такі як розріджувачі, наповнювачі та інші речовини. З'єднання досягає міцності протягом кількох годин і повністю затвердіє протягом декількох днів. Реакція ізоціанатних груп з вологою у деревині викликає спінювання. З'єднання мають добру стійкість до впливу вологи та води [2, 8].

Двокомпонентні клейові системи складаються з поліолу або поліаміну та ізоціанату. Їх затвердіння починається зі змішування цих двох компонентів.

Низька в'язкість цих компонентів дозволяє їх використовувати без розчинників. Вагове співвідношення компонентів визначає властивості з'єднання. Гнучкі зв'язки отримуються за умов, коли використовуються лінійні поліолі та мала кількість ізоціанатів, а жорсткі та крихкі зв'язки – при використанні розгалужених поліолів та великої кількості ізоціанатів. Час життєздатності двокомпонентних систем залежить від реакційної здатності компонентів, температури та каталізаторів і може варіюватися від 0,5 до 24 годин. При кімнатній температурі затвердіння відбувається протягом 3–20 годин [2, 10].

Дослідники вже довго вивчають клейові смоли на основі біологічних матеріалів, але вони ще не мають широкого застосування в промисловості, особливо в Європі. Використання клеїв на основі природних та відновлюваних ресурсів вимагає нових технологій та методів. Хоча синтетичні клеї стають все популярнішими, процеси, що базуються на хімічній модифікації природних

продуктів, відкривають шлях до створення високоякісних продуктів з кращими характеристиками. Використання природних матеріалів має багато переваг, таких як менша токсичність та здатність до біологічного розпаду, але методи виробництва повинні бути ефективнішими й дешевшими. Важливо враховувати регіональні та видові відмінності при виборі сировини, а також розробити економічно ефективні методи виробництва. Постачання сировини повинно бути безперебійним протягом життєвого циклу продукту. Крім того, сировина не повинна бути обмеженою географічними чи кліматичними умовами, а збирання її не повинно сильно змінюватися в різних місцях та пори року. Ключ до більшого використання натуральних матеріалів у промисловості полягає у контролі над цими змінними, щоб забезпечити стабільність результатів [39].

Танін (дубильні речовини, рис. 1.7) – це полігидроксифеноли рослинного походження, які розчиняються у воді, спиртах та ацетоні й здатні коагулювати білки. Їх отримують шляхом екстракції з деревини, кори, листя та фруктів. Іншими компонентами екстракційних розчинів є цукри, пектини та інші полімерні вуглеводи, амінокислоти та інші речовини. Недубильні речовини можуть зменшувати руйнування деревини та знижувати водостійкість склеєних з'єднань [40].



Рис. 1.7. Таніновий герметик [40]

Основним параметром для застосування дубильних речовин як клеїв для деревних плит є вміст реакційноздатних поліфенолів і реакційна здатність цих

компонентів до формальдегіду. Дубильні речовини можуть використовуватися як клеї самостійно (з формальдегідним компонентом як зшиваючим елементом) або в комбінації з амінопластичними або фенольними смолами. Ці смоли можуть

вступати в хімічну реакцію з таніновим компонентом в реакції поліконденсації, утворювати тільки дві взаємопроникні сітки або обидві. Найпростіша рецептура

клеюв суміші складається з розчину таніну і порошкоподібного параформальдегіду як зшивача [41]. Додавання параформальдегіду може спричинити в короткостроковій перспективі відносно високий рівень емісії

формальдегіду. Описані й використовуються в промисловості клеюві суміші з

використанням параформальдегіду для виробництва деревостружкових плит з низьким рівнем емісії формальдегіду [42].

Лігніни – це великі тривимірні полімери, що виробляються всіма судинними наземними рослинами; вони поступають лише целюлозі за

поширеністю в природі і є, по суті, "природним клеєм", який скріплює рослинні волокна разом. Лігніни – це фенольні матеріали. Вони в основному отримуються

як побічний продукт у процесах целюлозно-паперової переробки деревини, що за оцінками перевищує 75 мільйонів тонн на рік. Тому існує великий інтерес до

їх можливого застосування. Лігніни з дуже різним хімічним складом і можливими застосуваннями у виробництві деревних плит (клеї, добавки для

часткової заміни клеїв, сировина для синтетичних смол) описані у великій кількості статей і патентів. Дослідження клеїв на основі лігніну налічують понад

100 років, при цьому наводиться багато окремих прикладів смол, що містять лігнін. Насправді існуючі застосування дуже рідкісні. Наразі не відомо про

жодне промислове використання лігніну як чистого клею для деревини, незважаючи на те, що значна кількість досліджень була спрямована на

виробництво клеїв для деревини з лігнінів. Самі по собі лігніни не мають жодних переваг з точки зору хімічної реакційної здатності, якості продукції або кольору

порівняно зі звичайними клеями для деревини. Найбільшими недоліками лігнінів у застосуванні в якості клеїв є (і) їх низька реакційна здатність і, отже,

повільне затвердіння порівняно з фенолом через меншу кількість

реакційноздатних ділянок у молекулі, що призводить до збільшення часу пресування, і (ii) занепокоєння з приводу хімічної варіабельності сировини. Хімічна структура лігніну дуже складна, причому, на відміну від таніну, окремі молекули не закріплені за якоюсь певною структурою, тому для лігніну з хвойних, листяних порід деревини або зернових не існує справжньої загальної молекули. Лігносульфонати можна додавати до синтетичних клейових смол як розріджувачі (шляхом часткової заміни смоли). Часткова заміна фенолу в процесі варіння ФФ-смол не має реального промислового значення.

Гарячі клеї розплави – це 100 % тверді термопластичні сполуки (рис. 1.8), які з'єднуються і наносяться в розплавленому стані при підвищеній температурі, а отримані властивості набувають при охолодженні. Завдяки швидкому охолодженню з'єднання можуть бути встановлені за дуже короткий час. Крім того, клей-розплав може бути розплавлений повторно, коли він вже знаходиться на лінії склеювання.



Рис. 1.8. Клеї розплави [42]

Перевагами клеїв-розплавів є 100 % тверді, не містять органічних розчинників, не потребують випаровування води або розчинника; низькі вимоги щодо безпеки праці та навколишнього середовища простий у використанні, швидке захоплення забезпечує високу швидкість роботи (до 100 м/хв), швидке збільшення міцності з'єднання висока міцність з'єднання ефективне склеювання навіть важко склеюваних поверхонь: поліетилен (PE), поліпропілен (PP), лаки та інші поєднання гнучкості та міцності адгезія до різноманітних поверхонь навіть без ґрунтовки висока варіативність рецептури (колір, в'язкість при нанесенні,

температура та інші) практично необмежений термін зберігання, легке зберігання немає часових обмежень у застосуванні, отже, немає проблем з терміном життя, відсутність забруднення обладнання та прилипачів, завдяки точно дозованому нанесенню, хороший контроль температури під час нанесення, простота використання в автоматизованому виробництві системи [2, 9].

Недоліки гарячих розплавів полягають у наступному: холодна течія: гарячі розплави повзуть під механічним навантаженням, навіть за набагато нижчої температури плавлення; зв'язки можуть повільно розкриватися, і цей ефект прискорюється при більших температурах; низька термостійкість при підвищених температурах через термопластичну поведінку, втрата міцності з'єднання чутливість певних субстратів до необхідної температури нанесення деградація при підвищеній температурі (колір, в'язкість) [2, 6].

Полівінілацетатні клеї (ПВА) – ще один важливий тип термопластичних клеїв, особливо у виробництві меблів і столярних виробів. Вони утворюють з'єднання в процесі фізичного процесу, втрачаючи свій водний вміст для двох дерев'яних матеріалів, що склеюються.

Клеї ПВА (рис. 1.9) готові до використання, мають короткий час схоплювання і дають гнучкі та непомітні з'єднання. Вони легко очищаються і мають тривалий термін зберігання. Обмеженнями є їхня термопластичність і здатність до повзучості. Завдяки різноманітним варіаціям (продукти гомо- або кополімеризації, немодифіковані або модифіковані, з пластифікаторами або без них) клеї ПВА демонструють велику різноманітність властивостей для обробки та склеювання. Різні склади відрізняються в'язкістю, швидкістю висихання, кольором з'єднання, гнучкістю або крихкістю, твердістю або гладкістю та іншими характеристиками [2, 7].



Рис. 1.9. Клей ПВА [7]

Принцип склеювання клеїв ПВА ґрунтується на видаленні води шляхом проникнення в дерев'яну основу або випаровування в навколишнє повітря. Формування з'єднання також вимагає застосування відповідного тиску. Остаточна міцність з'єднання досягається після міграції залишкової води від з'єднання. Мінімальна температура утворення плівки (або точка білого кольору) становить $4-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ [2, 8], залежно від типу клею і додавання пластифікаторів. Ця температура визначається головним чином температурою склування T_g використуваного полімеру, яка для ПВА становить приблизно $28\text{ }^{\circ}\text{C}$. Параметрами, що впливають на час висихання, є тип клею, тип дерев'яної поверхні, всмоктувальна здатність дерев'яної основи, вологість деревини, відносна вологість і температура навколишнього повітря, кількість нанесеного клею, а також температура клею і дерев'яної поверхні.

Залежно від рецептури, можна досягти різних ступенів водостійкості. Для двокомпонентних клеїв ПВА зшивання і, отже, термореактивність досягається додаванням загврдлїлїх смол (наприклад, на основі формальдегіду), комплексних солей (на основі хрому (Cr III), наприклад, нітрату хрому, або алюмінію (Al III), наприклад, нітрату алюмінію) або ізоціанату [2]. Після цього з'єднання стають стійкими до високих температур і впливу води.

Додавання комономерів під час полімеризації дозволяє отримати вищу гнучкість порівняно з гомополімерами ПВА. Це також призводить до нижчої температури склування і нижчої мінімальної температури утворення плівки [2, 10]. Можливими комономерами є ефіри акрилової кислоти

(бутилакрилат, 2-етилгексилакрилат), діалкілфумарати, етилен та інші.

Пластифікатори пом'якшують плівку і підвищують адгезію та швидкість схоплювання. Найпоширенішими є фталати та бензоати. Кількість додавання може бути в широкому діапазоні 10–50 % за вагою. Вони впливають на набухання і розм'якшення частинок ПВА і, таким чином, забезпечують плівкоутворювальну здатність при кімнатній температурі, адгезію ще вологої та висохлої з'єднання, а також кращу водо- і вологостійкість з'єднання. Недоліками є нижча стійкість з'єднання до нагрівання, можлива міграція пластифікаторів і посилений холодний потік.

Наповнювачі (карбонат кальцію, сульфат кальцію, оксид алюмінію, бентоніти, деревне борошно) підвищують вміст твердої речовини в дисперсії, і їх додають до 50 % на основі ПВА. Метою їх додавання є зменшення глибини проникнення, тиксотропна поведінка клею, властивості заповнення щілин і зниження витрат на клей [2]. Недоліками можуть бути збільшення точки білого кольору і, можливо, більш помітний знос інструменту через більшу твердість клею. До складу ПВА також входять піногасники, стабілізатори, диспергатори наповнювачів, консерванти, загусники (гідроксиетилцелюлоза, карбоксиметилцелюлоза), полі(вінілові спирти), крохмаль, змочувачі, клейкі речовини, розчинники (спирти, кетони, складні ефіри), антипірени та інші компоненти.

