

НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

ІНСТИТУТ ДЕРЕВООБРОБНИХ ТЕХНОЛОГІЙ І ДИЗАЙНУ

Кафедра технологій захисту навколишнього середовища і деревини та безпеки  
життєдіяльності

## **Пояснювальна записка**

до диплому/роботи магістра

на тему: «ДОСЛІДЖЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ КЛЕЙОВИХ  
СТОЛЯРНИХ КОНСТРУКЦІЙ.»

Виконав: студент II курсу, групи ТВД-62м

Спеціальності 187 «Деревообробні та меблеві  
технології»

Максимів М. І. \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

Керівник

проф. Кшивецький Б.Я. \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

Львів 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**

Інститут **деревообробних технологій і дизайну**

Кафедра технологій захисту навколишнього середовища і деревини та безпеки життєдіяльності

Освітньо-кваліфікаційний рівень **магістр**

Спеціальність **187 «Деревообробні та меблеві технології»**

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри ТЗНСДБЖД**

проф. Кшивецький Б. Я. \_\_\_\_\_

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 року

**З А В Д А Н Н Я**

**НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Максиміва Миколи Івановича \_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Дослідження довговічності клейових столярних конструкцій..» керівник роботи Кшивецький Богдан Ярославович, доктор техн. наук, професор,

( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від “ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 року №...\_\_\_\_\_.

2. Строк подання студентом роботи \_\_\_\_\_ до 10 січня 2024

3. Вихідні дані до роботи Вихідними даними для роботи є масивна деревина та клейові з'єднання на її основі.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Літературний огляд.

2. Методика досліджень.

3. Теоретичний розділ.

3. Результати досліджень.

4. Розділ з охорони праці.

5. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Презентація.

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Соколовський І.А.		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ 16 червня 2023 року

Керівник проекту \_\_\_\_\_ проф. Кшивецький Б.Я.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Літературний огляд	до 01.10.23	
2.	Методика досліджень	до 15.10.23	
3.	Теоретичний розділ.	до 01.11.23	
4.	Результати досліджень.	до 20.11.23	
5.	Розділ з охорони праці.	до 15.12.23	
	Висновки.	до 01.01.24	
	Оформлення роботи	до 15.01.24	

Студент \_\_\_\_\_ Максимів М.І.

Керівник проекту \_\_\_\_\_ проф. Кшивецький Б.Я.

## РЕФЕРАТ

Магістерська дипломна робота: пояснювальна записка: 68 стор., 32 рисунки, 7 таблиць, 24 джерел. В даній роботі досліджено довговічність клейових столярних конструкцій склеєних термопластичними полівінілацетатними клеями під час експлуатації.

Ключові слова: довговічність, столярні конструкції, міцність, клеї, деревина, склеювання, полівінілацетатні клеї.

## ABSTRACT

Master's thesis: explanatory note: 68 pages, 32 figures, 7 tables, 24 sources. In this work, the durability of adhesive joinery structures glued with thermoplastic polyvinyl acetate adhesives during operation is investigated.

Keywords: durability, joinery, strength, adhesives, wood, bonding, polyvinyl acetate adhesives.

## ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

Дослідити довговічність клейових столярних деревинних конструкцій склеєних полівінілацетатними клеями. Для цього необхідно:

1. Проаналізувати стан використання клейових столярних конструкцій.
2. Підібрати методику досліджень із вивчення довговічності клейових з'єднань деревини при виготовленні клейових столярних конструкцій.
3. Дослідити теоретичні основи формування клейових з'єднань деревини у столярно будівельних конструкціях.
4. Дослідити вплив природніх факторів на довговічність клейових столярних конструкцій.
5. Проаналізувати вплив вологості та температури на міцність та довговічність клейових з'єднань деревини у столярних конструкціях.
6. Розробити заходи щодо охорони праці та екологічної безпеки при дослідженні довговічності клейових столярних конструкцій.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ СТОЛЯРНИХ ДЕРЕВИНИ КОНСТРУКЦІЙ .....	10
1.1 Аналіз клейових деревинних конструкцій.....	10
1.2 Властивості деревини та їх вплив на клейові конструкції.....	14
1.3 Клеї для склеювання деревинних конструкцій.....	16
1.4 Перспективи використання столярних клейових конструкцій склеєних ПВА клеями .....	18
1.5 Загальні висновки з розділу та задачі дослідження.....	20
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	22
2.1 Підготовка взірців до випробування.....	22
2.2 Підготовка клею та склеювання.....	23
2.3 Методика експериментальних випробування довговічності клейових столярних конструкцій.....	25
2.4 Статистична обробка результатів дослідження.....	27
РОЗДІЛ 3. ТЕОРИТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ... ..	30
3.1 Теоретичні аспекти формування клейових деревинних конструкцій... ..	30
3.2 Теоретичні аспекти руйнування клейових деревинних конструкцій... ..	34
3.3 Висновки по розділу.....	38
РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	40
4.1 Результати досліджень довговічності клейових з'єднань деревини сосни.....	40
4.2 Результати досліджень довговічності клейових з'єднань деревини смереки.....	46
4.3 Статистична обробка результатів досліджень довговічності клейових з'єднань деревини.....	52
4.4 Висновки з розділу.....	53
РОЗДІЛ 5. ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	55

5.1 Заходи з охорони праці та екологічної безпеки при виготовленні столярних клейових конструкцій .....	55
5.2 Висновки з розділу.....	58
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....	59
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	62

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Деревина це природній матеріал, який використовується для виготовлення широкого асортименту виробів, включаючи і столярно будівельні конструкції. Це пов'язано із тим, що деревина має хороші фізичні та механічні властивості, які забезпечують комфортні умови для людини. У першу чергу деревина володіє хорошою теплопровідністю, електропровідністю, волого провідністю, має хороші акустичні властивості, тощо. Практично деревину важко замінити іншими конструкційними матеріалами при виготовленні столярно будівельних виробів. Тому деревина широко використовується для виготовлення вікон, дверей, будинків, меблів тощо.

Разом з тим, деревина має і суттєві недоліки. Особливо ці недоліки появляються під час її експлуатації у природніх умовах. До таких недоліків можна віднести її анізотропність та гігроскопічність, що призводить до її розбухання та всихання. Такі властивості деревини не обмежують її використання та конструкцій на її основі. Разом з тим, деревина є незамінним матеріалом при виготовленні столярно будівельних виробів.

У більшості випадків при виготовленні столярно будівельних виробів деревину склеюють для отримання необхідних розмірів за довжиною, шириною та товщиною, та для того щоб надати конструкції належних механічних властивостей. Для склеювання деревини використовують різного роду клейові матеріали, в основному синтетичного походження. Дані клейові матеріали володіють такими властивостями, що здатні забезпечити клейовим конструкціям довговічність під час експлуатації властивості, що в кінцевому результаті відображається на якості готових виробів. Тому, необхідно враховувати умови експлуатації деревинних клейових конструкцій та інші характеристики, як при їх виготовлення, так і під час експлуатації.

Особливу у вагу під час експлуатації конструкції, необхідно приділити тим факторам, що впливають на зміни їх міцності та призводять до зменшення

довговічності. А таких факторів є багато, тому врахувати їх всі під час експлуатації дуже важко. Тому необхідно враховувати ті фактори, які мають найбільший вплив на довговічність клейових столярних конструкцій.

Всі фактори впливу на довговічність столярно будівельних конструкцій у одній магістерській роботі дослідити та вивчити важко та неможливо. Тому у своїй магістерській роботі я намагався вивчити вплив найбільш вагомих факторів, які впливають на довговічність клейових деревинних конструкцій під час їх експлуатації.

Сьогоднішні проводять багато дослідження щодо склеювання та виготовлення столярно будівельних деревинних конструкцій та їх міцності та довговічності. Тому актуальним є дослідження довговічності клейових столярних конструкцій під час їх експлуатації та природніх факторів, які впливають на них.

*Мета:* дослідження довговічності клейових столярних деревинних конструкцій склеєних полівінілацетатними клеями.

*Об'єкт дослідження:* столярні деревинні клейові конструкції.

*Предмет дослідження:* довговічність клейових з'єднань у столярних деревинних конструкціях.

Задачі дослідження:

1. Проаналізувати та вивчити існуючі столярні клейові деревинні конструкції, їх використання, технологічний процес виготовлення, властивості деревини та клейових матеріалів, які використовуються для їх виготовлення.
2. Проаналізувати методи досліджень довговічності клейових з'єднань деревини та вибрати методіку для проведення досліджень з вивчення довговічності клейових з'єднань деревини.
3. Описати механізм формування клейових з'єднань у столярних деревинних конструкції під час їх виготовлення та можливі варіанти руйнування таких клейових під час їх експлуатації у природніх умовах.

4. Дослідити зміну міцності столярних клейових деревинних конструкцій та її вплив на довговічність під час експлуатації у лабораторних умовах.
5. Побудувати графічні залежності щодо довговічності клейових столярно будівельних конструкцій склеєних термопластичними полівінілацетатними клеями від дії вологи та температури під час їх експлуатації..
6. Проаналізувати екологічні аспекти з використання та утилізації відходів при виготовленні та експлуатації деревинних клейових столярних конструкцій склеєних термопластичними полівінілацетатними клеями.

# РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ СТОЛЯРНИХ ДЕРЕВИНИ КОНСТРУКЦІЙ

## 1.1 Аналіз клейових деревинних конструкцій

Деревинні клейові конструкції широко використовувались і використовуються зараз при виготовленні багатьох виробів, починаючи від меблевих і закінчуючи будинкобудуванням. Правда сучасні деревинні конструкції відрізняються від конструкцій, які використовувались десяти і сотні років тому. Це пов'язано із дизайнерськими рішеннями, естетичним виглядом, сучасними матеріалами, обладнанням, устаткуванням тощо. Для прикладу на рис. 1.1. наведено деревинні конструкції, які виготовленні без використання клейових з'єднань. Тобто, для їх виготовлення використовували з'єднання деревини за допомогою різних «замкових з'єднань» деревини, або з'єднань за допомогою дерев'яних цвяхів, металевих цвяхів, клямр, тощо



Рис. 1.1. Старовинні дерев'яні конструкції

Як видно із рис. 1.1. у старовинну для виготовлення дерев'яних конструкцій використовували масивну деревину, яку між собою з'єднували за допомогою існуючих на той час методів та способів. Переваги таких з'єднань у їх здатності забезпечувати конструкціям належну міцність та довговічність. Окрім того такі, у таких конструкція не використовували матеріалів, які несуть екологічну небезпеку для людини та навколишнього середовища. Разом з тим,

такі способи та методи з'єднання не дозволяли формувати великогабаритні розміри конструкцій за довжиною, шириною та товщиною. Особливо неефективним було використання великої кількості якісної деревини, де утворювалось багато різного роду відходів, які піддавались спалюванню.

На сучасному етапі розвитку деревообробної промисловості для формування з'єднань деревини і деревинних матеріалів використовується велика кількість способів для з'єднання матеріалів між собою, одним з яких є склеювання.

Склеювання дає можливість формувати деревинні конструкції, які є нероз'ємними. Склеювання відбувається за допомогою клеїв, тобто формування адгезійної та когезійної міцності. [1, 2] На рис. 1.2. наведено деревинні конструкції виготовленні за допомогою склеювання.



Рис. 1.2. Деревинні конструкції виготовленні за допомогою клею

Як видно з рис. 1.2. деревинні конструкції виготовленні за допомогою склеювання, використовуються для виготовлення дверей, вікон, а також у будинкобудуванні, тощо.

Окрім того, клеї використовують для виготовлення меблевих виробів, у машинобудуванні, вагонобудуванні, тощо. Також клеї використовуються для виготовлення деревностружкові плити (ДСП), деревноволокнисті плити (ДВП), плити MDF, тощо, які виготовлені за допомогою склеювання, і використовуються для виготовлення меблевих виробів. Для личкування плитних матеріалів використовують натуральний і синтетичний шпон, декоративні плівками на основі полівінілхлориду (ПВХ), тощо.

Окрім того, клейові деревинні конструкції використовують для виготовлення дерев'яних панелей, які на сьогодні широко застосовуються у будинкобудуванні. На рис. 1.3. наведено дерев'яні клейові панелі [9,10, 11].



Рис. 1.3. Будинки із дерев'яних клейових панелей

Як видно із рис. 1.3. склеєні деревинні конструкції широко використовують для будівництва одно та багатоповерхових будинків. Це дозволяє суттєво економити деревину, особливо при будівництві багатоповерхових будинків, оскільки при виготовленні дерев'яних панелей, для таких будинків використовуються практично всі кускові відходи з деревини. Разом з тим, до таких конструкцій ставиться багато вимог, починаючи від клею, і закінчуючи деревинною, оскільки це складний технологічний процес [9,11].

Складність технологічного процесу з виготовлення дерев'яних конструкцій у тому, що при їх виготовленні необхідно проводити з'єднання деревини за довжиною, шириною та товщиною. При такому склеюванні деревини важливе значення матиме підготовка деревини, її властивості, підготовка клею тощо. Повздожне склеювання деревини називають зрощення. Його проводять з метою видалення дефектних місць, і тим самим підвищують механічні властивості клейової конструкції. Окрім того, склеювання деревини при виготовленні деревинних конструкцій здійснюють за шириною та товщиною. Отримані конструкції використовують при виготовленні столярно будівельних виробів, меблевих виробів, тощо. Для виготовлення таких дерев'яних конструкцій використовують синтетичні клеї.

Основні схеми з'єднань деревини наведено на рис. 1.4.



Рис 1.4. З'єднання деревини за довжиною, шириною та товщиною

Як видно із рис. 1.4. для отримання деревинної клейової конструкції відповідних розмірів за довжиною, шириною та товщиною деревину склеюють спочатку за довжиною, потім за шириною та товщиною. Для такого з'єднання використовують певні технологічні процеси, які забезпечуються відповідними режимними параметрами. При склеюванні деревини вздовж волокон використовують з'єднання деревини на міні шип. Це дозволяє забезпечити відповідну міцність, оскільки склеювати деревину вздовж волоко надзвичайно важко. Для склеювання деревини за шириною використовують з'єднання деревини по крайці на гладку фугу. Таке клейове з'єднання також забезпечує належну міцність при склеюванні. При склеюванні деревини за товщиною, з'єднання деревини відбувається по пласті. Даний тип з'єднання забезпечує міцність склеювання за допомогою великою прощі контакту між клеєм та площею склеювання.

Підсумовуючи можна відзначити, що деревинні клейові конструкції широко використовуються при виготовленні виробів, а особливо для столярно

будівельних виробів. Для їх склеювання використовуються синтетичні клейові матеріали, а основним конструкційним матеріалом є деревина різних порід.

## 1.2 Властивості деревини та їх вплив на клейові конструкції

Для виготовлення столярних та будівельних конструкцій використовують різні породи деревини, в основному сосни, бука, дуба, тощо. Тому властивості деревини впливатимуть на довговічність столярних конструкцій. Це впливає із того, що деревина матеріал природнього походження, який є анізотропним та гігроскопічним, має хороші теплопровідні, звукопровідні властивості, є добрим діелектриком, тощо. Всі властивості деревини можна поділити на фізичні, механічні та хімічні. [3]. На рисунку 1.5. наведено деревину породи сосни, дуба та бука.



а)



б)



в)

Рис. 1.5. Деревина а) дуб, б) сосна, в) бук

При склеюванні столярних деревинних конструкцій важливу роль відіграють механічні властивості деревини, оскільки вони визначатимуть їх міцність та довговічність. Фізичні та хімічні властивості також є важливими при склеюванні деревини та формуванні клейового з'єднання, але вони більше впливають на формування клейового з'єднання. До них відносять водопоглинення, гігроскопічність, щільність, пористість та хімічний склад деревини. Властивості деревини наведено на рис. 1.6. [2]

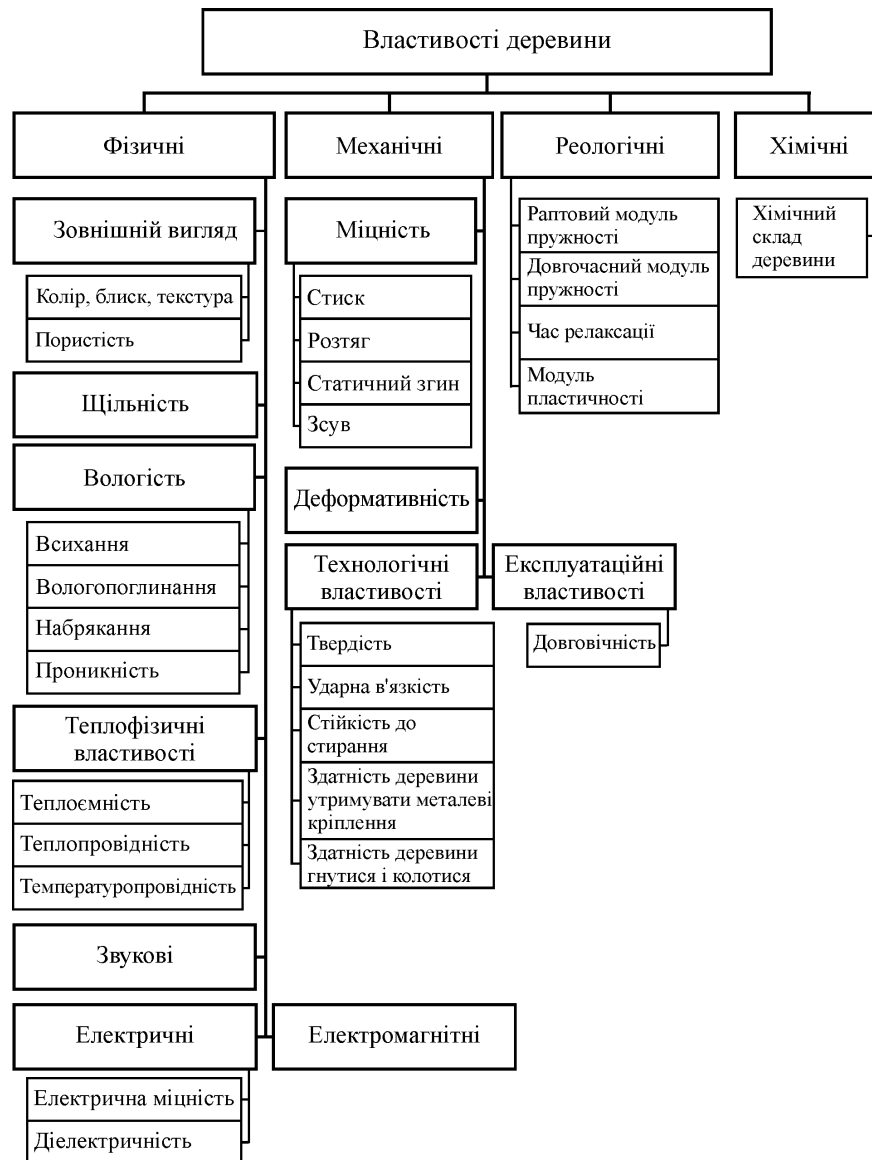


Рис. 1.6. Властивості деревини

Врахувати всі властивості деревини при склеюванні її важко. Оскільки на технологічний процес склеювання впливає багато різних властивостей деревини та клею і факторів технологічних параметрів процесу склеювання.

Серед них: пористість, кут нахилу волокон у деревині, річні шари, рання і пізня зона деревини, тощо. Всі ці властивості мають вплив як на формування міцності клейового з'єднання так і довговічність конструкції під час її експлуатації.

Під час формування клейових з'єднань значний вплив має вологість деревини. Із збільшенням вологості деревини зменшується адгезія клею до її поверхні. Це призводить до появи внутрішніх напружень у клейовому шві. Вологість деревини при склеюванні повинна знаходитись в межах  $10\pm 2\%$ . Підвищена вологість деревини при склеюванні призводить до погіршення якості клейового з'єднання.

Підсумовуючи можна відзначити, що деревина є тим конструкційним матеріалом, який широко використовується для виготовлення різних деревинних конструкцій. Деревина має фізичні, механічні та хімічні властивості, які впливатимуть та визначатимуть міцність та довговічність конструкцій.

### **1.3. Клеї для склеювання деревинних конструкцій**

Для склеювання столярних деревинних конструкцій сьогодні використовується велика кількість клейових матеріалів. Всі вони синтетичного походження, оскільки саме клеї синтетичного походження можуть задовольняють вимоги, які до них ставляться. Клеї для склеювання деревини появились ще три тисячі років тому. Спочатку, це були клеї природнього походження. З часом появились клеї синтетичного походження, оскільки саме такі клеї надають клейовим з'єднанням біологічної стійкості, водостійкості, теплостійкості, тощо.

Виготовлення клеїв великими партіями у промислових умовах почали у середині двадцятого століття. Після цього появилась велика кількість клеїв синтетичного походження, основними компонентами яких були полімерні матеріали. Спочатку це були клеї на основі формальдегідних смол, які здатні

формувати клейові з'єднання деревини із високими експлуатаційними властивостями у природніх умовах, потім інші типи клеїв.

Так, що ж таке клеї? Клеї це адгезійні матеріали натурального або синтетичного походження, які здатні формувати клейові з'єднання із різними матеріалами. [5]

Класифікація клеїв наведено на рис. 1.7.



Рис. 1.7. Класифікація клеїв.

Для склеювання столярних деревинних конструкцій використовують як термореактивні, а саме карбамідо формальдегідні клеї, фенол формальдегідні клеї, так і термопластичні, а саме полівінілацетатні та поліуретанові клеї. Всі

вони дозволяють формувати клейові з'єднання деревини із заданими експлуатаційними властивостями. На рис. 1.8. наведено клеї на термореактивній і термопластичній основі.



Рис. 1.8. Клеї на основі карбамідоформальдегідної смоли та полівінілацетатної дисперсії.

Важливе значення на сьогоднішній день для клеїв та зєднань на їх основі, має екологічна складова клейових матеріалів. До екологічно небезпечних відносять клеї на основі формальдегіду. Класифікація формальдегідних клеїв здійснюється за трьома класами, а саме: Е-1, Е-2 та Е-3. Така класифікація відповідає вмістом формальдегіду. Кількість формальдегіду в залежності від класу токсичності в 100 г. матеріалу може коливатися від 10 мг. до 60 мг.

До екологічно безпечних відносять природні клеїв, а саме клеї рослинного та тваринного походження. Серед синтетичні клеї до екологічно безпечних відноситься невелика їх кількість, в основному це полівінілацетатні (ПВА) клеї, поліуретанові клеї, поліакрилатний клей, латексні клеї та інші. Найбільш широкого використання для склеювання деревини мають клеї на основі полівінілацетатної дисперсії, оскільки у своєму складі містять нетоксичні складові елементи, а розчинниками служить вода. [7]

#### **1.4 Перспективи використання столярних клейових конструкцій склеєних ПВА клеями**

До столярних клейових конструкцій відносять конструкції виготовлені із деревини різних порід, які між собою склеєні синтетичними клеями. Із таких

конструкцій виготовляють вікна та двері. Оскільки зазначені вироби експлуатуються як в середині приміщення так і ззовні, то до них ставляться відповідні вимоги. Серед цих вимог є забезпечення довговічності та екологічності виробам. Щоб задовольнити дані вимоги, необхідно використовувати клейові матеріали та деревину із такими властивостями, що можуть їх забезпечити. На рис. 1.9. наведено вироби з деревинних клейових конструкцій, а саме вікна та двері.



Рис. 1.9. Вікна із склеєного дерев'яного бруса

Дерев'яні конструкції вікон широко використовуються у житлових та офісних будинках, оскільки забезпечують належні кліматичні умови для проживання та відпочинку людей. Окрім того, дані віконні конструкції є довговічними та надійними під час експлуатації. Їх експлуатація відбувається у знакозмінних кліматичних умовах, оскільки зовнішня сторона постійно піддається дії циклічним температурно вологісним навантаженням, які є небезпечними як для деревини так і клейових з'єднань. Тому, при виготовленні віконних деревинних конструкцій, необхідно враховувати циклічну дію вологи, температури та повітря і сонячного опромінення тощо на такі конструкції.