Міцність з'єднання ПВА знижується при високих температурах через термопластичну поведінку самого клею. Чим вища середня молярна маса полімеру, тим менша ця температурно-залежна втрата міцності. При довготривалому навантаженні клеї ПВА схильні до холодної течії, особливо якщо до складу клею входять пластифікатори. Обидва ефекти обмежують термостійкість лінії зв'язку з ПВА і, як правило, довготривалу міцність під навантаженням при високих температурах ($>40\text{ }^{\circ}\text{C}$) [2, 5].

1.2. Умови експлуатації клеєних конструкцій

Меблі повинні бути захищеними від тривалого впливу прямих сонячних променів, оскільки це може викликати зміну (потьмяніння) фасадів та інших деталей [43]. Не можна допускати впливу сонячних променів на меблі в цілому та зокрема на їх відкриті ділянки, оскільки це може спричинити кольорову відмінність ділянок та елементів які складають меблі (рис. 1.10). Вказана відмінність є підком природною, а тому не може вважатись ознакою низької якості меблевого виробу.



Рис. 1.10. Вплив світла на деревину [43]

Протяги в приміщенні, високе значення тепла, низьке значення холоду, а також раптові перепади температури (від тепла до холоду та навпаки) можуть серйозно пошкодити меблевий виріб або його частини. Якщо меблі знаходяться на відстані менше ніж 45 сантиметрів від нагрівальних пристроїв (електричні й газові плити, радіатори та інші джерела електричного освітлення й мікрохвильових випромінювачів) та не передбачені для цього, то слід провести теплоізоляцію з метою запобігати виникненню плям (рис. 1.11), прискореного старіння лакофарбового покриття та деформації меблевих щитів. Рекомендована температура повітря в приміщенні при зберіганні та експлуатації меблів повинна бути не нижче $+2^{\circ}\text{C}$ і не вище $+40^{\circ}\text{C}$ [43]. Не можна допустити впливу на меблі гарячих, розжарених предметів (праски, посуд з кип'ятком та ін.), а також тривалого впливу випромінювань, що спричиняють нагрівання (світло потужних

лампи, лампи розжарювання, нескрановані мікрохвильові випромінювачі та ін.).



Рис. 1.11. Вплив високої температури на деревину [43]

В приміщенні, де зберігаються чи експлуатуються меблі рекомендується дотримуватись режиму вологості. Для меблів із вологостійких матеріалів (скло, пластик, MDF під лаком, вологостійке ДСП і стільниці зі штучного каменю. Кварциту та інші матеріали) відносна вологість в приміщенні повинна становити 40–85 %, для інших матеріалів оптимальна відносна вологість 45–65 %.

Істотне відхилення від вказаного режиму приводить до значного погіршення споживчих властивостей меблів. Не варто підтримувати протягом тривалого часу умови крайньої вологості чи сухості в приміщенні. А тим більше чіж періодичної зміни.

З плином часу такі умови можуть вплинути на цілісність меблевих виробів чи їх елементів (розсихання, усушка, розшарування, розтріскування та ін. (рис. 1.12))

[43]. Однак, якщо такі умови, то рекомендовано частіше провітрювати приміщення та, по можливості, користуватись осушувачами чи зволожувачами повітря для нормалізації вологості. Поверхні меблів повинні завжди бути сухими.

Тому їх слід оберегати від попадання вологи для уникнення розбухання наркасів, фасадів та стільниці, а також запобігти відклеюванню кромки на бокових поверхнях.



Рис. 1.12 Вплив вологості на меблі [43]

Недопустимо потрапляння на лакові поверхні рідин, що розчиняють лакофарбові плівки (спирт, ацетон, бензин та ін.). В жодному разі не допускати впливу на меблеві вироби агресивних рідин (кислот, лугів, масел, розчинників і т.п.), котрі містять такі рідини чи їх випаровування. Подібні речовини й сполуки є хімічно активними – реакція з ними спричинить негативні наслідки для майна чи навіть здоров'я [43]. Слід обережати поверхні меблів та їх конструктивні елементи від механічних пошкоджень, котрі можуть бути спричинені впливом твердих предметів, абразивних порошоків, а також надмірними фізичними навантаженнями.

Догляд за дерев'яними поверхнями й деталями меблів зі шпонованого MDF. Дерево боїться змін вологості і високих температур, його легко пошкодити механічним шляхом, воно потребує постійного догляду. З іншого боку, дерево має ні з чим незрівнянну красу, буквально випромінює тепло, не загрожує здоров'ю, і, нарешті, цей матеріал можна багаторазово "реанімувати". Не забувайте, що дерев'яні поверхні з часом можуть змінити свій зовнішній вигляд не лише від кліматичних властивостей і умов довкілля, але і від того, як за ними доглядав власник. Вологість в приміщенні не має бути нижче 40 % і вище 60 %.

Взимку зазвичай вологість опускається до 15-25 % і це може привести до втрати природної вологи дерева і як наслідок утворення невеликих тріщин, які з підвищенням вологості потім зникають. Щоб уникнути цього, рекомендуємо використовувати зволожувачі повітря взимку (а також декоративні джерела вологи: акваріум, фонтан, кімнатні рослини і тому подібне). Рекомендується для чищення переважно користуватися сухою м'якою тканиною з використанням спеціально призначених для цього очисників. Видаляти забруднення з поверхні меблів треба засобами на основі мила, оскільки саме мило якнайкраще видаляє жирний бруд (чи жир). Воскова плівка при митті постраждає – її треба відновити, для цього корпусні меблі слід обробляти восковим засобом хоч би раз на пів року. У меблевому виробництві використовують м'які й тверді породи деревини. Тверді породи деревини досить міцні. До них відноситься акація, дуб, береза,

бук, клен, ясен, вишня. М'які породи деревини, такі як сосна і вільха вимагають дбайливого відношення і навіть незначна механічна дія або тиск здатні залишити слід на виробі, тому з ними треба поводитись обережно.

Умови навколишнього середовища для меблів [45]:

- **Світло:** не допускайте прямого впливу сонячних променів на меблі. Тривалий прямий вплив сонячних променів на деякі ділянки або фасади може викликати зміну кольору цих ділянок. В результаті, при заміні або додаванні деяких елементів в гарнітур, можливі видимі відмінності в кольорі, що не рахується ознакою неякісних меблів. Ця відмінність стане менш помітною з плином часу.

- **Вологість.** 45–70 % – рекомендована відносна вологість в місці знаходження меблевого виробу. Наявність підвищеної вологості в приміщенні, де знаходиться кухонний гарнітур, з часом позначиться на цілісності меблевих елементів або їх окремих частин. При потраплянні вологи на меблі відразу витерти насухо. Поверхню меблів необхідно завжди тримати в сухому стані. Під час приготування їжі обов'язково використовуйте кухонні витяжки для підтримки оптимальної вологості в приміщенні і запобігання прямого попадання пару на корпусні і фасадні деталі виробу, що з часом може призвести до погіршення його якості і зовнішнього вигляду (викликати відшарування крайки, здуття матеріалу, деформацію тощо).

- **Температура:** рекомендована температура повітря для зберігання та експлуатації меблів від +10 °С до +35 °С. Уникайте контакту гарячих предметів (праска, каструля, сковорода тощо) з меблями або тривалої дії випромінювань, які викликають нагрівання (світло потужних ламп, нескрановані мікрохвильові випромінювачі тощо). Витяжка повинна бути постійно включена при вмиканні плити, та конструктивно не повинна нагріватися до надмірної температури, яка призведе до руйнування меблів або частин меблів. Елементи кухонних меблів (корпуса та фасади), розташовані поблизу газової або електричної плити (або духовки), схильні до підвищеного теплового навантаження, тому рекомендується відокремлювати їх від джерел

тепла відповідними теплоізоляційними планками.

Догляд за корпусами та фасадами [44]:

- Фасади слід оберігати від потрапляння на них будь-яких агресивних рідин (розчинників, бензину, кислот, ацетону, миючих засобів та ін.), також потрапляння натуральних та хімічних фарбників (кава, соки, барвники та ін.).

- Періодично протирайте поверхні зволоженою м'якою тканиною. Серветки (тканина) не повинні містити в своєму складі будь-яких агресивних хімічних речовин, сполук і вкраплень абразивних матеріалів та елементів.

- У разі заміни або додаванні нових компонентів в інтер'єр з одних і тих же колекцій в різні моменти часу, а також з різних партій, може виникнути кольорова відмінність фасадів. Дана відмінність не може вважатися ознакою низької якості меблів. Як правило, вона стає менш помітною з плином часу і є абсолютно природною.

Отже проаналізовано основні види клеїв, що застосовуються у деревообробці карбамідоформальдегідні, фенол-формальдегідні, поліуретанові, полівінілацетатні тощо. Визначено їх переваги та недоліки, особливості складу і технологічних властивостей.

Досліджено умови експлуатації клеєних виробів - вплив світла, вологості, температури та інших факторів. Показано необхідність дотримання певного температурно-вологісного режиму та обережного поводження для забезпечення тривалого терміну служби виробів.

Встановлено, що правильний підбір клею з урахуванням умов експлуатації потових виробів є важливим чинником для забезпечення міцності клеєвих з'єднань та стійкості конструкцій до дії зовнішніх факторів. Це питання потребує подальших досліджень у наступних розділах роботи.

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ II

ВИБІР ПРІОРИТЕТНОГО КЛЕЮ ДЛЯ ЛИЧКУВАННЯ

Проведено порівняльний аналіз за методом розставляння пріоритетів.

Метод оснований на складанні матриць, для кінцевої оцінки якого використовують ітераційну процедуру розрахунку, що суттєво уточнює отримані оцінки. Суть методу полягає в попарному якісному порівнянні пріоритетів конкурентних об'єктів (один кращий за іншого, або гірший, або рівноцінний за якоюсь властивістю іншому) з подальшим переходом на кількісні оцінки з використанням конкретних значень показників властивостей конкурентів, а за їх відсутності – експертних оцінок. Порівняння проводять в матричній формі, що дозволяє надалі за відповідної математичної обробки отримати кількісні значення пріоритетів рішень конкурентних рішень (об'єктів) по кожній властивості окремо і за комплексом показників (ознак).

2.1. Обґрунтування підбору клеїв

Проаналізовано ринок клею підвищеної вологостійкості та враховано характеристики під час нанесення та експлуатації. Коротка характеристика клеїв [45] з критеріями для порівняння наведена в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Технологічні характеристики вологостійких клеїв

Марка клею	В'язкість, МПа·с	Щільність, г/см ³	Кількість клею, що наноситься, г/м ²	Мінімальний час пресування, хв	Ціна, грн/кг
Rakoll/Express D3	13000	1,1	160-180	8-15	158,90
Rakoll ECO-4	6000	1,08	150-180	8-16	184,70
FOLLMANN FOLCO LIT D4 W91	12000	1,08	140-180	8-12	164,20
FOLLMANN FOLCO LIT X 3000	12000	1,08	140-180	10-14	128,80
Woodmax WR 13.50M	13000	1,05	90-180	15-30	143,00

Для дослідження були вибрані клеї фірми RAKOLL та FOLIMAN як представники високого класу якості.

Оскільки кухонні меблі експлуатуватимуться в умовах підвищеної вологості та температури, вибрано класи D3 та D4.

Клас вологостійкості D3 дозволяє експлуатувати вироби в умовах довготривалої вологості повітря або короткочасного впливу поточної води.

Клас вологостійкості D4 допускає тривалий вплив на клейовий шов води або високу вологість. Застосування виробів, виготовлених із застосуванням клеїв класу D4, допускається і зовні приміщень, але за умови якісного захисту клейового шва.

При використанні клеїв важливі наступні характеристики.

В'язкість вказує на можливість його застосування для різних видів склеювання (робоча в'язкість). Характеризує плинність клею і в деяких випадках (клеї тваринного походження) прямо пропорційна клейовій здатності. Крім того, від в'язкості залежить збереження клею.

Щільність клею – це маса, віднесена до одиниці об'єму, показує скільки грам, наприклад, клею або дисперсії знаходиться в одному кубічному сантиметрі продукту. Щільність містить непряму інформацію про наявність у складі наповнювача клею.

Кількість клею що наноситься вказує на об'єм клею що потрібно використати на 1 м².

Час пресування – залежить від породи деревини і її вологості, температури й вологості повітря, від кількості нанесеного клею і від напружень, що виникають у склеюваних матеріалах. Пресування проводиться до моменту досягнення міцності з'єднання, достатньої для подальшої обробки або транспортування деталі.

Час відкритої витримки – необхідний для проникнення клею в пори деревини для створення якісного «клейового замку», і характеризує час, протягом якого необхідно з'єднати заготовки з нанесеним на них клеєм один з одним і прикласти тиск пресування.

Точка відбілювання характеризує мінімальну температуру плівкоутворення. Нижче цієї температури клейова плівка утворюється з розривами або зовсім не утворюється. Використовувати клей нижче за точку біління не можна. Точка відбілювання вказується лише для вододисперсійних клеїв.

Високоякісний німецький клей для дерева Раколл Д3 (Rakoll D3 [46]) – не містить розчинників пастоподібний на основі дисперсії штучної смоли для приклеювання мозаїчного та дрібного паркету, штучного паркету, а також готового (двошарового) паркету на підготовлені до укладання, що володіють поглинаючою здатністю, наприклад, цементну стяжку, ангідридну стяжку (рідкий ангідрид) та ДСП. Клей Rakoll D3 готовий до застосування (рис. 2.1), пожежобезпечний, придатний для використання при підлогах, що обігріваються.



Рис. 2.1. Клей Rakoll Express D3 [46]

Клей для столярних виробів Раколл Д3 застосовується для склеювання деталей внутрішніх та зовнішніх елементів, що піддається частому, але короткочасному впливу води, допускається використання на елементах, що піддаються появі точки роси (конденсату), стійкий до впливу високим рівнем вологості. Не рекомендується використовувати для зовнішніх елементів або конструкцій в районах з великими перепадами температур.

Призначений у деревообробній промисловості як основний клей для склеювання дерев'яних виробів.

Раколл Екопрес D3 найчастіше застосовується: деталі інтер'єру з частим короткочасним впливом води, конденсату та/або тривалим впливом високої вологості повітря (При застосуванні зовні захищати від кліматичних впливів).

Раколл Еко 4 клей D4 (рис. 2.2) [47] на основі ПВА однокомпонентний має водостійкість групи D4. Застосовують для склеювання при виробництві віконного бруса та для всіх типів столярних виробів, кроквяних систем, облицювання плит ДСП шаруватими пластиками. Утворює клейові шви, що відповідають найвищим вимогам DIN EN 204 групі навантажень D4 та WATT 91: 8 Н/мм².



Рис. 2.2. Клей Rakoll ECO 4 [47]

D4 застосовується в деталях інтер'єру з частим сильним впливом води або конденсату можна використовувати для зовнішніх робіт при відповідному захисті верхньої поверхні

Використання

Облицювання декоративними плівками з фініш-ефектом.

Склеювання у полі струмів високої частоти.

Стаціонарне облицювання кромок шпоном, штучними ламінатами та рейками з масивної деревини.

Корпусне та монтажне склеювання із середнім часом пресування та установками попереднього нагріву.

Оклеювання на шпалку фугу та склеювання елементів з м'якої, твердої деревини та ДСП.

Виготовлення віконного бруса.

Дверного полотна.

Меблеві щити (ламінату, дерев'яні дошки, дерев'яні підвіконня).

Меблеві корпусні конструкції.

Облицювання декоративними плівками, облицювання МДФ, ДСП шпоном.

Облицювання штучними ламінатами, пластиками (постформінг, софтформінг).

FOLCO® LIT D4 W91 (рис. 2.3) [48] – спеціально складений комбінований клей на основі невиконаної ПВА (полівінілацетат) дисперсії, що містить плівкуформуєчі та модифіковані добавки, поверхневі активні речовини. Не містить етилового спирту.



Рис. 2.3. Клей FOLCO® LIT D4 W91 [48]

Область застосування

- Для термокаширування декоративних плівок облицювання;
- для склеювання по пласті, включаючи HPL/СPL, в прохідних пресах склеювання корпусів і конструкційних елементів;
- склеювання дощок та блоків з м'якої і твердої деревини, деревино-

стружкових плит.
 Властивості: висока вологостійкість, термостійкість $> 7 \text{ Н/мм}^2$, відповідає вимогам загоряння, щільності диму і токсичності (відповідає до IMO FTP частини 2 та 5), забезпечує високу кінцеву міцність клейового шва при короткотривалому пресуванні, особливо при підвищених температурах.

Німецький клей ПВА Д3 FOLLMANN FOLCO LIT X 3000 (рис. 2.4) [48] використовується як універсальний клей по дереву та для склеювання столярних виробів. Клей відрізняється високою вологостійкістю групи D3.



Рис. 2.4. Клей FOLLMANN FOLCO LIT X 3000 [48]

Блокове склеювання.
 Склеювання дошок.
 Склеювання корпусів та елементів конструкцій.
 Склеювання деревинно-стружкових плит.

Термокаширування декоративних облицювальних плівок.
 Клей Woodtack WK 13.50M, клас D3 однокомпонентний клей на основі модифікованої дисперсії полівінілацетату, клас водостійкості D3 PN-EN 204.

Клейовий шов після досягнення максимальної міцності клейового з'єднання має дуже хорошу адгезію до дерев'яних поверхонь, що піддаються статичним і динамічним навантаженням, а також хорошим початковим схоплюванням.

Клей (рис. 2.5) має сертифікат, виданий інститутом ІТЦ (Розенхайм) та Інститутом деревних технологій (Познань), що підтверджує клас Д3 згідно зі стандартом PN-EN 204.



Рис. 2.5. Клей Woodmax WR 13.50M [49]

Застосування

- Склеювання цільної деревини під час виготовлення столярно-будівельних виробів для внутрішнього застосування;

- Склеювання м'якої деревини;
- Склеювання твердої деревини;
- Склеювання дерев'яних віконних блоків;
- Склеювання паркетної дошки;
- Склеювання деревостружкових та деревноволокнистих плит;
- Склеювання фанери;

- Склеювання інших деревних матеріалів;
- Призначений для застосування в холодних пресах та ручного склеювання;

- Призначений для застосування в гарячих пресах для приклеювання піпону та ламінату до ДСП та MDF.

2.2. Проведення розрахунків пріоритетного рішення за методом розставляння пріоритетів

Для якісного порівняння і-тих об'єктів побудовано квадратні матриці бінарних відношень розміром $n \times n$ (в одній матриці порівнюють і-ті об'єкти, і-тий об'єкт рядка з і-тим об'єктом стовпця), співвідношення об'єктів виражено символами краще $>$, дорівнює $=$, гірше $<$.

Для переходу до кількісних оцінок на основі відомої інформації або за допомогою бальної експертної оцінки по кожному показнику визначають у скільки разів найкращий об'єкт відрізняється від найгіршого, K_{ij} [50]:

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

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

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

За найденим коефіцієнтом відношення K_j визначено коефіцієнт переваги ω_{ij} [50]:

$$\omega_{ij} = \left(\frac{K-1}{K+1} + \sqrt{\frac{0.05}{n}} \right) \quad (2.2)$$

Складено матрицю бінарних відношень для порівняння клеїв за в'язкістю – табл. 2.2, за щільністю – табл. 2.3, за кількістю клею що наноситься – табл. 2.4, за мінімальним часом пресування – табл. 2.5 та за ціною – табл. 2.6. У вказаних таблицях наведені також значення коефіцієнтів K_j і ω_{ij} .

Таблиця 2.2

Матриця порівняння клеїв за в'язкістю

	X1=13000	X2=6000	X3=12000	X4=12000	X5=13000	$K_j = X_{max}/X_{min}$	ω_j
X1=13000	=	>	>	>	=	2,17	0,47
X2=6000	<	=	<	<	<		
X3=12000	<	>	=	=	<		
X4=12000	<	>	=	=	<		
X5=13000	=	>	>	>	=		

Порівнюючи пріоритетним є клей з більшою в'язкістю через його більшу

проникність, що покращує якість склеювання, а також полегшує роботу з ним через більшу текучість.

Таблиця 2.3

Матриця порівняння клеїв за щільністю

	X1=1,1	X2=1,08	X3=1,08	X4=1,08	X5=1,05	K2=X _{макс} /X _{мін}	ω2
X1=1,1	=	>	>	>	>	1,05	0,12
X2=1,08	<	=	=	=	>		
X3=1,08	<	=	=	=	>		
X4=1,08	<	=	=	=	>		
X5=1,05	<	<	<	<	=		

Виходимо з того що чим менше домішків, тим краща якість склеювання.

Таблиця 2.4

Матриця порівняння клеїв за кількістю, що наноситься

	X1=170	X2=165	X3=160	X4=160	X5=135	K3=X _{макс} /X _{мін}	ω3
X1=170	=	>	>	>	>	1,26	0,21
X2=165	<	=	=	=	>		
X3=160	<	<	=	=	>		
X4=160	<	<	=	=	>		
X5=135	<	<	<	<	=		

Відповідно чим менші затрати клею, тим ефективніше його використання в економічному плані.

Таблиця 2.5

Матриця порівняння клеїв за часом пресування

	X1=11,5	X2=12	X3=10	X4=12	X5=22,5	K4=X _{макс} /X _{мін}	ω4
X1=11,5	=	>	<	>	>	2,25	0,48
X2=12	<	=	=	>	>		
X3=10	>	=	=	>	>		
X4=12	<	<	<	=	>		
X5=22,5	<	<	<	<	=		

Зменшення затрат часу на пресування збільшить кількість облицьованих

деталей за одиницю часу, а значить збільшити.

Таблиця 2.6

Матриця порівняння клейів за ціною

	X1=158,9	X2=184,7	X3=164,2	X4=128,8	X5=143,0	K5=X _{макс} /X	ω5
X1=158,9	=	>	<	>	>	мін 1,43	0,28
X2=184,7	<	=	>	<	<		
X3=164,2	<	>	=	<	<		
X4=128,8	>	>	>	=	>		
X5=143,0	>	>	>	<	=		

Порівнюючи обладнання за ціною слід виходити з необхідності зменшення інвестицій, тобто чим дешевшим є клей, тим він більш привабливий.