Альтернативою дерев'яним віконним конструкціям є металопластикові віконні конструкції, які сьогодні також масово використовуються у багатоповерховому будинкобудуванні. Але такі віконні конструкції не забезпечують належного мікроклімату у середині приміщення. Оскільки не мають можливості здійснювати циркуляцію повітря із зовнішнього середовища

у приміщення, так як це робить деревина за рахунок своїх природніх властивостей.

Тому, використання дерев'яних віконних конструкцій у жилих приміщеннях є необхідною умовою для збереження мікроклімату у них. Окрім того, деревинні віконні конструкції є безпечними і з екологічної точки зору, оскільки відповідають вимогам, що ставляться до віконних конструкцій при їх виготовленні та експлуатації.

Одним із недоліків щодо використання віконних клейових конструкцій є вимоги щодо забезпечення належної адгезійної і когезійної міцності у клейових з'єднань, як під час їх виготовлення так і при експлуатації.

### **1.5 Загальні висновки з розділу та задачі дослідження**

1. На основі аналізу літературних джерел щодо клейових деревинних конструкцій встановлено, що склеєна деревина широко використовуються при виготовленні столярно будівельних виробів, забезпечують при цьому належні умови експлуатаційні.

2. Для склеювання деревинних при виготовленні клейових деревинних конструкцій використовують синтетичні клейові матеріали, які здатні забезпечити належну адгезійну і когезійну міцність склеєним елементам деревини під час експлуатації.

3. Конструкційним матеріалом при виготовленні таких столярних конструкцій, в основному, використовують деревину породи сосна, смереки, дуб та бук. Це різні породи деревини, що мають неоднакові властивості і впливають на формування адгезійної міцності та експлуатаційних характеристик готовим виробам.

4. Деревині клейові конструкцій широко використовуються при виготовленні столярно будівельних виробів, а саме віконних конструкцій, як альтернатива металопластиковим конструкціям. Для склеювання деревинних столярних конструкцій використовуються екологічно безпечні клеї на основі ПВА дисперсій.

Виходячи із зроблених висновків сформовано мету, об'єкт, предмет та мету досліджень.

*Мета:* дослідження довговічності клейових столярних деревинних конструкцій склеєних полівінілацетатними клеями.

*Об'єкт дослідження:* столярні деревинні клейові конструкції.

*Предмет дослідження:* довговічність клейових з'єднань у столярних деревинних конструкціях.

Основні задачі дослідження:

1. Проаналізувати стан використання клейових столярних конструкцій.
2. Підібрати методика досліджень із вивчення довговічності клейових з'єднань деревини при виготовленні клейових столярних конструкцій.
3. Дослідити теоретичні основи формування клейових з'єднань деревини у столярно будівельних конструкціях.
4. Дослідити вплив природніх факторів на довговічність клейових столярних конструкцій.
5. Проаналізувати вплив вологості та температури на міцність та довговічність клейових з'єднань деревини у столярних конструкціях.
6. Розробити заходи щодо охорони праці та екологічної безпеки при дослідженні довговічності клейових столярних конструкцій.

## РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1 Підготовка взірців до випробування

Для дослідження довговічності столярних клейових конструкцій використовували деревину хвойних порід деревини, а саме сосну та смереку. Це ці породи деревини, які найбільш частіше використовуються при виготовленні столярних будівельних конструкцій, включаючи і віконні конструкції. Тому для досліджень виготовлялись зразки саме із цих порід деревини.

На першому етапі необхідно визначитись із вологістю деревини, яку необхідно забезпечити перед склеюванням. Згідно методики проведення експериментальних досліджень вологість деревини перед склеюванням повинна бути  $10 \pm 2\%$ . Для вимірювання вологості деревини використовували вологомір, який наведено на рис. 2.1.



Рис. 2.1. Вологомір для деревини марки Walcom MC-7828P

Дошки для виготовлення зразків відповідали стандарту ДСТУ EN 336:2003. [8] Після вибору матеріалу та заміру його вологості, здійснювали огляд з метою виявлення дефектних місць, а саме сучків, гнилі, тощо. При їх виявленні дані дефектні місця вирізались. Тобто для склеювання деревина не повинна мати дефектних місць. Після цього вирізали заготовки відповідних розмірів, які повинні відповідати стандарту ДСТУ EN 205:2014. Згідно з даним стандартом зразки перед експериментами дослідження мали вигляд, який наведено на рис. 2.2.

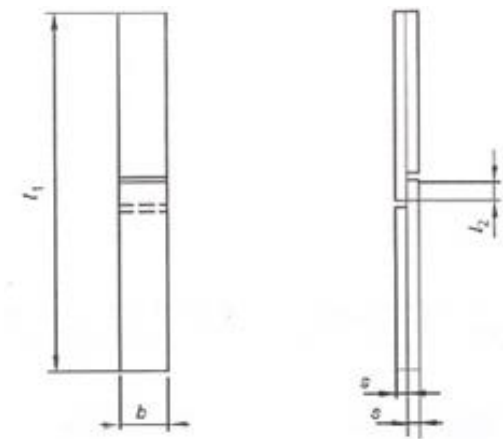


Рис. 2.2. Схема зразка для проведення експериментальних досліджень

Формування зразків здійснювалось наступним чином. Спочатку дошка піддавалась розпилюванню на відповідну довжину. Потім заготовку піддавали струганню по однієї пласті і країці. Після цього формували заготовку в розмір за довжиною і шириною відповідно до їх кратності. Розміри заготовок, які піддавались експериментальним дослідженням відповідали наступним розмірам: довжина – 150 мм, ширина – 20 мм і товщина – 5 мм. Після цього сформовані зразки піддавались склеюванню. Склеювали зразки кратними.

## 2.2 Підготовка клею та склеювання

Технологічний процес склеювання відбувався у лабораторних умовах з використанням лабораторного устаткування. Перед склеюванням необхідно здійснити підготовчі роботи, а саме підготувати клейову композицію до склеювання. Для склеювання використовували двокомпонентний полівінілацетатний клей Д4, марки Йоваколь, який забезпечує клейовим з'єднанням деревини належні експлуатаційні характеристики, а саме водостійкість, вологостійкість, теплостійкість, стійкість до дії сонячного опромінення, тощо.

Клей зберігається у пластмасовій тарі, окремо клейова композиція і окремо затверджувач. Тому, для його приготування необхідно ці дві складові клею змішати і довести до певної в'язкості. Оскільки клей наносився у лабораторних умовах пензлем, то його робоча в'язкість повинна бути 80 сек. За

віскозиметром ВЗ4. На рис. 2.2 наведено віскозиметр ВЗ 4 та скляна колба для розмішування клею до відповідної умовної в'язкості.



Рис. 2.2. Віскозиметр ВЗ 4 та скляна колба для розмішування клею

Після отримання клейової маси відповідної в'язкості, як є придатна для нанесення на деревинні заготовки. Наносили клей за допомогою пензля вручну. Зразки склеювали у гідравлічному пресі. При склеюванні використовували наступні режимні параметри: витрата клею -  $180 \text{ г/м}^2$ ; в'язкість – 80 сек.; сухий залишок -  $47 \pm 1 \%$ ; температура склеювання  $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ; вологість у приміщенні – 65%; тривалість відкритої витримки – 8-11 хв; тривалість пресування – 20 хв; питомий тиск пресування –  $2-3 \text{ кг/см}^2$ .



Рис. 2.3. Прес для склеювання заготовок.

Після склеювання кратні заготовки піддавались розкрюювання та формуванню розмірів відповідно до схеми рис. 2.2.

### 2.3 Методика експериментальних випробування

Експериментальні дослідження довговічності клейових столярних конструкцій проводили згідно стандарту ДСТУ EN 204:2014. Згідно даного стандарту визначається довговічність клейових з'єднань деревини щодо стійкості до довговічності, а саме із класами D1, D2, D3 та D4 для різних способів обробки. Випробування клейових з'єднань деревини на довговічність клейових столярних конструкцій проводили за результатами тривалих експериментальних досліджень згідно зазначеного стандарту відповідно до методи, яка наведена в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Дослідження довговічності клейових столярних конструкцій відповідно до вимог стандарту

Етапи випробувань		Міцність з'єднання в Н/мм <sup>2</sup> ,			
№	Тривалість витримки	D1	D2	D3	D4
1	7 діб при стандартних атмосферних умовах	≥ 10	≥ 10	≥ 10	≥ 10
2	7 діб при стандартних атмосферних умовах	-	≥ 8	-	-
	3 години в воді при температурі (20±5) °C				
3	7 діб при стандартних атмосферних умовах	-	-	≥ 2	≥ 4
	4 доби в воді при температурі (20±5) °C				
4	7 діб при стандартних атмосферних умовах	-	-	≥ 6	-
	4 суток доби в воді при температурі (20±5)				
5	7 діб при стандартних атмосферних умовах	-	-	-	≥ 4
	6 годин в кип'ячій воді				
	2 години в воді при температурі (20±5) °C				

Згідно табл. 2.1. для визначення довговічності клейових столярних конструкцій нам необхідно провести ті дослідження, після яких міцність клейового з'єднання буде більша за  $4 \text{ Н/мм}^2$ . Тобто ми проводили дослідження за першим, другим та третім методикою, яка наведена у табл. 2.1.

Для отримання достовірних даних результатів досліджень, кожний зразок піддавався замірам, щоб запобігти похибці.

Для випробування зразків згідно стандарту використовували лабораторне устаткування, а саме металевий посудину для вимочування зразків та посудину їх кип'ятіння. Також використовували різного роду лабораторне устаткування для контролю параметрів зразків. Також здійснювали їх візуальний огляд. Для досліджень використовували 100 зразків, тобто по 25 зразків для кожного етапу випробувань та контрольні зразки. Для руйнування зразків використовували розривну машину ИР 5057-50, яка наведена на рис. 2.4.



Рис. 2.4 Розривна машина ИР 5057-50

Кожний зразок який піддавався руйнуванню оглядався та визначався характер руйнування клейового шва. Всі результати досліджень записувались у журнал спостереження з подальшим їх аналізом та статистичною обробкою результатів досліджень.

## 2.4 Статистична обробка

Отримані результати навантаження необхідно перерахувати у міцність у МПа. Для цього за формулою здійснюємо перерахунок:

$$\sigma = \frac{P_{\text{розр}}}{a \cdot b}, \text{ МПа} \quad (2.1)$$

$P_{\text{розр}}$  – навантаження, Н;

$a$  – довжина, Н;

$b$  – ширина зразка, мм.

Після цього проводимо статистичну обробку

Статистичний аналіз.

1. Визначаємо  $y_{\text{max}}$  і  $y_{\text{min}}$ .
2. Визначаємо кількість та величину інтервалу:

$$\Delta y = \frac{y_{\text{max}} - y_{\text{min}}}{k} ; \quad (2.2)$$

$$k = 3.32 \lg N + 1$$

де:  $N$  - об'єм вибірки.

3. Середнє значення:

$$y_i = \frac{y_{in} + y_{is}}{2} ; \quad (2.3)$$

де  $y_{in}, y_{is}$  – верхня і нижня межі інтервалу.

4. Середнє значення вибірки:

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^k y_i \cdot m_i ; \text{ МПа} ; \quad (2.4)$$

5. Дисперсія:

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^k m_i (y_i - \bar{y})^2 ; \quad (2.5)$$

Середньоквадратичне відхилення:

$$S = \sqrt{S^2_{MM}}; \quad (2.6)$$

6. Коефіцієнт варіації:

$$V = \frac{S}{y} \cdot 100\%; \quad (2.7)$$

7. Середньоквадратична похибка середнього значення:

$$S_y = \frac{S}{\sqrt{N}} \text{ мм}; \quad (2.8)$$

8. Показник точності дослідження:

$$P = \frac{S_y}{y} \cdot 100\% = \frac{V}{\sqrt{N}}; \quad (2.9)$$

9. Інтервал довіри

10. Дубльовані спостереження:

$$n \geq \frac{V^2 \cdot t^2_{(q,f)}}{q^2}; \quad (2.10)$$

11. Гістограма та полігону розподілу

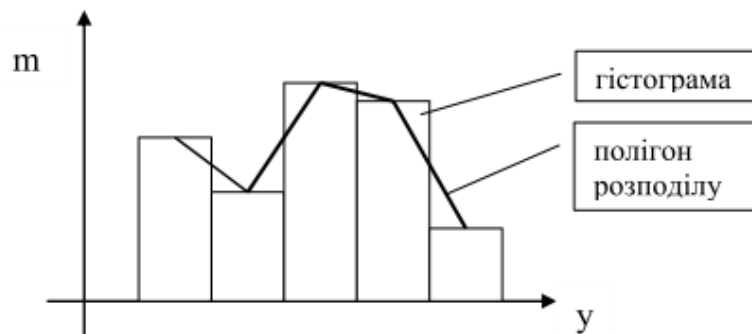


Рис. 25 Полігон розподілу

12. Перевірка нормальності розподілу:

$$A = \frac{1}{NS^3} \sum_{i=1}^n mi(y_i - \bar{y})^3; \quad (2.11)$$

$$E = \frac{1}{NS^4} \sum_{i=1}^n mi(y_i - \bar{y})^4 - 3; \quad (2.12)$$

де N – об'єм вибірки.