Потім визначено члени a_{ij} матриць суміжності A_j , що замінюють матриці бінарних відношень. Члени a_{ij} матриць суміжності $A_j = \| a_{ij} \|$ визначено наступним чином [50]:

$$a_{ij} = 1 + \omega \text{ при } X_{ij} > X_{ej} \quad 1 + \omega X_{ij} = X_{ej} \quad 1 + \omega \text{ при } X_{ij} < X_{ej}, \quad (2.3)$$

Для визначення пріоритету кожного i -го об'єкту по j -му показнику P_{ij} і пріоритету показника P_j вводять поняття потужності критерію L -го порядку $P(L)$, що розраховується по рядках [50]:

$$P(L) = A \cdot P(L - 1), \quad (2.4)$$

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

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

P_{ij} та P_j визначають з [50]:

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

$$P_j(L) = \frac{P_j(L)}{\sum_{j=1}^m P_j(L)}, \quad (2.8)$$

За формулою (2.3) розраховано члени відповідної матриці суміжності (табл. 2.7 – 2.11) і занесено у ці ж таблиці результати розрахунків пріоритетів за

	X1=1,1	X2=1,12	X3=1,12	X4=1,12	X5=1,12	Pi1	Pi1*	Pi2	Pi2*	Pi3	Pi3*	
X1=1,1	1	1,12	1,12	1,12	1,12	5,48	0,22	27,34	0,22	136,20	0,22	
X2=1,08	0,88	1	1	1	1,12	5,00	0,20	24,88	0,20	123,96	0,20	
X3=1,08	0,88	1	1	1	1,12	5,00	0,20	24,88	0,20	123,96	0,20	
X4=1,08	0,88	1	1	1	1,12	5,00	0,20	24,88	0,20	123,96	0,20	
X5=1,05	0,88	0,88	0,88	0,88	1	4,52	0,18	22,54	0,18	112,30	0,18	
						Σ	25,00	1,00	124,54	1,00	620,39	1,00

Таблиця 2.9

Матриця суміжності для порівняння клеїв за кількістю, що наноситься

	X1=170	X2=165	X3=160	X4=160	X5=135	Pi1	Pi1*	Pi2	Pi2*	Pi3	Pi3*	
X1=170	1	1,21	1,21	1,21	1,21	5,84	0,23	29,02	0,24	143,13	0,24	
X2=165	0,79	1	1,21	1,21	1,21	5,42	0,22	26,66	0,22	131,43	0,22	
X3=160	0,79	0,79	1	1	1,21	4,79	0,19	23,51	0,19	115,96	0,19	
X4=160	0,79	0,79	1	1	1,21	4,79	0,19	23,51	0,19	115,96	0,19	
X5=135	0,79	0,79	0,79	0,79	1	4,16	0,17	20,62	0,17	101,76	0,17	
						Σ	25,00	1,00	123,32	1,00	608,24	1,00

Таблиця 2.10

Матриця суміжності для порівняння клеїв за часом пресування

	X1=11	X2=12	X3=10	X4=12	X5=22,5	Pi1	Pi1*	Pi2	Pi2*	Pi3	Pi3*	
X1=11	1	1,48	0,52	1,48	1,48	5,96	0,24	27,96	0,24	129,96	0,24	
X2=12	0,52	1	1	1,48	1,48	5,48	0,22	25,56	0,22	119,29	0,22	
X3=10	1,48	1	1	1,48	1,48	6,44	0,26	31,28	0,27	146,13	0,27	
X4=12	0,52	0,52	0,52	1	1,48	4,04	0,16	17,90	0,15	83,42	0,15	
X5=22,5	0,52	0,52	0,52	0,52	1	3,08	0,12	14,48	0,12	67,88	0,12	
						Σ	25,00	1,00	117,17	1,00	546,66	1,00

Таблиця 2.11

Матриця суміжності для порівняння клеїв за ціною

	X1=158,9	X2=184,7	X3=164,2	X4=128,8	X5=143	Pi1	Pi1*	Pi2	Pi2*	Pi3	Pi3*
X1=158,9	1	1,28	0,72	0,72	1,28	5,00	0,20	24,69	0,20	120,92	0,20

X2=184,7	0,72	1	0,72	0,72	0,72	3,88	0,16	19,09	0,16	93,54	0,16	
X3=164,2	0,72	1,28	1	0,72	0,72	4,44	0,18	21,42	0,17	104,88	0,17	
X4=128,8	1,28	1,28	1,28	1	1,28	6,12	0,24	30,29	0,25	148,31	0,25	
X5=143,0	1,28	1,28	1,28	0,72	1	5,56	0,22	27,02	0,22	132,26	0,22	
						Σ	25,00	1,00	122,49	1,00	599,91	1,00

Комплексну оцінку (пріоритет) кожного об'єкту по всіх j -тих показниках визначають по формулі [50]:

$$P_j = \sum_{j=1}^m P_{ij} P_j, \quad (2.9)$$

Чим вищим є значення пріоритету, тим ефективніше об'єкт, що проєктується.

Для визначення комплексного пріоритету перш за все необхідно встановити пріоритети [50] (вагомість впливу на загальну оцінку) одиничних показників: в'язкості, щільності, кількості клею що наноситься, часу пресування, ціни. З цією метою використано метод експертних оцінок [50]. Залучено 7 експертів, які мають виставити оцінки у балах (від 1 до 5) кожному з показників – табл. 2.12.

Таблиця 2.12
Результати експертної оцінки пріоритетів показників

Кількість експертів	В'язкість, МПа			Щільність, г/см ³			Кількість клею, що наноситься, г/м ²			Мінімальний час пресування, хв			Ціна грн/кг		
	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	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	2	0,7	0,51	3	0,2	0,03	4	0,7	0,44	5	-0,3	0,11	1	2,0	4,00
2	2	0,7	0,51	1	2,2	4,69	4	0,7	0,44	5	-0,3	0,11	3	0,0	0,00

Продовження табл. 2.12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
3	2	0,7	0,51	3	0,2	0,03	5	-0,3	0,11	1	3,7	13,44	4	-1,0	1,00
4	4	-1,3	1,65	3	0,2	0,03	2	2,7	7,11	5	-0,3	0,11	1	2,0	4,00

5	2	0,7	0,51	1	2,2	4,69	3	1,7	2,78	5	-0,3	0,11	4	-1,0	1,00
6	2	0,7	0,51	3	0,2	0,03	5	-0,3	0,11	4	0,7	0,44	1	2,0	4,00
7	5	-2,3	5,22	5	-1,8	3,36	5	-0,3	0,11	3	1,7	2,78	4	-1,0	1,00
Середнє значення балу		2,71			3,17			4,67			4,67			3,00	
Середнє квадратичне відхилення		1,25			1,46			1,36			1,69			1,58	
Коефіцієнт варіації/100%		0,46			0,46			0,29			0,36			0,53	
Кек сп. 1		0,54			Кек сп. 2	0,54		Кек сп. 3	0,71		Кек сп. 4	0,64		Кек сп. 5	0,47
Загальний коефіцієнт погодження експертів								Кексп =						0,58	

Отриманий коефіцієнт за результатами узгодженості експертів розрахунків (табл. 2.12) знаходиться у межах $0,5 \leq K_E \leq 1$, тому думка експертів вважається узгодженою. Це дає можливість побудувати матрицю бінарних відношень вагомості показників – табл. 2.13.

Знаючи кількісне значення вагомості показника (середнє значення оцінки експертів), виконують розрахунки аналогічні визначенню пріоритетів одиничних показників. Побудовано квадратну матрицю бінарних відношень (табл. 2.13). По формулах (2.1 – 2.2) знайдено значення коефіцієнта K_j і коефіцієнту переваги ω_j , побудовано матрицю суміжності (табл. 2.14), попередньо змінивши символи краще > дорівнює =, гірше < на числові значення за виразом (2.3).

Таблиця 2.13

Матриця бінарних відношень вагомості показників

$Y_1 = 1,90$	$Y_2 = 1,90$	$Y_3 = 2,80$	$Y_4 = 2,80$	$Y_5 = 1,80$	$K_j = Y_{\max} /$	ω_j
					Y_{\min}	

Y1 = 1,90	=	>	<	<	<	1,56	0,32
Y2 = 1,90	=	>	<	<	<		
Y3 = 2,80	>	>	=	>	>		
Y4 = 2,80	>	>	>	=	>		
Y5 = 1,80	>	>	>	<	=		

Таблиця 2.14

Матриця суміжності для порівняння показників, що характеризують обладнання

	Y1 = 1,90	Y2 = 1,90	Y3 = 2,80	Y4 = 2,80	Y5 = 1,80	Pi1	Pi1*	Pi2	Pi2*
Y1 = 1,90	1	1,32	0,68	0,68	0,68	4,36	0,17	20,78	0,17
Y2 = 1,90	0,68	1	0,68	0,68	0,68	3,72	0,15	18,19	0,15
Y3 = 2,80	1,32	1,32	1	0,68	0,68	5,00	0,20	23,77	0,20
Y4 = 2,80	1,32	1,32	1,32	1	1,32	6,28	0,25	30,99	0,26
Y5 = 1,80	1,32	1,32	1,32	0,68	1	5,64	0,23	27,18	0,22
					Σ	25,00	1,00	120,90	1,00

Знаючи пріоритети обладнання по одиничних показниках і пріоритети показників, будують підсумкову матрицю для розрахунку комплексного пріоритету клею (табл. 2.15), який проводять за аналогією розрахунку пріоритету кожного клею:

$$(0,28 \times 0,21) + (0,15 \times 0,27) + (0,31 \times 0,17) + (0,28 \times 0,35) = 0,25.$$

Таблиця 2.15

Підсумкова матриця

Марка клею	Пріоритет клею по показниках	Пріоритет	Комплексний

	показника					пріоритет		
	1	2	3	4	5	номер	Значення	
Rakoll Express D3	0,26	0,22	0,27	0,23	0,20	1	0,17	0,24
Rakoll ECO-4	0,13	0,20	0,23	0,23	0,16	2	0,15	0,19
FOLLMANN FOLCO LIT-D4 W91	0,17	0,20	0,18	0,23	0,17	3	0,20	0,19
FOLLMANN FOLCO LIT X 3000	0,17	0,20	0,18	0,16	0,25	4	0,26	0,19
Клей Woodmax WR 13,50M, клас D3	0,26	0,18	0,14	0,14	0,22	5	0,22	0,18

Отже, за результатами проведених розрахунків методом аналізу ієрархій, найбільший комплексний пріоритет має клей марки Rakoll Express D3. Це означає, що саме цей клей є оптимальним вибором для лічкування деревних матеріалів щодо заданих критеріїв: в'язкості, щільності, витрат клею, часу пресування та ціни.

Клей Rakoll Express D3 має відносно високі показники за більшістю критеріїв і демонструє найкраще співвідношення якості та ціни. Тому саме його рекомендується обрати для подальших експериментальних досліджень міцності клейових з'єднань в різних умовах експлуатації.

Таким чином, розрахунковим шляхом обгрунтовано оптимальний вибір клею для досягнення поставленої в роботі мети.

НУБІП України

РОЗДІЛ III

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ КЛЕЇВ

3.1. Підготовка матеріалів

Вибір матеріалу для фасадів та корпусів меблів має значний вплив на якість та зовнішній вигляд кінцевого виробу. MDF і ДСП мають свої переваги та використовуються в різних виробках:

1. MDF зі шпонуваною поверхнею (дуб 0,5 мм) є відмінним вибором для фрезерованих фасадів. Виглядає натурально, має високу якість обробки та деталізації, що робить його ідеальним для створення вишуканих декоративних фасадів.

2. ДСП підходить для однопрофільних фасадів і коробок корпусних меблів. Матеріал доступний, стійкий до вологи та механічних пошкоджень. ДСП може бути покрите меламіном або ламінатом, що дозволяє отримати різноманітний дизайн та колірну гаму.

Обираючи матеріали, важливо враховувати призначення та стиль меблів, а також бюджет. Вибір MDF для фрезерованих фасадів і ДСП для корпусів забезпечує гармонійний та функціональний дизайн.

Для дослідження використовували облицьовані ці дві основи шпоном дуба з допомогою трьох клеїв – Rakoll Express L3, Rakoll ECC-4, Woodtak WR 13.50M, класе D3 – які вибрали на основі методу розставляння пріоритетів (рис. 3.1).



Рис. 3.1. Личкування зразків у вакуумному пресі

Найесення клею проводилось валиками для більш рівномірного розподілу клею. Склеювання відбувалось на вакуумному пресі. Встановивши склеєні панелі в прес, під включеними лампами видержували 15 хв при температурі 55°C , тиск дорівнював $0,7\text{ атм}$.

Після активного прогрівання проводиться витримування без нагрівуючих ламп доки температура не опуститься до $30 - 35^{\circ}\text{C}$.

Готові заготовки (рис. 3.2) надалі обрізали формуючи дві перпендикулярні крайки, розрізаються на зразки розміром $50 \times 50\text{ мм}$.



Рис. 3.2. Підготовка зразків до випробування: а – технологічне витримування; б, в – розкрій на зразки відповідного розміру.

Загалом виготовлено шість груп зразків. Перші три групи – зразки з ДСП основою, личковані шпоном із використанням клеїв Rakoll Express-D3, Rakoll ECO-4, Woodmax WR-3.50M, клас D3. Другі три групи – основа MDF, клеї ті ж.

3.2. Методика проведення досліджень

Використовуючи меблі в кухні вони піддаються впливу таких факторів як підвищена температура від кухонної плити та електро- або газової печі, підвищеної вологості від випарів при приготуванні їжі та раковини. Для проведення дослідів зразки описані вище погрупували ще на 5 груп та виконали відповідне маркування (рис. 3.3 а). Контрольна група – контрольні зразки, з ними ніяких додаткових маніпуляцій не проводили. Перша група – вологостійкість (витримували в умовах високої вологості (рис. 3.3 б), друга група – термостійкість за підвищеної температури (+ 80 °C) (рис. 3.3 в), третя група – термостійкість за низької температури (- 15 °C) (рис. 3.3 г), четверта група – загальна стійкість до зміни умов навколишнього середовища (зразки піддавали впливу всіх 3 факторів).



а



б

НУБІП України

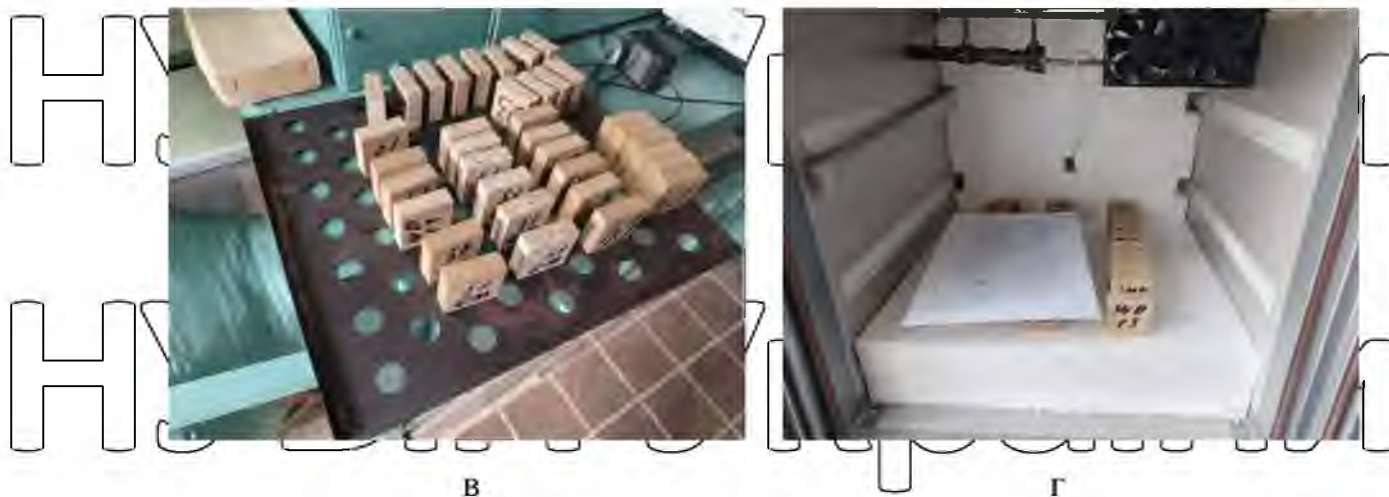


Рис. 3.3. Підготовки зразків: а – до початку; б – витримування у вологому середовищі; в – вплив високої температури; г – витримування за низької температури.

Витримування зразків відбувалось в 4 циклах, кожен з яких тривав 1 тиждень. Після кожного циклу проводилось зважування зразків, для спостереження динаміки зміни маси через вплив середовища. Результати заносились в робочий журнал.

Водостійкість – здатність матеріалу зберігати фізико-механічні властивості в насиченому водою стані; оцінюється відношенням міцності насиченого водою матеріалу до його міцності в сухому стані і характеризується значеннями, які перевищують 0,8 [51].

Термостійкість – властивість крихких матеріалів зберігати механічні характеристики й структуру при одно- або багаторазовій термічній дії. Визначається здатністю матеріалу чинити опір, не руйнуючись, термічним напруженням, зумовленим зміною температури при нагріванні або охолодженні [52].

Проведення дослідів.

1. Зразки зважуються й знімаються розміри.
2. Встановлюються зразки, кожна група у своє середовище. На дно ексікатора наливають насичений розчин соди. Зразки закладають бічною поверхнею на вставку ексікатора так, щоб вони не дотикались один до одного й стінок

ексикатора, закривають кришкою й витримують при температурі $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ (рис. 3.3 б).

3. Зразки зважують з періодичністю в тиждень, похибка складас не більше 0,001

г.

4. Через місяць витримання в різних умовах, проводиться випробування клейового шва на стійкість до розколювання шпону від основи.

5. Результати дослідів записується у робочий журнал

Дослід на стійкість клейового шва проводився на розривній машині РМ5

(рис. 3.4). Зразки встановлювались так щоб верхній та нижній клин фіксувався в

проміжку між шпоном та основою. Для цього в зразку попередньо ножем прорізалися невеличка канавка глибиною не більше ніж 3 мм, це забезпечило надійність фіксації та направляло клини по шву.



Рис. 3.4. Зразок закріплений в розривній машині до проведення дослідів

Навантаження від преса фіксувалось спеціальними тензерами й динамічно передавались в програму РМ-5. Закінченням дослідів є руйнування шпону. В кінці за переданими даними формується графік навантаження (рис. 3.5).

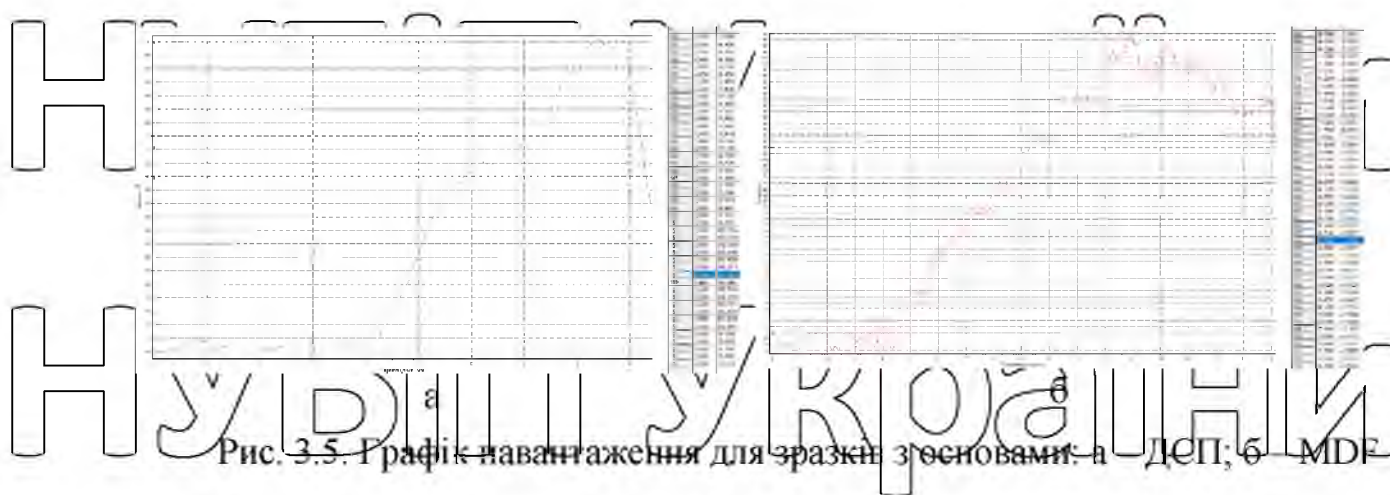


Рис. 3.5. Графік навантаження для зразків з основами: а – DEP; б – MDF

Пікові значення було виписано й занесено робочий журнал відповідно їх попереднього середовища впливу (контрольній, вологості, високої температури, низької температури, то комбінації високої та низької температури й вологості).

3.3. Оброблення результатів

Критерієм водостійкості є коефіцієнт розм'якшення або водостійкості [51]:

$$K_p = R_n / R_c \quad (3.1)$$

де R_n – границя міцності насиченого водою зразка,

R_c – границя міцності контрольного.

За аналогічними формулами розраховано й інші критерії стійкості.

Суть методу полягає у визначенні руйнівного навантаження при випробовуванні зразків та розрахунку межі міцності при цьому навантаженні.

Зразки з видимими вадами та дефектами склеювання, або які утворилися в процесі витримування в умовах (рис. 3.6) випробуванню не підлягають.



Рис. 3.6. Дефектний зразок

На прикладі даного зразку видно що деформація відбувалася не

НУБІП Українни
рівномірно, а отже не є нормальним явищем. В цьому випадку надмірне набрякання MDF, і його посиніння спричинене попаданням на зразок каплі конденсату, що утворився в морозильній камері під час чергового зважування зразків. Тому такий зразок є нерепрезентативним і в подальших розрахунках досліду не враховувався.

НУБІП Українни

НУБІП Українни

НУБІП Українни

НУБІП Українни

НУБІП Українни

НУБІП Українни

НУБІП УКРАЇНИ

РОЗДІЛ IV РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

4.1. Вплив середовища на масу зразків та їх лінійні розміри

Під час витримування зразків в різних кліматичних умовах проведено зважування зразків по завершенні кожного циклу, результати занесені в робочий журнал. Для більшої зручності було обраховано середні значення по кожній з груп і зведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Результати зважування

Середовище	Клей	Маса, г				
		Початкова	1 цикл	2 цикл	3 цикл	4 цикл
1	2	3	4	5	6	7
Вологість 90%	ДСП					
	D3	28,17	29,28	29,39	29,70	29,98
	D4	28,42	29,36	29,64	30,12	30,14
	WR 13	28,36	29,37	29,76	29,97	30,14
	MDF					
	D3	33,31	33,83	33,98	34,41	34,63
	D4	34,20	34,83	35,39	35,51	35,83
	WR 13	33,11	33,59	34,02	34,19	34,49
	ДСП					
	D3	28,41	27,18	26,91	27,02	27,98
D4	28,55	27,34	27,10	27,22	28,13	
WR 13	29,50	27,91	27,63	27,78	28,77	
Температура (+)	MDF					
	D3	33,71	32,41	32,15	32,25	33,03
	D4	34,43	33,21	32,92	33,06	33,87
	WR 13	33,19	31,82	31,56	31,69	32,54
	ДСП					
	D3	28,30	28,33	28,29	28,28	28,00
Температура (-)	D4	28,56	28,66	28,61	28,54	28,38

Продовження табл. 4.1

	2	3	4	5	6	7
WR 13	29,04	29,00	28,78	28,87	28,63	
MDF						
D3	33,51	33,53	33,55	33,45	33,28	
D4	34,02	34,23	34,23	34,14	34,00	
WR 13	32,94	32,92	32,94	32,84	32,70	
ДСП						
D3	28,40	27,54	27,65	27,19	27,47	
D4	28,83	27,87	27,99	27,54	27,81	
WR 13	29,34	28,14	28,27	27,77	28,06	
Комбінація						
MDF						
D3	33,55	32,52	32,50	32,21	32,45	
D4	34,27	33,42	33,49	33,07	33,35	
WR 13	33,23	32,25	32,39	31,93	32,24	

Для спостереження змін ваги в динаміці також сформовані графіки по кожному з середовищ (рис. 4.1).