Середньоквадратичні відхилення ( $\sigma_A$  і  $\sigma_E$ ):

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{6(N-1)}{(N+1)(N+3)}}; \quad (2.13)$$

$$\sigma_E = \sqrt{\frac{24N(N-2)(N-3)}{(N-1)^2(N+3)(N+5)}}; \quad (2.14)$$

Перевірки нормальності розподілу

$$P_i = \Phi(z_2) - \Phi(z_1); \quad (2.15)$$

$$z_1 = \frac{y_{ni} - \bar{y}}{S}; \quad (2.16)$$

$$z_2 = \frac{y_{vi} - \bar{y}}{S}; \quad (2.17)$$

де:  $\bar{y}$  – середнє арифметичне вибірки;

$S$  – середньоквадратичне відхилення вибірки;

$y_{ni}$ ,  $y_{vi}$  – нижня і верхня межа  $i$ -го інтервал;

$m_i$  – кількість елементів вибірки, що попали у інтервал ;

$\Phi(z)$  – функція Лапласа

Функція  $\Phi(z)$  непарна, тому  $\Phi(-z) = -\Phi(z)$ .

Розрахункове значення критерію Пірсона:

$$\chi^2_{розр} = \sum_{i=1}^n \frac{(m_i - P_i \cdot N)^2}{P_i \cdot N}; \quad (2.15)$$

## РОЗДІЛ 3 ТЕОРИТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 3.1 Теоретичні аспекти формування клейових столярних з'єднань

При формування клейових столярних виробів із деревини необхідно забезпечити їх довговічність під час експлуатації. Для цього необхідно більш детально вивчити та дослідити механізм формування і руйнування таких клейових з'єднань. Складність таких досліджень в тому, що це багат шарова клейова конструкція, яка може складатися із різних порід деревини, які характеризуються дещо відмінними фізичними, механічними та хімічними властивостями. На рис. 3.1 наведено багат шарові клейові конструкції, з яких виготовляють столярні вироби, а саме вікна, двері тощо.



Рис. 3.1. Багат шаровий клеєний брус із деревини

При склеюванні деревини в багат шарову клейову конструкцію здійснюють з'єднання деревини за довжиною, шириною та товщиною. Кожне із таких видів з'єднань склеюється відповідно до розробленого технологічного процесу склеювання заготовок, а саме за довжиною, шириною та товщиною. Все це вимагає правильного підбору матеріалів, клеїв та технологічних параметрів режимів склеювання. Тому, це багатостадійний технологічний процес, який потребує теоретичних та технологічних рішень.

Щодо теоретичних рішень, то їх необхідно розглянути із механізму формування клейового шва між складовими елементами клеєної деревинної конструкції, оскільки кількість ламелей може бути різною, в залежності від товщини клейової конструкції. Окрім того, ці ламелі необхідно склеювати за в різних напрямках з довжиною, шириною і товщиною.

За довжиною ламелі склеюються за допомогою мікрошипа. За шириною на гладку фугу по крайці, а за товщиною на гладку фагу по пласті. З теоретичної точки зору довговічність такої клейової конструкції визначатиме клейове з'єднання по пласті, оскільки саме по пласті є найбільша площа контакту між деревиною і клеєм, що дозволяє швидкому попаданні вологи та води, тощо. Тому, міцність клейових столярного з'єднання буде визначатися якістю сформованого клейового шва по пласті. Окрім того, важливе значення матиме і експлуатація таких клейових з'єднань, оскільки велика площа контакту дає можливість більш інтенсивного впливу природніх факторів на клейове з'єднання. Тому, у даному розділі розглянемо механізм формування та руйнування клейового з'єднання деревини по пласті.

Для склеювання клейових столярних конструкції використовують термопластичні полівінілацетатні клеї із ступенем довговічності Д4. Такі клеї формують рідкоітчасту структуру клейового, як здатна підвищувати водостійкість та вологостійкість клейового з'єднання. Разом з тим, міцність таких клейових з'єднань деревини буде залежати від адгезії і когезії та хімічної взаємодії між клейовою композицією та складовими компонентами деревини. Важливе значення у таких процесах матиме адгезія та когезія полівінілацетатних клеїв до деревини. Оскільки для даних клейових з'єднань важливе значення матиме когезійна міцність, тому спочатку розглянемо когезію. Когезія це взаємодія між частинками однорідного тіла. При склеюванні це взаємодія між частинками самого клею, а в деревині це взаємодія між складовими компонентами деревини. Забезпечується когезійна міцність за допомогою міжмолекулярних хімічних зв'язків складових компонентів клею і деревини.

Взаємодія молекул між собою не дозволяє розривати існуючі або утворенні нові зв'язки. Міжмолекулярні зв'язки утворюються за допомогою кулонівської взаємодії між ядрами атомів двох молекул, а їх енергія буде залежити від відстані між цими молекулами. Все це

відбувається за допомогою електростатичних, поляризаційних і дисперсійних сил міжмолекулярної взаємодії [18, 19].

Формування клейових з'єднань деревини у термореактивних і термопластичних клейових з'єднаннях буде відбуватися за різними механізмами. У термореактивних клейових з'єднаннях даний процес буде відбуватися за рахунок хімічної взаємодії між складовими компонентами формальдегідних смол та деревиною. Щодо термопластичних полівінілацетатних клейових композицій, то механізм формування клейових з'єднань деревини, в основному, буде відбуватися за допомогою дисперсійної взаємодії, які підпорядковується законам квантової механіки, із утворенням диполів в атомах макромолекули. Енергія такої взаємодії становить близько 40 кДж/моль.

Разом з тим міжмолекулярні сили слабші за валентні. Ця різниця менша в середньому від п'яти до десяти раз. У той же час при збільшенні молекулярної маси, міжмолекулярні сили збільшуються, що приводить до збільшення енергії хімічних зв'язків. Важливу роль у таких клейових з'єднаннях відіграють групи -ОН, -NH. Це є важливо, оскільки полівінілацетатні клейові матеріали можуть формувати водневі зв'язки як між компонентами клейової композиції та і між компонентами клейової композиції і деревини. Вони являють собою трьохцентрові хімічні зв'язки. Атом Н з'єднаний ковалентним зв'язком з атомами Х (N, O, S). Водневий зв'язок це окремий тип координаційного зв'язку. Тому, кількість водневих зв'язків, що утворюється є значною. Енергія водневих зв'язків знаходиться в межах від 20 до 40 кДж/моль. Тому водневі можуть формувати адгезійну і когезійну міцність як для целюлози, геміцелюлози, полівінілового спирту і полівінілацетату [19].

Полівінілацетат і полівініловим спирт мають сильні полярні групи, тому когезійна міцність для клейових з'єднань із ступенем навантаження Д4 можуть мати всі видами [19].

Утворення водневих зв'язків між компонентами полівінілацетатної клейової композиції наведено на рис. 3.2. [2]

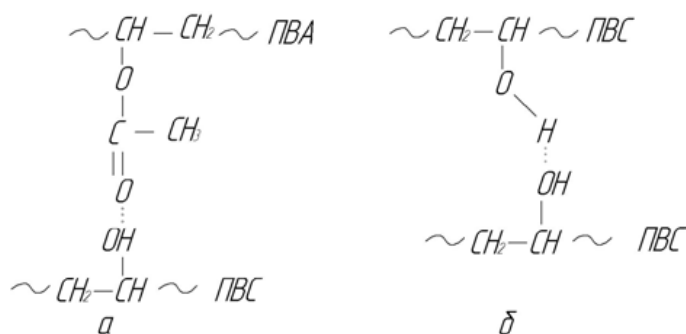


Рис. 3.2 Варіант утворення водневих зв'язків компонентами полівінілацетату

Окрім формування добрих когезійних зв'язків між компонентами клейової композиції у таких клейових з'єднаннях формується і добра адгезійна міцність.

Утворення можливих водневих зв'язків між компонентами клею та деревини показано на рис. 3.3. [1].

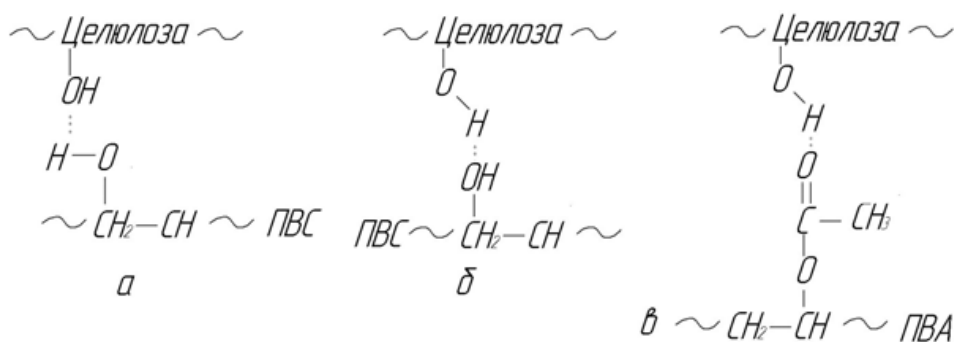


Рис. 3.3 Приклади водневих зв'язків, що можуть утворювати компоненти клейової композиції (а), (б) та деревина (в)

Як видно, із наведених хімічних форм взаємодії компонентів клейової композиції і деревини у таких клейових з'єднаннях може формуватися велика кількість водневих зв'язків, що призводить до підвищення адгезійної і когезійної міцності таких клейових з'єднань та підвищеної водостійкості та вологостійкості клейової конструкції під час її експлуатації у природніх умовах із значними температурно вологісними навантаженнями.

### 3.2 Теоретичні аспекти руйнування деревинних конструкцій

Клейові деревинні конструкції працюють як у середині приміщення так і ззовні. Окрім того, вони можуть нести різного роду фізичні навантаження. Тому це необхідно враховувати при склеюванні клейових деревинних конструкцій. До клейових деревинних конструкцій, які несуть фізичні навантаження, ставляться жорсткіші вимоги як на етапі їх виготовлення, так і під час експлуатації, ніж до тих, які не несуть фізичних навантажень. Важливе значення для таких конструкцій мають характеристики та властивості клейових матеріалів, що використовуються для їх склеювання. Тому, такі клейові з'єднання мають забезпечувати належну адгезійну і когезійну міцність як під час експлуатації при одночасній дії знакозмінних температурно вологісних навантажень, так і при фізичних навантажень.

Для склеювання таких конструкцій, як відомо з літературних джерел, використовують термореактивні клеї. Разом з тим, такі клейові з'єднання є екологічно небезпечними і використовуються саме для клейових з'єднань, що несуть різні фізичні навантаження і працюють у атмосферному температурно вологісному середовищі.

Для клейових з'єднань які працюють у закритому приміщенні і не несуть фізичних навантажень використовують термопластичні полівінілацетатні клеї, які формують еластичний клейовий шов з добрими адгезійними властивостями до деревини. Але такі клейові з'єднання маю дещо іншу природу формування клейового з'єднання деревини і нижчу водостійкість і вологостійкість клейового шва. Тому, механізм руйнування таких клейових з'єднань буде відрізнятися від механізму формування клейових з'єднань на основі термореактивних клеїв (див. розд. 3.1.).

На міцність та довговічність термопластичних полівінілацетатних клейових з'єднань деревини, окрім властивостей клейової композиції значний вплив матимуть і властивості деревини. Оскільки деревини складається із целюлози, геміцелюлози та лігніну, тобто органічних сполук, які за своїм

складом є подібні до складових компонентів полівінілацетатної клейової композиції. [4]

Тому гідроксильні групи які є в деревині, можуть взаємодіяти із макромолекулами полівінілацетатної клейової композиції і утворювати водневі зв'язки. Дані зв'язки хоч і мають невелику енергію, але значна їх кількість, яка може утворилася, буде забезпечувати належну міцність клейовим з'єднанням під час експлуатації.

На рис. 3.4. наведено хімічну формулу целюлози. [19].

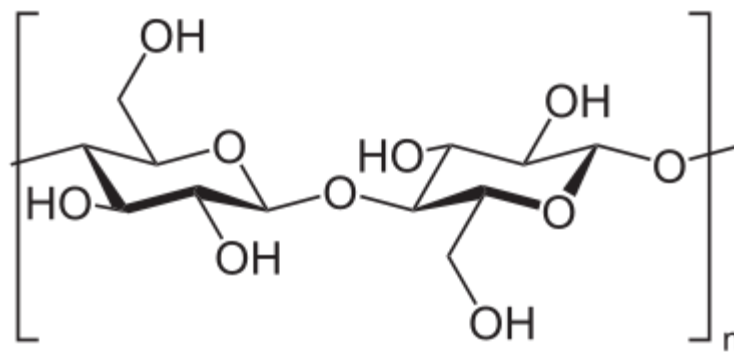


Рис 3.4. Формула целюлози.

Целюлоза є природнім полімером лінійної будови, що складається із ангідридів D-глюкопіранози. Така будова макромолекули целюлози виділяє її із полісахаридів, та надає більшої стійкості до різного роду хімічних впливів.

Важливе значення для клейових деревинних конструкцій під час експлуатації має реологічна поведінка термопластичного полівінілацетатного клейового шва. Оскільки клейовий шов є еластичний, що є важливо під час експлуатації клейової столярної конструкції, тому напруження що виникають між деревиною що склеюється будуть релаксуватися.

Модуль пружності у таких клейових з'єднаннях будуть забезпечувати пружні властивості при дії знакозмінних температурно вологісних навантажень. Модуль пружності є важливим показником при розрахунку міцність клейових з'єднань деревини.

Щодо деревини, то неоднорідне її всихання призводить до внутрішніх напружень, які при досягненні критичної межі міцності, можуть призвести до руйнування клейового з'єднання. Така поведінка є небезпечною для з'єднання.

Разом з тим, клейовий шов на основі полівінілацетатної дисперсії, за рахунок його еластичності, зменшує внутрішні напруження, за рахунок їх релаксації.

Розглянемо поведінку полівінілацетатної клейової плівки при її розтязі. На рис. 3.6. наведено діаграму розтягу клейової плівки на основі полівінілацетатної клейової композиції із ступенем довговічності Д4 [2]

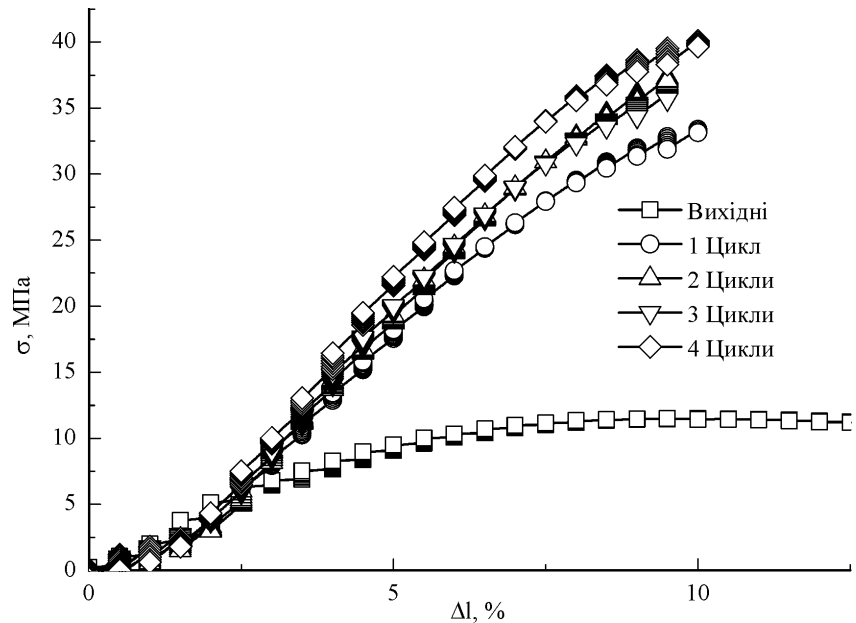


Рис. 3.5. Діаграми розтягування ПВА плівки залежно від циклів випробувань.

Як видно з рис. 3.5., при розтягу клейової плівки на основі полівінілацетатної клейової композиції відбувається збільшення її міцності з 8,2 МПа для контрольних зразків до 34,8-38,5 МПа. З цього можна зробити висновок, що при пружно деформаційних процесах, за рахунок подовження клейової плівки і збільшення її міцності, міцність клейового шва також повинна збільшуватись. Це доведено нашими експериментальними дослідженнями клейових з'єднань деревини у лабораторних умовах прискореним методом дослідження при склеюванні деревини хвойних порід полівінілацетатними клеями із ступенем довговічності Д4.

Але така поведінка клейового з'єднання може відбуватись до певної межі насичення клейового шва вологою або водою. Після повного насичення клейового шва вологою, буде відбуватись зростання деформаційних процесів, що може призвести до його руйнування клейового з'єднання.

На рис 3.6. наведено можливість утворення водневих зв'язків між компонентами клейової композиції та деревини.

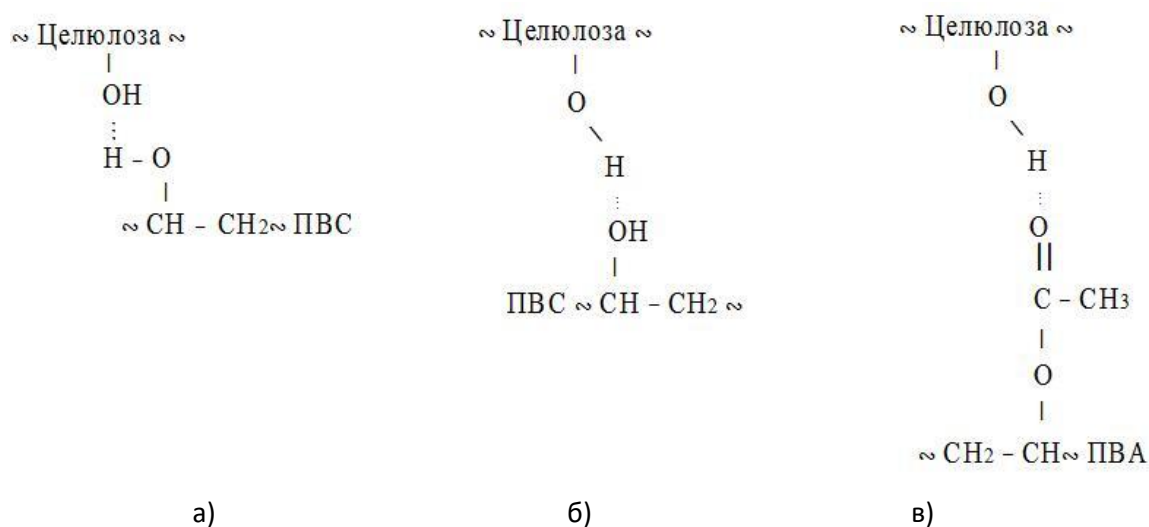


Рис. 3.6. Водневі зв'язки між полівінілацетатною клейовою композицією і деревиною.

а) між полівініловим спиртом і деревиною, б) полівінілацетатом і деревиною, в) між клейовою композицією і деревиною

Властивість формувати водневі зв'язки між компонентами клейової композиції та деревиною дозволяє підвищити довговічність клейових столярних конструкцій, оскільки під час їх експлуатації у природних умовах із змінними температуро вологісними навантаженнями додаткова волога може попадати у клейовий шов через деревину, рідше через клейовий шар. Це призводить до утворення додаткових водневих зв'язків. У свою чергу ці додаткові водневі зв'язки (-ОН) можуть підвищувати довговічність у клейових деревинних з'єднань (див. розд.3.1.)

Важливе значення для клейових столярних конструкцій склеєних полівінілацетатними клеями має робота руйнування у такому клейовому з'єднанні. Для клейової плівки вона розраховується як площа під кривою навантаження, тобто деформацією. Робота руйнування клейової полівінілацетатної плівки наведено на рис. 3.7.

Робота руйнування буде залежати від роботи вимушеної еластичної деформації. Для зразків полівінілацетатної клейової плівки робота пружної зворотної деформації буде рівна  $15,9 \text{ Дж/м}^2$ .

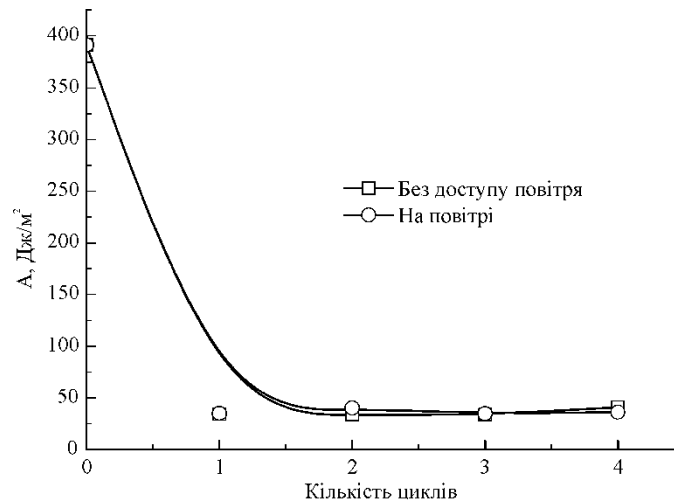


Рис. 3.12. Робота руйнування зразків полівінілацетатної плівки

Щодо впливу температури на довговічність полівінілацетатних клейових з'єднань деревини, то вона має важливе значення, оскільки дані клейові з'єднання не витримують тривалої дії підвищених температур. Це можна пояснити текучістю полівінілацетатної клейової плівки при температурі вище  $+60^\circ\text{C}$ . На рис. 3.7 наведено імітаційна модель впливу температури на міцність полівінілацетатного клейового з'єднання деревини сосни [2].

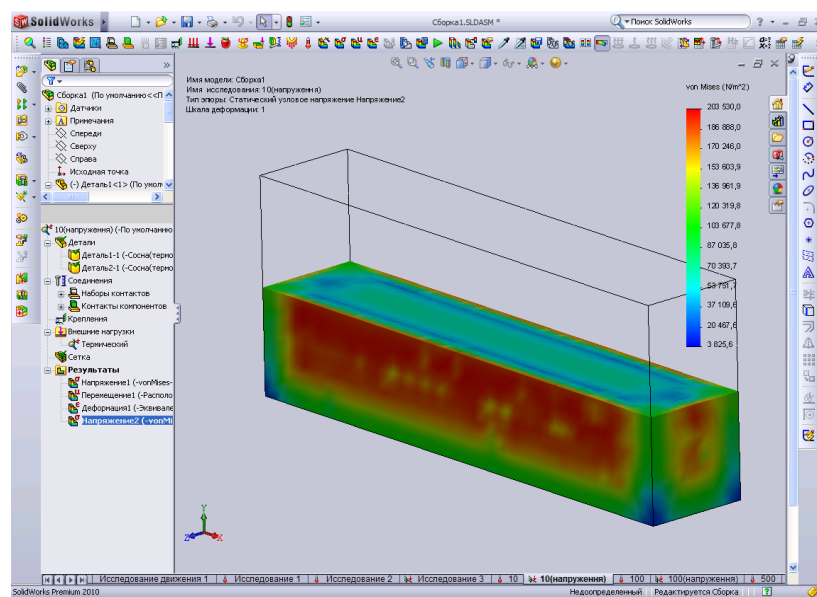


Рис. 3.7 Розподіл напружень у клейових з'єднаннях деревини у середині клейового шару при нагріванні.