Аналізуючи дані табл. 4.1 і графіків на рис. 4.1, можна побачити, що:

- В умовах підвищеної вологості спостерігається збільшення маси зразків як ДСП, так і MDF. Найбільше відсоткове збільшення маси відбувається у зразків ДСП (6,25 % проти 4,3 %).
- При витримуванні зразків при підвищеній температурі спостерігається прогнозоване зниження маси, проте під кінець досліду спостерігається невелике збільшення маси зразків ДСП і MDF що може означати деякі проблеми в дотриманні умов досліду, тому маса зразків зменшилася лише на 1,84 %.
- В умовах низьких температур маса зразків практично не змінюється (маса зменшується на 0,77 %).

При комбінованій дії вологості та перепадів температури зразки ДСП і MDF демонструють зменшення маси на 3,72 та 2,99 % відповідно.

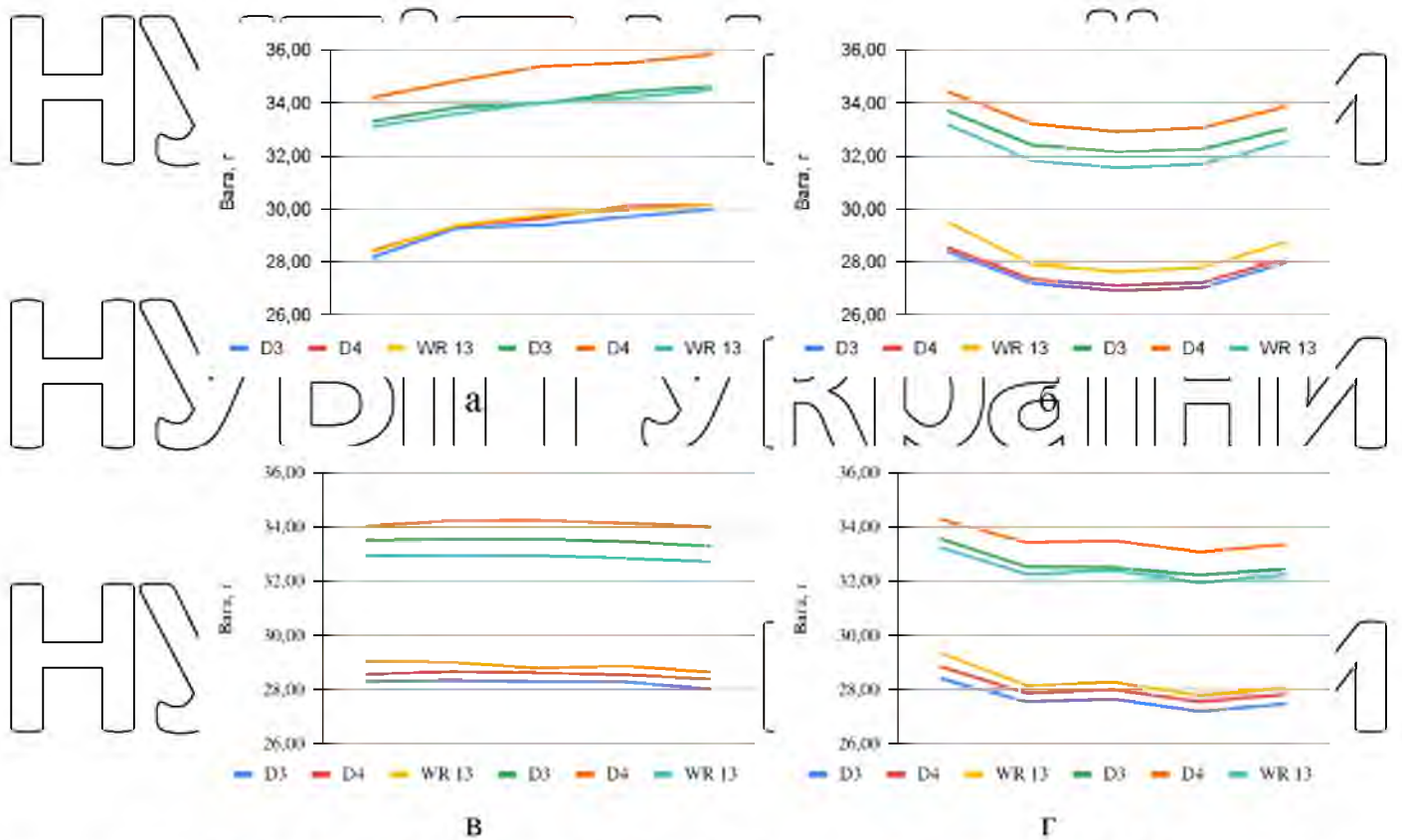


Рис. 4.1. Діаграми зміни маси: а – для зразків що витримувалися у вологому середовищі; б – для зразків що перебували в середовищі з підвищеною температурою; в – для зразків що знаходилися в морозильній камері, г – для зразків що піддавалися впливу перепаду температури при регулярному підвищенні вологості.

Загалом, найбільший вплив на зміну маси зразків має вологість середовища.

Таким чином, проведені дослідження дозволяють зробити висновок, що ДСП і MDF чутливі до впливу вологості середовища, що призводить до поглинання води матеріалом та збільшення його маси.

Також на початку та в кінці дослідження проводилось вимірювання габаритних розмірів зразків, результати занесені в робочий журнал. Було визначено відсоткову зміну лінійних розмірів зразків, і занесено до табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Зміна лінійних розмірів зразків в різних умовах середовища

Середовище	Клей	Зміна розмірів, %		
		Ш	Т	Д
Вологість 90 %	ДСП			
	D3	+0,20	+5,25	+0,33
	D4	+0,15	+4,44	+0,22
	WR 13	+0,18	+2,94	+0,10
	MDF			
	D3	+0,07	+2,99	0,00
	D4	+0,10	+4,28	+0,08
	WR 13	+0,08	+3,85	+0,07
	Температура (+)	ДСП		
D3		-0,17	-1,20	-0,15
D4		-0,13	-0,97	-0,12
WR 13		-0,05	-2,10	-0,28
MDF				
D3		-0,18	-2,02	-0,13
D4		-0,39	-1,54	-0,12
WR 13		-0,23	-0,88	-0,12
Температура (-)		ДСП		
	D3	-0,02	-0,60	-0,13
	D4	+0,02	-0,55	-0,02
	WR 13	+0,08	-0,74	-0,08
	MDF			
	D3	-0,03	-0,60	-0,03
	D4	-0,07	-0,79	-0,15
	WR 13	-0,03	-0,69	-0,03
	Комбінація	ДСП		
D3		+0,01	-0,56	-0,10
D4		-0,06	-0,61	0,00
WR 13		-0,12	-1,36	-0,27
MDF				
D3		+0,16	-2,31	-0,02
D4		-0,19	-2,07	-0,10
WR 13		+0,08	-2,02	-0,07

Отже, на основі отриманих даних можна зробити такі висновки:

- У вологому середовищі спостерігається збільшення лінійних розмірів зразків для всіх типів клею і матеріалів. Найбільше збільшення для ДСП з клеєм D3 (до 5,25 % по довжині).

- При підвищеній температурі відбувається зменшення розмірів зразків для всіх варіантів. Найбільше зменшення спостерігається для MDF з клеєм D4 (до -2,07 % по ширині).

- При зниженій температурі зміни розмірів незначні, в межах 0-0,08 %.

- В умовах комбінованого впливу (вологість і температура) спостерігаються незначні зміни розмірів, переважно зменшення в межах 0-0,27 %.

Загалом, найбільш стабільними є зразки з клеєм WR 13. А зразки з ДСП демонструють більшу чутливість до зміни умов ніж з MDF.

Найбільша зміна лінійних розмірів відбувається по товщині зразків, адже внутрішній шар листових матеріалів зазвичай є менш щільним ніж зовнішній, через те, що не відіграє значної ролі в сприйнятті навантажень. При цьому величина змін основ різна що зумовлено різницею в структурі матеріалів, а саме величині стружки що використовується в внутрішніх шарах ДСП, та більш рівномірній волокнистій структурі MDF.

Отже, проведені дослідження дозволяють оцінити вплив різних умов середовища на зміну лінійних розмірів зразків з різними матеріалами та клеями.

Найбільш стабільним є поєднання MDF та клею WR 13.

4.2. Визначення граничної міцності та коефіцієнта стійкості зразків

Переходячи до основного дослідження, яким є визначення граничної міцності клейового шва після витримки в різних кліматичних умовах за допомогою розривної машини. Було підготовано табл. 4.3 з п'ятьма навантаженнями.

Таблиця 4.3

НУБІП України

Результати дослідів для контрольних зразків

Основа	ДСП		MDF	
Контрольні				
Параметри	F, Н	L, мм	F, Н	L, мм
Д3	130,03	20,35	89,21	11,93
Д4	106,00	14,41	82,30	9,46
WR 13.50M	114,04	20,76	72,99	6,97
Вплив вологості				
Д3	113,18	15,71	73,53	13,02
Д4	94,65	11,98	63,93	21,99
WR 13.50M	110,77	10,97	40,31	13,33
Вплив високої температури				
Д3	79,52	10,66	54,42	14,90
Д4	66,33	12,59	48,84	12,89
WR 13.50M	85,78	12,12	34,94	8,99
Вплив низької температури				
Д3	111,05	13,55	71,11	13,26
Д4	75,99	9,40	52,08	15,10
WR 13.50M	106,13	13,56	52,69	18,30
Вплив комбінації факторів				
Д3	80,66	9,37	62,33	5,04
Д4	83,29	8,02	68,85	11,67
WR 13.50M	66,02	5,66	61,68	6,49

Аналізуючи дані табл. 4.3, можна побачити наступне:

- Для контрольних зразків найбільше навантаження спостерігається для ДСП з клеєм Д3 (130,03 Н), а найменше – для MDF клеєм WR 13.50M (72,99 Н).
- В умовах підвищеної вологості навантаження на цюов зменшилося для всіх зразків, крім ДСП з клеєм WR 13. Найбільше зниження у MDF з клеєм WR 13 (на 45 %).
- При підвищеній температурі також спостерігається зниження навантаження для всіх зразків. Найбільше зниження у ДСП з клеєм Д3 (на 34 %).
- В умовах низької температури навантаження знизилось не так суттєво, максимум на 18 % для ДСП з клеєм Д4.

• При комбінованому впливі факторів найбільше зниження навантаження у ДСП з класом WR 13 (на 42 %).

Таким чином, найбільший вплив на міцність класового з'єднання має підвищена температура та вологість. А найстійкішим є поєднання ДСП та клею D3. Для більшої наочності побудовано діаграми навантажень (рис. 4.2).