Як видно з рис. 3.7 напруження становитимуть в межах від 42000 до 190000 Н/м<sup>2</sup>. Разом з тим, найменші напруження у такому клейовому з'єднанні будуть на межі деревина-клей.

### 3.4 Висновки з розділу

1. Формування клейового з'єднання у термопластичних полівінілацетатних клейових з'єднань деревини відбувається за рахунок міжмолекулярних зв'язків між як між компонентами клейової композиції так і між компонентами клейової композиції і деревини. Важливе значення при формуванні таких клейових з'єднань відіграють водневі зв'язки, які дозволяють підвищити вологостійкість і водостійкість клейових з'єднань.

2. На міцність і довговічність термопластичних клейових з'єднань деревини під час експлуатації мають природні фактори, а саме вологість і температура. Механізм руйнування термопластичних полівінілацетатних клейових з'єднань деревини відбувається дещо по іншому ніж у терморезистивних клейових з'єднаннях, оскільки такі клейові з'єднання можуть формувати водневі зв'язки як між компонентами клейової композиції, та і деревини при дії вологи під час їх експлуатації. Такі зв'язки під час експлуатації клейових з'єднань можуть підвищувати міцність і довговічність клейових з'єднань.

3. Вплив температури та термопластичні клейові з'єднання деревини є також більш вагомим ніж для терморезистивні клейові з'єднання деревини, оскільки клейова полівінілацетатна клейова композиція за дії підвищених температур стає текучою. Це відбувається через те, що основний складовий компонент, а саме полівінілацетат, за температури +60°C і вище стає м'яким і текучим. Тому з'єднання сформовані на основі даних клеїв краще працюють за понижених температур ніж за підвищених.

## РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 4.1 Результати досліджень довговічності клейових з'єднань деревини сосни

Відповідно до методики (див. розд.3) проведено експериментальні дослідження довговічності клейових з'єднань деревини сосни склеєної полівінілацетатними клеями із ступенем довговічності Д4. У таблиці 4.1 наведено зміну міцності клейових з'єднань деревини сосни склеєну полівінілацетатними клеями без циклічних температуро вологісних випробувань у лабораторних умовах.

Таблиця 4.1

#### Результати експериментальних досліджень міцності клейового з'єднання деревини сосни

Зразки, які піддавали руйнуванню.					
№ п/п	Навантаження, $F_{max}$ , кН	Довжина, $l$ , мм	Ширина, $b$ , мм	Міцність, $\sigma$ , (МПа)	Характер руйнування
1	1.51	10	20	7.55	д.
2	1.57	10	20	7.85	д.
3	1.57	10	20	7.85	д.
4	1.49	10	20	7.45	к.
5	1.55	10	20	7.75	к.
6	1.51	10	19	7.95	д.
7	1.52	10	20	7.60	д.
8	1.55	10	20	7.75	к.
9	1.59	10	20	7.95	д.
10	1.52	10	20	7.60	к.
11	1.58	10	20	7.90	д.
12	1.57	10	20	7.85	д.
13	1.53	10	20	7.65	д.
14	1.59	10	20	7.95	к.
15	1.60	10	20	8.00	д.
16	1.51	10	20	7.55	к.
17	1.55	10	20	7.75	д.
18	1.54	10	20	7.70	д.
19	1.58	10	20	7.90	д.

20	1.55	10	20	7.75	д.
21	1.54	10	20	7.70	к.
22	1.57	10	20	7.85	д.
23	1.55	10	20	7.75	л.
24	1.50	10	20	7.50	д.
25	1.57	10	20	7.85	к.

Графічні залежності зміни міцності наведено на рис. 4.1.



Рис.4.1. Міцність клейових з'єднань деревини сосни

В таблиці 4.2 наведено результати зміни міцності клейових з'єднань деревини сосни склеєної полівінілацетатними клеями із ступенем довговічності Д4 після сем діб вимочування у нормальних умовах та чотирьох діб витримування у воді кімнатної температури.

Таблиця 4.2.

Міцність клейових з'єднань деревини сосни після вимочування

Всі зразки, які піддавали руйнуванню.					
№ п/п	Навантаження, F max, кН	Довжина, l, мм	Ширина, b, мм	Міцність, $\sigma$ , (МПа)	Характер руйнування
1	1.41	10	20	7.05	д.
2	1.47	10	20	7.35	д.
3	1.37	10	20	6.84	к.

4	1.49	10	20	7.45	к.
5	1.45	10	20	7.25	д.
6	1.41	10	19	7.42	д.
7	1.42	10	20	7.10	к.
8	1.45	10	20	7.25	к.
9	1.49	10	20	7.45	д.
10	1.42	10	20	7.10	д.
11	1.48	10	20	7.40	д.
12	1.47	10	20	7.35	д.
13	1.43	10	20	7.15	д.
14	1.49	10	20	7.45	к.
15	1.40	10	20	7.00	к.
16	1.41	10	20	7.05	д.
17	1.45	10	20	7.25	к.
18	1.44	10	20	7.20	к.
19	1.48	10	20	7.40	д.
20	1.45	10	20	7.25	к.
21	1.44	10	20	7.20	д.
22	1.47	10	20	7.35	к.
23	1.45	10	20	7.25	д.
24	1.40	10	20	7.00	д.
25	1.47	10	20	7.35	к.

На рис. 4.2. наведено порівняльні результати зміни міцності між зразками які не піддавались циклічним випробуванням та зразками після вимочування.

Як видно із наведених графічних залежностей міцність клейових з'єднань деревини сосни склеєних полівінілацетатними клеями із ступенем

довговічності Д4 до температуро вологісних випробувань становить 7,76 МПа. Руйнування клейових з'єднань у більшості випадків відбувається по деревині сосни, що дає підстави вважати що такі клейові з'єднання відповідають вимогам до їх адгезійної і когезійної міцності.

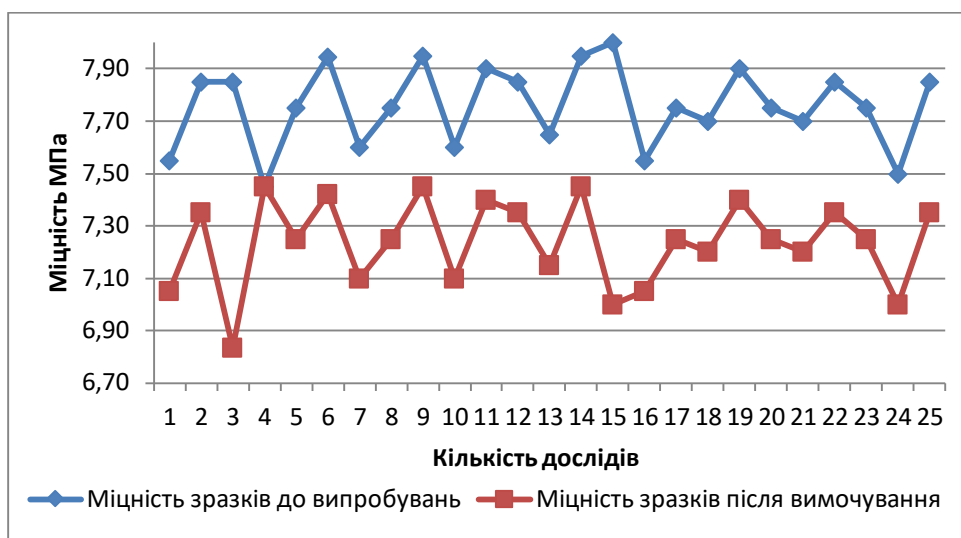


Рис. 4.2. Результати зміни міцності зразками які не піддавались циклічним випробуванням із зразками та після вимочування.

Як видно із порівняльного графіка клейових з'єднань деревини сосни склеєної полівінілацетатними клеями із ступенем довговічності Д4 міцність після вимочування зменшилась із 7, 76 МПа до 7,24 МПа., тобто на 7,24 %. Така зміна міцності підтверджує наші теоретичні передбачення, які наведено у розд 3.1. Тобто після семи годинної витримки у стандартних умова, та чотирьох годинної витримки у воді кімнатної температури міцність зменшилась не значно. Пояснити таку поведінку клейових з'єднань деревини можна породую деревини сосни, яка у своєму складі має смолу, що не дозволяє значній сорбції води у клейовий шов та теоретичними припущеннями, що незначна частина води, яка попадає у клейовий шов призводить до збільшення кількості водневих зв'язків, які забезпечують клейовим з'єднанням підвищену водостійкість під час експлуатації, тобто збільшують клейовим конструкціям довговічність.

У таблиці 4.3 наведено результати експериментальних досліджень зміни міцності клейових з'єднань деревини сосни склеєних полівінілацетатними клеми із ступенем довговічності Д4 після шестигодинного кип'ятіння.

Таблиця 4.3

Результати досліджень зміни міцності клейових з'єднань деревини сосни склеєних полівінілацетатними клеми після шестигодинного кип'ятіння

Всі зразки, які піддавали руйнуванню.					
№ п/п	Навантаження, F max, кН	Довжина, l, мм	Ширина, b, мм	Міцність, $\sigma$ , (МПа)	Характер руйнування
1	0.81	10	20	4.05	д.
2	0.87	10	20	4.35	к.
3	0.77	10	20	3.85	д.
4	0.79	10	20	3.95	к.
5	0.75	10	20	3.75	к.
6	0.81	10	19	4.26	д.
7	0.82	10	20	4.10	к.
8	0.85	10	20	4.25	к.
9	0.89	10	20	4.45	д.
10	0.72	10	20	3.60	к.
11	0.78	10	20	3.90	к.
12	0.77	10	20	3.85	к.
13	0.83	10	20	4.15	к.
14	0.79	10	20	3.95	к.
15	0.80	10	20	4.00	к.
16	0.81	10	20	4.05	к.
17	0.78	10	20	3.90	к.
18	0.74	10	20	3.70	к.
19	0.78	10	20	3.90	д.
20	0.75	10	20	3.75	к.
21	0.84	10	20	4.20	к.
22	0.87	10	20	4.35	к.
23	0.75	10	20	3.75	д.
24	0.77	10	20	3.85	д.
25	0.74	10	20	3.70	к.

Графічні інтерпретації зміни міцності клейових з'єднань деревини сосни склеєної термопластичними полівінілацетатними клеями із ступенем довговічності Д4 після кип'ятіння на протязі шести годин наведено на рис. 4.3. а на рис. 4.4. наведено порівняльні результати зміни міцності клейових з'єднань для зразків які не піддавались випробуванню, зразків які піддавались чотирьох годинному вимочуванню у воді за кімнатної температури та зразк, які піддавались кип'ятінню на протязі шести годин.

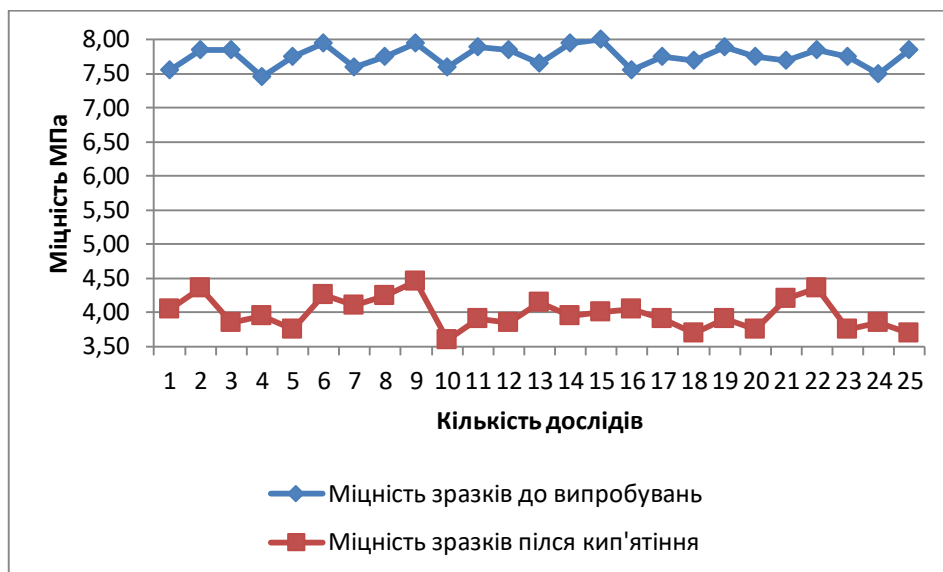


Рис. 4.3. Міцності зразками які не піддавались циклічним випробуванням із зразками, після кип'ятіння.