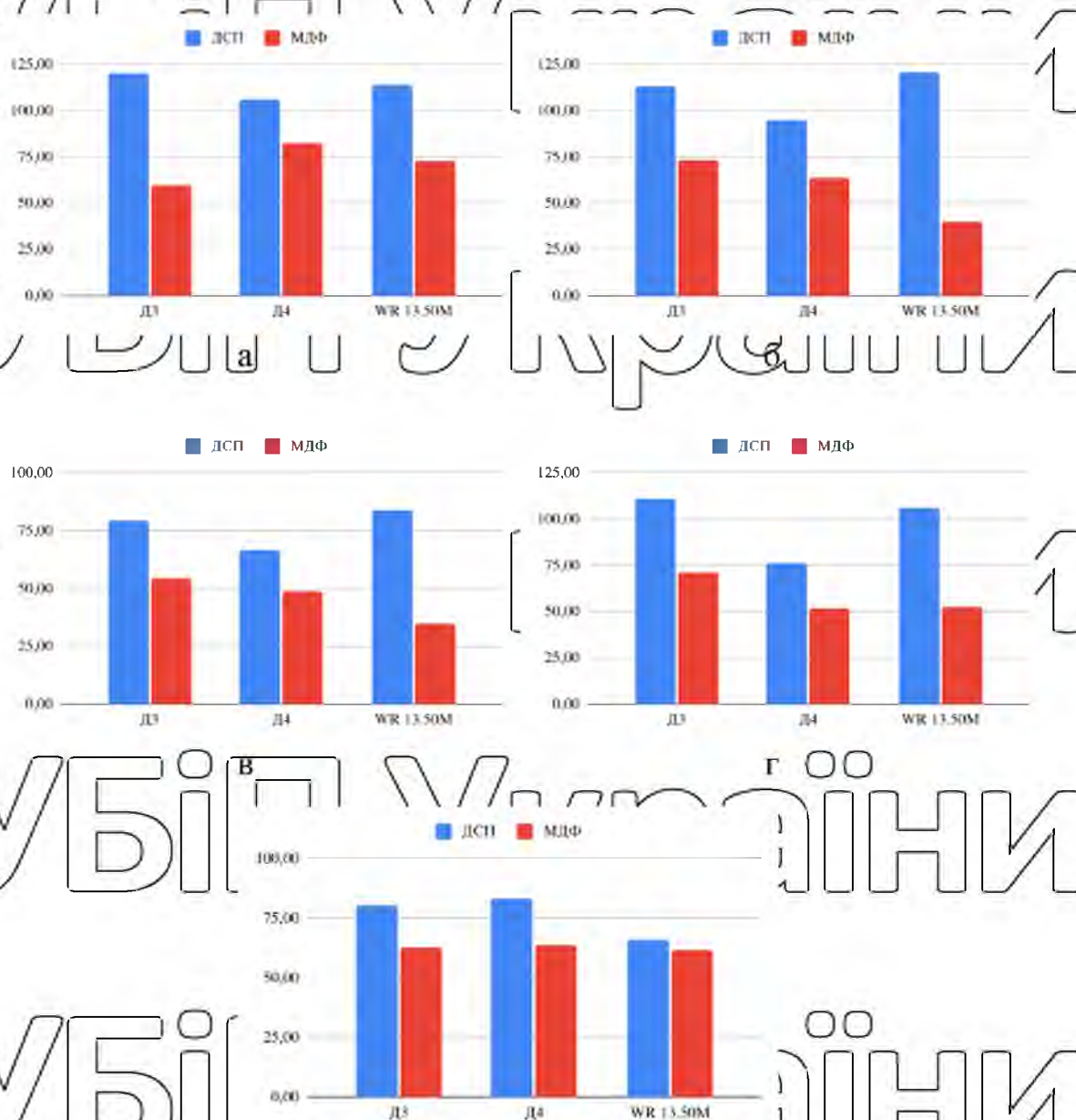


Рис. 4.2. Діаграма навантажень для: а – контрольних зразків; б – зразків що витримувалися у вологому середовищі; в – зразків що перебували в середовищі з підвищеною температурою; г – зразків що знаходилися в морозильній камері; г – зразків що піддавалися впливу перепаду температури при регулярному підвищенні вологості.

З результатів видно що незалежно від клею навантаження на зразки з MDF в якості основи менше ніж на зразки з ДСП (вище розглянуто причину цього ефекту), загалом ця різниця складає 35,38%.

Для визначення впливу факторів клімату навколишнього середовища розраховано коефіцієнти стійкості й занесено в табл. 4.4.

Таблиця 4.4

Показники стійкості клейового шва залежно від середовища експлуатації

Основа	ДСП	MDF
Вплив вологості		
Д3	0,87	0,82
Д4	0,73	0,72
WR 13.50M	0,85	0,45
Вплив високої температури		
Д3	0,61	0,61
Д4	0,51	0,55
WR 13.50M	0,66	0,39
Вплив низької температури		
Д3	0,85	0,80
Д4	0,58	0,58
WR 13.50M	0,82	0,59
Вплив комбінованих факторів		
Д3	0,62	0,70
Д4	0,64	0,72
WR 13.50M	0,51	0,69

Аналізуючи дані табл. 4.4 коефіцієнтів стійкості, можна зробити наступні висновки:

- Вологість середовища чинить значний вплив на міцність клейового з'єднання. У

всіх випадках спостерігається зниження міцності порівняно з контрольними зразками. Найбільше зниження для MDF з клеєм WR 13.50M (на 55%).

- Підвищена температура також призводить до помітного ослаблення міцності клеєвого з'єднання. Найбільше зниження коефіцієнта стійкості спостерігається для MDF з клеєм WR 13.50M (на 61%).

- Вплив низьких температур менш помітний, проте також призводить до зниження міцності шва на 15-42 % залежно від матеріалу і клею.

- Комбінована дія вологості та перепадів температури чинить сильний негативний вплив. Найбільше зниження коефіцієнта стійкості спостерігається для ДСП з клеєм WR 13.50M (на 49%).

Отже, найбільший негативний вплив на міцність клеєвого з'єднання чинять підвищена вологість та температура середовища, особливо в комбінації.

Найменш стійким є поєднання MDF та клею WR 13.50M. Натомість найкращу стійкість продемонструвало поєднання ДСП з клеєм D3.

4.3. Візуальна оцінка результатів дослідження

Візуальний огляд зламів зразків після випробувань показав наступне.

Характер руйнування для зразків з різною основою дещо відрізняється. У зразків з основою з ДСП спостерігається руйнування шпону при певному навантаженні (рис. 4.3), тоді як у зразків з MDF шпон залишається цілим. Це пояснюється різною щільністю цих матеріалів.

На відшарованому шпоні залишається матеріал основи по всій площі (рис. 4.4), що свідчить про міцні клейові з'єднання незалежно від умов випробувань.



Рис. 4.3. Зразок по закінченню дослід з основи: а – MDF; б – ДСП.



Рис. 4.4. Зразок після дослід з: а – ДСП; б – MDF.

Характер руйнування зразків в основному відбувається по матеріалу основи, з відділенням крайнього шару основи до шпону. Лише в деяких випадках спостерігалось руйнування шпону.

ВИСНОВКИ

Поставлено питання міцності клейового з'єднання та вологостійкості, у виробництві кухонних меблів, через підвищену вологість та перепади температур на кухні в процесі життєдіяльності.

Було проведено аналітичний огляд різних типів клеїв, що застосовуються у деревообробній промисловості. Розглянуто їх склад, властивості, переваги та недоліки. Встановлено, що найперспективнішими для лічкування є клеї на основі ПВА, проте вони мають недоліки у водо- та термостійкості.

За допомогою методу аналізу ієрархій обґрунтовано оптимальний вибір клею «Rakoll Express D3» для подальших досліджень, як такого, що має найкраще поєднання показників в'язкості, щільності, витрат, часу пресування та ціни. Також для порівняння було обрано клей «Rakoll ECO-4» що має вищий клас водостійкості (D4), та «Woodmax WR 13.50M» має той самий клас стійкості (D3), але знаходиться на останньому місці в ієрархії.

Експериментально встановлено вплив умов експлуатації (підвищена вологість, висока та низька температура) на зміну маси та розмірів зразків з ДСП і MDF, шпонованих обраними клеями. Встановлено закономірності та ступінь впливу даних факторів на матеріали основи та міцність клейового з'єднання.

За результатами випробувань на міцність визначено граничну міцність клейових з'єднань після витримки зразків в різних умовах. Розраховано коефіцієнти стійкості, які продемонстрували значне зниження міцності особливо під впливом вологості та температури одночасно.

Встановлено, що найстійкішим є клей «Rakoll Express D3», тоді як найгірші показники продемонстрував клей «Woodmax WR 13.50M».

Отже, використання клеїв класу якості D4 не є релевантним для використання в кухонних умовах через більш значний вплив на стійкість з'єднань саме комбінації факторів підвищеної вологості, та перепадів температури.

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.

Отже, проведене в роботі комплексне дослідження дозволило оцінити ступінь впливу типових умов експлуатації меблів на кухні на міцність клейового з'єднання та обґрунтувати оптимальний вибір матеріалів основи та клею для забезпечення необхідної міцності та довговічності виробів. Результати дослідження можуть бути використані виробниками меблів для підвищення якості продукції.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кшивецький Б. Я., Дацків Г. М., Андрашек Й. В. Загальні відомості про клеї, склеювання та термічно модифіковану деревину. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2019. Т. 29, № 3. С. 81-84. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnltu_2019_29_3_19 (дата звернення 10.10.2023).
2. Durky M. Adhesives in the wood industry. *Handbook of adhesive technology*. Austria, 2003. 71 p. doi: 10.1201/9780203912225.ch47.
3. Dorieh A., Mahmoodi N.O., Mamaghani M., Pizzi A. Effect of different acids during the synthesis of urea-formaldehyde adhesives and the mechanical properties of medium-density fiberboards bonded with them. *J. Appl. Polym. Sci.* 2019. Vol. 136, 14 p. doi: 10.1002/app.47256. (дата звернення 9.06.2023).
4. Lubis M.A.R., Park B.D. Enhancing the performance of low molar ratio urea-formaldehyde resin adhesives via in-situ modification with intercalated nanoclay. *J. Adhes.* 2020. Vol. 97 (14), 1271-1290. doi: 10.1080/00218464.2020.1753515. (дата звернення 11.01.2023).
5. Boran S., Usta M., Gümüşkaya E. Decreasing formaldehyde emission from medium density fiberboard panels produced by adding different amine compounds to urea formaldehyde resin. *Int. J. Adhes. Adhes.* 2011. Vol. 31, 674–678. doi: 10.1016/j.ijadhadh.2011.06.011. (дата звернення 11.10.2022).
6. Jeong B., Park B.D. Effect of molecular weight of urea-formaldehyde resins on their cure kinetics, interphase, penetration into wood, and adhesion in bonding wood. *Wood Sci. Technol.* 2019. Vol. 53, 665–685. doi: 10.1007/s00226-019-01092-1.
7. Pavlo B., Jan S., Gregory N., František K., Nataliya B. Characteristics of beech bark and its effect on properties of UF adhesive and on bonding strength and formaldehyde emission of plywood panels. *Eur. J. Wood Wood Prod.* 2021. Vol. 79. 423-433. doi: 10.1007/s00107-020-01632-8. (дата звернення 3.11.2022).
8. Meyer B., Meyer C. Urea-Formaldehyde Resins. Addison-Wesley, London, 1979. 423 p. (дата звернення 7.03.2023).
9. Dazmiri M.K., Kiamahalleh M.V., Dorieh A. Effect of the initial F/U molar

ratio in urea-formaldehyde resins synthesis and its influence on the performance of medium density fiberboard bonded with them. *Int. J. Adhes. Adhes.* 2019. Vol. 95, 102440. doi:10.1016/j.ijadhadh.2019.102440. (дата звернення 12.04.2023).