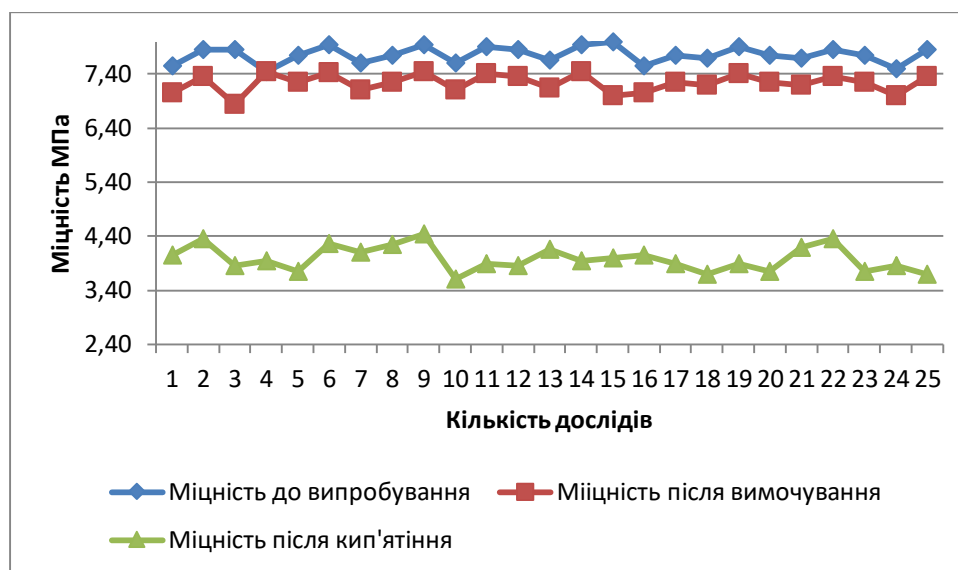


Рис. 4.4. Міцності зразками які не піддавались циклічним випробуванням із зразками після вимочування та після кип'ятіння.

Проаналізуємо результати експериментальних досліджень зміни міцності клейових з'єднань деревини сосни склеєних термопластичними полівінілацетатними клеями із ступенем довговічності Д4 після циклічних температуро вологісних випробувань у лабораторних умовах. Як було зазначено вище середня міцність зразків без циклічних температуро вологісних випробувань складає 7,76 МПа, після чотирьох годинного вимочування у воді кімнатної температури – 7,24 МПа та після шестигодинного кип'ятіння 3,98 МПа. Тобто, циклічна дія вологи та температури призводить до зменшенні міцності таких клейових з'єднань деревини. Найбільше міцність зменшується після кип'ятіння на протязі шести годин, а саме до 3,98МПа. Якщо порівняти всі цикли випробувань у відсотковому співвідношенні, то це становитиме 7,24% зменшення міцності після вимочування та 48 %.

Щодо структури руйнувань клейових з'єднань, то зразках до випробувань на 90 відсотків руйнуються по деревині. Після вимочування у воді збільшується відсоток руйнування по клейовому шву. І після кип'ятіння відсоток руйнування по деревині знаходився в межах 50%, тобто частина половина зразків руйнувалась по деревини, а інша половина по клейовому з'єднанні.

#### **4.2 Статистична обробка результатів досліджень довговічності клейових з'єднань деревини смереки**

Окрім деревини сосни довговічність клейових столярних конструкцій досліджували і для деревини смереки, оскільки дана порода деревини також широко використовується для виготовлення таких конструкцій. Тому, відповідно до методики, яка зазначена в розділі 3 проведено також дослідження зміни міцності під час циклічної дії вологості і температури. У таблиці 4.4. наведено результати експериментальних досліджень зміни міцності клейових з'єднань деревини смереки склеєних полівінілацетатними клеями із ступенем довговічності Д4, які не піддавались циклічним температуро вологісним випробуванням.

Графічна інтерпретація отриманих результатів досліджень міцності зразків деревини смереки склеєної полівінілацетатними клеями із ступенем навантаження Д4 які не піддавались температуро вологісним навантаженням наведено на рис. 4.5.

Таблиця 4.4.

Результати досліджень зміни міцності клейових з'єднань деревини смереки склеєних полівінілацетатними клеями без випробувань

Всі зразки, які піддавали руйнуванню.					
№ п/п	Навантаження, F max, кН	Довжина, l, мм	Ширина, b, мм	Міцність, $\sigma$ , (МПа)	Характер руйнування
1	1.29	10	20	6.45	к.
2	1.27	10	20	6.35	к.
3	1.27	10	20	6.35	к.
4	1.29	10	20	6.45	к.
5	1.25	10	20	6.25	к.
6	1.24	10	19	6.53	я.
7	1.22	10	20	6.10	к.
8	1.25	10	20	6.25	к.
9	1.29	10	20	6.45	я.
10	1.26	10	20	6.30	к.
11	1.28	10	20	6.40	к.
12	1.27	10	20	6.35	к.
13	1.23	10	20	6.15	к.
14	1.29	10	20	6.45	к.
15	1.30	10	20	6.50	к.
16	1.21	10	20	6.05	к.
17	1.25	10	20	6.25	к.
18	1.24	10	20	6.20	к.
19	1.28	10	20	6.40	я.
20	1.25	10	20	6.25	к.
21	1.24	10	20	6.20	к.
22	1.27	10	20	6.35	к.
23	1.25	10	20	6.25	я.
24	1.30	10	20	6.50	с.
25	1.27	10	20	6.35	к.

Як видно із табл. 4.4. та рис. рис. 4.5. середня міцність клейових з'єднань деревини смереки склеєної полівінілацетатними клеями які не піддавались циклічним температуро вологісним навантаженням знаходиться становить 6,33.МПа. Така міцність відповідає вимогам до клейових з'єднань деревини смереки, оскільки знаходиться в межах когезійної міцності деревини смереки, яка згідно літературних джерел, становить 6,44 МПа.

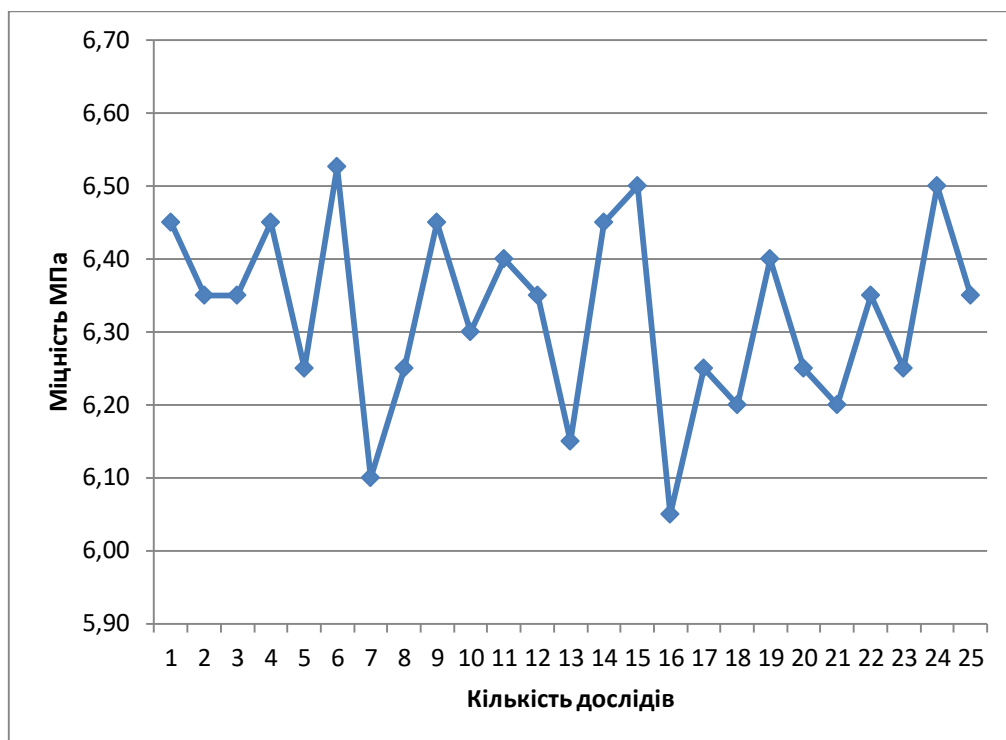


Рис. 4.5. Міцність клейових з'єднань деревини смереки

В таблиці 4.5. наведено зміну міцності клейового з'єднання деревини смереки склеєної полівінілацетатними клеями із ступенем довговічності Д4 після чотирьох годин вимочування у воді кімнатної температури, а на рис.4.6. графічна інтерпретація даних результатів досліджень.

Як видно із табл. 4.5 та рис. 4.6. міцність клейових з'єднань деревини смереки склеєної полівінілацетатними клеями із ступенем навантаження Д4 після чотирьох годинного витримування у воді кімнатної температури становила 5,97 МПа, що на 16% менша за міцність зразків які не піддавались вимочуванню. Тобто, якщо порівняти міцність після таких самих випробувань для деревини сосни, то вона є дещо меншою. Це можна пояснити будовою та структурою даної породи деревини.

Таблиця 4.5.

Міцності клейового з'єднання деревини смереки склеєної полівінілацетатними клеями після чотирьох годин вимочування у воді кімнатної температури.

Всі зразки, які піддавали руйнуванню.					
№ п/п	Навантаження, F max, кН	Довжина, l, мм	Ширина, b, мм	Міцність, $\sigma$ , (МПа)	Характер руйнування
1	1.21	10	20	6.05	к.
2	1.20	10	20	6.00	к.
3	1.22	10	20	6.10	к.
4	1.19	10	20	5.95	к.
5	1.20	10	20	6.00	к.
6	1.18	10	19	6.21	я.
7	1.19	10	20	5.95	к.
8	1.20	10	20	6.00	к.
9	1.21	10	20	6.05	с.
10	1.19	10	20	5.95	к.
11	1.17	10	20	5.85	к.
12	1.19	10	20	5.95	к.
13	1.16	10	20	5.80	к.
14	1.22	10	20	6.10	к.
15	1.21	10	20	6.05	к.
16	1.21	10	20	6.05	к.
17	1.18	10	20	5.90	к.
18	1.17	10	20	5.85	к.
19	1.19	10	20	5.95	с.
20	1.18	10	20	5.90	к.
21	1.17	10	20	5.85	к.
22	1.16	10	20	5.80	к.
23	1.17	10	20	5.85	с.
24	1.21	10	20	6.05	с.
25	1.21	10	20	6.05	к.

У таблиці 4.6. наведено результати дослідження зміни міцності деревини смереки склеєної полівінілацетатними клеями із ступенем навантаження Д4 після шестигодинного кип'ятіння, а на рис. 4.7 їх графічна інтерпретація.