10. A. Pizzi, Advanced Wood Adhesives Technology. *Polymer International*. 1994, pp. 19–66. doi: 10.1002/pi.1996.210390117. (дата звернення 11.06.2023).

11. A. Pizzi, Urea and Melamine Aminoresin Adhesives in Handbook of Adhesive Technology (A. Pizzi and K.L. Mittal, eds.), Marcel Dekker, New York, 2003, pp. 283–321. (дата звернення 1.06.2023).

12. Megson N. J. L. Phenolic Resin Chemistry. *Journal of Chemical Education*. 1958. Vol. 35, Issue 11. P. 533–586. URL: <https://pubs.acs.org/doi/epdf/10.1021/ed035p586.2>. (дата звернення 15.12.2022).

13. Peer H. G. The reaction of phenol with formaldehyde. II. The ratio of *ortho*- and *para*-hydroxymethylphenol in the base-catalyzed hydroxymethylation of phenol. *Recueil des Travaux Chimiques des Pays-Bas. Rec. Trav. Chim.* 1959. Vol. 78(11). doi: 10.1002/recl.19590781102.

14. Peer H. G. The reaction of phenol with formaldehyde. III. selective hydroxymethylation of phenols at the *ortho*-position. *Recueil des Travaux Chimiques des Pays-Bas Rec. Trav. Chim.* 1960. Vol. 79: 825. doi: 10.1002/recl.19600790808.

15. Kumpinsky E. A Study on Resol-Type Phenol-Formaldehyde Runaway Reactions. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 1994, Vol. 33, Issue 2. 285–291. URL: <https://pubs.acs.org/toc/iecred/33/2>. (дата звернення 14.12.2022).

16. Dremelj A, Cerc Korošec R, Pondelak A, Mušič B. Improved Synthetic Route of Incorporation of Nanosilicon Species into Phenol-Formaldehyde Resin and Preparation of Novel ZnAl-Layered Double-Hydroxide Hybrid Phenol-Formaldehyde Resin. *Polymers (Basel)* 2022 Nov 2;14(21):4684 doi: 10.3390/polym14214684.

17. Cui Y, Hou X, Wang W, Chang J. Synthesis and Characterization of Bio-Oil Phenol Formaldehyde Resin Used to Fabricate Phenolic Based Materials. *Materials (Basel)*. 2017 Jun 18;10(6):668. doi: 10.3390/ma10060668.

18. Galdino DS, Kondo MY, De Araújo VA, Ferrufino GLAA, Faustino E, Santos HFD, Christoforo AL, Luna CMR, Campos CI. Thermal and Gluing Properties

of Phenol-Based Resin with Lignin for Potential Application in Structural Composites. *Polymers*. 2023 Jan 10; 15(2):357. doi: 10.3390/polym15020357.

19. Jin Y., Cheng X., Zheng Z. Bioresource Technology Preparation and Characterization of Phenol—Formaldehyde Adhesives Modified with Enzymatic Hydrolysis Lignin. *Bioresour. Technol.* 2010. Vol. 101. 2046–2048. doi: 10.1016/j.biortech.2009.09.085.

20. Walsh A. R., Campbell A. G. Rapid determination of the MW of a PF resin by HPSEC using a bondagel column. *Journal of Applied Polymer Science*. 1986. Vol. 32. 4291–4293. doi: 10.1002/app.1986.070320342. URL:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/app.1986.070320342>. (дата звернення 15.12.2022).

21. Sarika P.R., Nancarrow P., Khansaheb A., Ibrahim T. Bio-Based Alternatives to Phenol and Formaldehyde for the Production of Resins. *Polymers*. 2020. Vol. 12. 2237. doi: 10.3390/polym12102237. (дата звернення 15.02.2023).

22. Borden Chemical Company Ltd., U.S. patent USP 4,433,120 (1981).

23. Pizzi A. *Advanced Wood Adhesives Technology*, Marcel Dekker, New York, 1994, pp. 89–148. (дата звернення 5.10.2022).

24. Xu Y., Guo L., Zhang H., Ren H. Prospects of Phenolic Resin. *RSC Adv. Open*. 2019. Vol. 50. 28924–28935. doi: 10.1039/C9RA06487G. (дата звернення 11.11.2022).

25. Melro E., Antunes F.E., Valente A.J.M., Duarte H., Romano A., Medronho B. On the development of phenol-formaldehyde resins using a new type of lignin extracted from pine wood with a levulinic-acid based solvent. *Molecules*. 2022. Vol. 27. 2825. doi: 10.3390/molecules27092825. (дата звернення 3.01.2023).

26. Arefmanesh M., Nikafshar S., Master E.R., Nejad M. From acetone fractionation to lignin-based phenolic and polyurethane resins. *Ind. Crop. Prod.* 2022. Vol. 178. 114604. doi: 10.1016/j.indcrop.2022.114604. (дата звернення 13.02.2023)

27. Xu J, Brodu N, Mignot M, Youssef B, Taouk B. Synthesis and characterization of phenolic resins based on pyrolysis bio-oil separated by fractional condensation and water extraction. *Biomass Bioenerg.* 2022. Vol. 159. 106393. doi:

10.1016/j.biombioe.2022.106393.

28. Luo B., Li L., Liu H., Wang M., Xu M., Xing F. Effects of sanding parameters on sanding force and normal force in sanding wood-based panels.

Holzforschung. 2015. Vol. 69(2), 241–245. doi: 10.1515/hf-2014-0012. (дата

звернення 13.02.2023)

29. Mantanis G.I., Athanassiadou E.T., Barbu M.C., Wijnendaele K. Adhesive systems used in the European particleboard, MDF and OSB industries. *Wood Mater Sci Eng*. 2018. Vol. 13. 104–116. doi: 10.1080/17480272.2017.1396622.

30. Perisse F., Menecier S., Duffour E., Vacher D., Monier G., Destrebecq J.F.,

Czarniak P., Górski J., Wilkowski J. MDF treatment with a Dielectric Barrier Discharge (DBD) torch. *Int J Adhes Adhes*. 2017. Vol. 79. 18–22. doi:

10.1016/j.ijadhadh.2017.09.006.

31. Lubis M.A.R., Park B-D., Lee S-M. Modification of urea-formaldehyde resin adhesives with blocked isocyanates using sodium bisulfite. *Int J Adhes Adhes*. 2017.

Vol. 73. 118–124. doi: 10.1016/j.ijadhadh.2016.12.001

32. Gopal G., Nath, S.K., Sujatha, D. Blocking of PMDI Resin and Mixed Phenol Blocked PMDI/Phenol Cardanol Formaldehyde Hybrid Resin for Plywood.

International Journal of Applied Science-Research and Review. 2014. Vol. 1(3). 117–

128.

33. Jeong B., Park B.D. Measurement of Molecular Weights of Melamine/Urea-Formaldehyde Resins and Their Influences to Properties of Medium Density

Fiberboards. *Journal of Korean Wood Science and Technology*. 2016. Vol. 44(6). 913–922. doi: 10.5658/WOOD.2016.44.6.913.

34. Kamoun C., Pizzi A., Zanetti M. Upgrading melamine-urea-formaldehyde polycondensation resins with buffering additives. I. The effect of hexamine sulfate and

its limits. *Journal of Applied Polymer Science*. 2003. Vol. 90(1). 203–214. doi:

10.1002/app.12634.

35. Kandelbauer, A., Despres A., Pizzi A., Taudes I. Testing by fourier transform infrared species variation during melamine-urea-formaldehyde resin preparation.

Journal of Applied Polymer Science. 2007. Vol. 106(4). 2192–2197. doi:

10.1002/app.26757

36. Mamunski M.L., Pawlicki J., Zade A., Parzuchowski P. Glutaraldehyde-modified MUF adhesive system - Improved hot-water-resistance. *Holz als Roh- und Werkstoff*. 2007. Vol. 65(3). 251–253.

37. J. J. Marcinko, W. H. Newman, C. Phanopoulos, and M. A. Sander. The nature of the MDI/wood bond. *29th Washington State University Int. Particleboard Composite Materials Symposium*. Pullman, WA, 1995. pp. 175–183.

38. W. E. Johns, in *Wood Adhesives: Chemistry and Technology*, Vol.2 (A. Pizzi, ed.), Marcel Dekker, New York, 1989, pp. 75–96.

39. J. Tomkinson, in (M. Dunky, A. Pizzi, and M. Van Leemput, eds.) *State of the Art-Report, COST-Action E13, part I (Working Group 1, Adhesives)*, European Commission, Brussels, Belgium, 2002.

40. Pizzi A. *Wood Adhesives: Chemistry and Technology*, Marcel Dekker, New York, 1983. doi: 10.1002/pi.4980160434.

41. Pizzi A., Scharfetter H., Kes E. W. Adhesives and techniques open new possibilities for the wood processing industry. *Holz Roh Werkst.* 1981. Vol. 39. 85–89. doi: 10.1007/BF02606279.

42. Despres A., Pizzi A., Vu C., Delmotte L. Colourless formaldehyde-free urea resin adhesives for wood panels. *Holz-Roh-Werkst.* 1994. Vol. 52. 311–315.

43. Правила експлуатації корпусних меблів і гарантійні зобов'язання. *Smart кухні*: веб-сайт. URL: <https://kuhni.in.ua/pravyla-ekspluatatsiyi-mebliv> (дата звернення 10.10.2023).

44. ПРАВИЛА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ДОГЛЯДУ ЗА КУХОННИМИ МЕБЛЯМИ. *Комфорт меблі*: веб-сайт. URL: <https://komformmebli.com.ua/c-kompanii/pravyla-ekspluatatsii> (дата звернення 15.10.2023).

45. Каталог товарів. Інтернет-магазин *Netstore*: веб-сайт. URL: <https://netstore.com.ua> (дата звернення 15.10.2023).

46. Технічні характеристики Express Д3. *Rakoll*: веб-сайт. URL: https://netstore.com.ua/wa-data/public/site/data/katalog/клей_Д3_RAKOLL_express_d_3.pdf (дата звернення

15.10.2023).
 47. Технічні характеристики Ecol D4. *Rakoll*: веб-сайт. URL: https://www.chimikodomiki.gr/en/index.php?controller=attachment&id_attachment=289 (дата звернення 15.10.2023).

48. Клеї. *FOLLMAN*: веб-сайт. URL: <https://www.follmann.com/en/products/adhesives/types> (дата звернення 15.10.2023).
 49. Клей WR 13.50M. *Woodmax*: веб-сайт. URL: <http://vizif.ua/clays/klej-dlya-drevesiny/klej-woodmax-wr-13-50m-klass-d3> (дата звернення 15.10.2023).

50. Пінчевська О.О., Головач В.М. Методичні вказівки до виконання курсового проекту Інноваційні технології оброблення деревини. Київ: НУБіП України. 2021. 64 с.

51. Ніхаєва Л. І. Методичні вказівки до виконання лабораторних занять з навчальної дисципліни «Будівельне матеріалознавство» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Охорона праці» спеціальності 263 «Цивільна безпека» денної і заочної форм навчання. Рівне: НУВГП. 2022. 53 с.

52. Термостійкість. *Wikipedia*: веб-сайт. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Термостійкість>. (дата звернення 20.10.2023).

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України