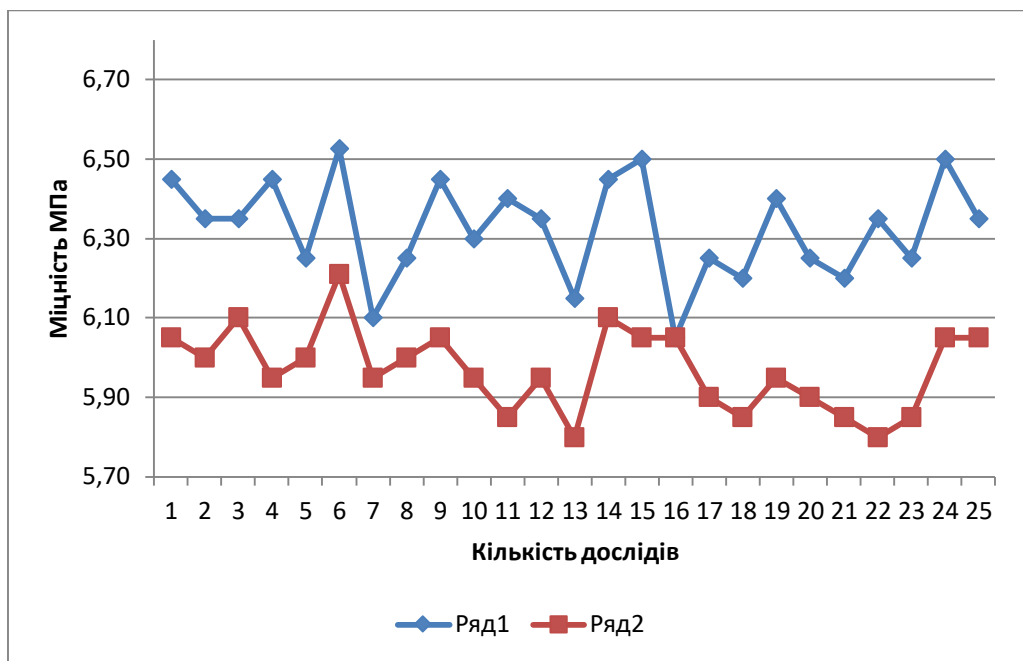


Рис. 4.6. Міцність клейових з'єднань зразків деревини смереки, які піддавались вимочуванню.

Таблиця 4.7.

Зміна міцності клейових з'єднань деревини смереки склеєної полівінілацетатними клеями після шестигодинного кип'ятіння

Всі зразки, які піддавали руйнуванню.					
№ п/п	Навантаження, F max, кН	Довжина, l, мм	Ширина, b, мм	Міцність, $\sigma$ , (МПа)	Характер руйнування
1	0.61	10	20	3.05	с.
2	0.67	10	20	3.35	к.
3	0.67	10	20	3.35	с.
4	0.69	10	20	3.45	к.
5	0.65	10	20	3.25	к.
6	0.71	10	19	3.74	я.
7	0.62	10	20	3.10	к.
8	0.65	10	20	3.25	к.
9	0.69	10	20	3.45	с.
10	0.62	10	20	3.10	к.
11	0.68	10	20	3.40	к.
12	0.67	10	20	3.35	к.
13	0.63	10	20	3.15	к.
14	0.69	10	20	3.45	к.

15	0.70	10	20	3.50	к.
16	0.71	10	20	3.55	к.
17	0.68	10	20	3.40	к.
18	0.64	10	20	3.20	к.
19	0.68	10	20	3.40	с.
20	0.65	10	20	3.25	к.
21	0.64	10	20	3.20	к.
22	0.67	10	20	3.35	к.
23	0.65	10	20	3.25	с.
24	0.67	10	20	3.35	с.
25	0.64	10	20	3.20	к.

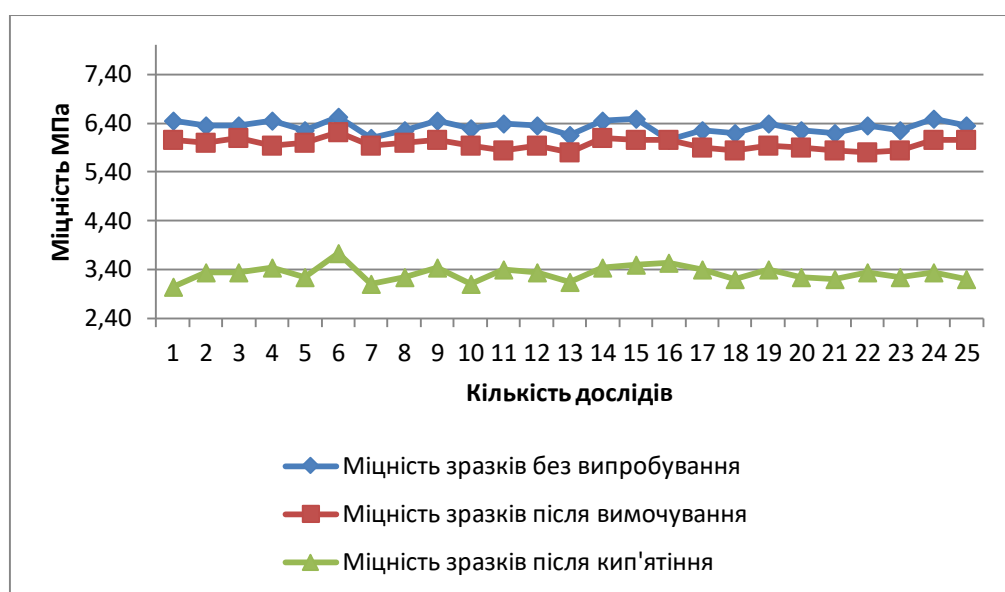


Рис. 4.7. Міцності зразків, які не піддавались циклічним випробуванням із зразками після вимочування та кип'ятіння.

Як видно із таблиці та рисунка середня міцність таких клейових з'єднань деревини смереки після шестигодинного кип'ятіння становить 3,32 МПа, що у відсотковому виді на 47% менша за міцність зразків, які не піддавались температурно вологісним навантаженням, та на 44 % менша за міцність зразків після вимочування у воді кімнатної температури.

Таку поведінку клейового з'єднання деревини смереки склесної полівінілацетатними клеями із ступенем довговічності Д4 можна пояснити впливом вологи і температури на міцність клейових з'єднань. Якщо порівняти дану міцність зразків із міцністю зразків деревини сосни, то вона є дещо

нижчою, що можна пояснити будовою та структурою даної породи деревини. Якщо взяти для порівняння межу щільність деревини сосни то вона становить 7,5 МПа, а смереки 6,4 МПа.

### 4.3 Статистична обробка результатів досліджень для деревини сосни

7.55	7.85	7.85	7.45	7.75
7.95	7.60	7.75	7.95	7.60
7.90	7.85	7.65	7.95	8.00
7.55	7.75	7.70	7.90	7.75
7.70	7.85	7.75	7.50	7.85

1. Визначення найбільшого та найменшого значення вибірки:

$Y_{\max} =$	8.00
$Y_{\min} =$	7.45
$Y_c =$	7.76

2. Визначення величини інтервалів:

$N =$	25	
$K =$	5.5	8
$\Delta Y =$	0.06875	

3 Розрахунок проміжних показників

№ інт.	Межі інтервалу		ср.знач. $Y_i$	частота $m_i$	$Y_i * m_i$	$(Y_i - Y_c)^2$	$(Y_i - Y_c)^2 * m_i$
	$Y_{ін}$	$Y_{ів}$					
1	7.45	7.52	7.48	2	14.97	0.074	0.148
2	7.52	7.59	7.55	2	15.11	0.041	0.083
3	7.59	7.66	7.62	3	22.87	0.018	0.054
4	7.66	7.73	7.69	2	15.38	0.004	0.009
5	7.73	7.79	7.76	5	38.80	0.000	0.000
6	7.79	7.86	7.83	5	39.14	0.005	0.026
7	7.86	7.93	7.90	2	15.79	0.020	0.039
8	7.93	8.00	7.97	4	31.86	0.044	0.175
$\Sigma =$	-	-	-	25	193.92	-	0.534

4. Визначення дисперсії та середньоквадратичного відхилення

$S^2 =$	0.022
$S =$	0.149

5. Визначення інтервалу розсіювання:

7.309	$\leq Y \leq$	8.204
-------	---------------	-------

6. Визначення коефіцієнту варіації:

$V =$	1.923
-------	-------

7. Визначення середньоквадратичної похибки середнього значення:

$S_y =$	0.030
---------	-------

7. Визначення показнику точності досліджу:

$P =$	0.385
-------	-------

8. Визначення інтервалу довіри для математичного сподівання

7.69	$\leq M_y \leq$	7.83
------	-----------------	------

9. Визначення необхідної кількості дубльованих спостережень у кожному досліді основного експерименту:

$n_1 \Rightarrow$	27.96	при :	$p =$	1	$\tau =$	2.75
$n_2 \Rightarrow$	0.616	при :	$p =$	5	$\tau =$	2.04
$n_3 \Rightarrow$	0.107	при :	$p =$	10	$\tau =$	1.7

#### 4.4 Висновки з розділу

1. Проведенні лабораторні експериментальні дослідження впливу температурно вологісних навантажень на довговічності клейових з'єднань деревини сосни та деревини смереки для клейових столярних конструкцій, які будуть використовуватися для виготовлення віконних та дверних конструкцій

2. Встановлено, що міцність клейових з'єднань у зразках виготовлених із деревини сосни склеєних полівінілацетатними клеями із

ступенем довговічності Д4 після дії води зменшуються на 7,24 %, а після кип'ятіння на 48%.

3. Встановлено, що міцність клейових з'єднань у столярних конструкціях виготовлених із деревини смереки склеєних полівінілацетатними клеями із ступенем довговічності Д4 після дії води зменшуються на 16,4%, в після кип'ятіння на 47%

4. Здійснено статистичну обробку отриманих результатів досліджень міцності клейових з'єднань деревини сосни та смереки для столярних клейових конструкцій після лабораторних експериментальних досліджень.

## РОЗДІЛ 5 ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ

### 5.1 Заходи з охорони праці та екологічної безпеки при виготовленні столярних клейових конструкцій

В умовах світової боротьби із забрудненням навколишнього середовища, все частіше надзвичайно важливим є питання шкідливих викидів та їхнім впливом на людину. Вплив шкідливих викидів на глобальну зміну клімату, екологічні аспекти щодо використання екологічно безпечних матеріалів та технологічних процесів є актуальним питанням сьогодення..

Щодо використання клейових столярних конструкцій, то до них і до технологічного процесу склеювання, ставляться також певні екологічні вимоги та техніка безпеки поводження з ними. Це дозволить забезпечити сучасним виробам технологічні, експлуатаційні, економічні та екологічні вимоги відповідно до сьогодення. Для забезпечення перерахованих вище вимог необхідним є використання при виготовленні столярно деревинних конструкцій полівінілацетатних клейових матеріалів та з'єднань на їх основі. Це дозволить отримати не тільки міцні та довговічні клейові з'єднання і конструкції на їх основі, але забезпечити столярним виробам належні екологічні вимоги та вимоги з охорони праці.

Щодо екологічності полівінілацетатних клеїв для склеювання деревини, то ця вимога забезпечується складовими компонентами даних клеїв, оскільки всі компоненти, з яких виготовляються полівінілацетатні клеї, є екологічно безпечними та не несуть загрози для організму людини. До них відносяться полівінілацетат та полівініловий спирт. Щодо полівінілового спирту, то дослідженнями встановлено, що його вплив на організм мишей не доказав негативного впливу на їх організм.

Полівінілацетат не є леткою речовиною, тому вплив на дихальні шляхи людини є мінімальним. Разом з тим, попадання полівінілацетату в організм людини не спричиняє його токсикації та інших шкідливих побічних дії. Тому, складові компоненти полівінілацетату є екологічно безпечним. Те саме можна

сказати і про полівініловий спирт, який також не є летким і токсичним для організму людини.

Дещо небезпечними можуть бути інші складові елементи клейової композиції. Серед яких модифікуючі добавки та пластифікатор. Для клейової композиції із ступенем довговічності Д4 використовують дибутилфталат.

Дибутилфталат це безколірна рідина олієподібного вигляду, яка добре розчиняється в органічних розчинниках, але практично не розчиняється у воді. Структурна формула дибутилфталату наведено на рис. 5.1.

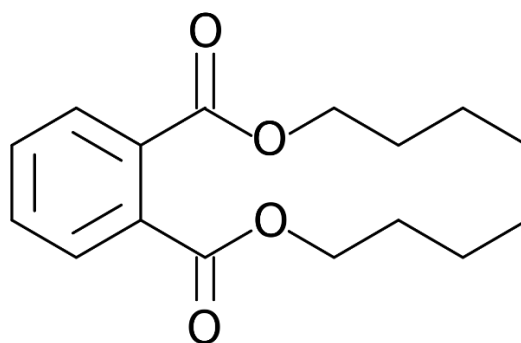


Рис. 5.1 Структурна формула дибутилфталату.

Дана речовина є небезпечною для людини, оскільки при її попаданні в організм людини впливає на верхні дихальні шляхи, викликає гіпертонію та захворювання печінки. Її допустима концентрація в повітрі не повинна перевищувати 0,5 мг/м<sup>3</sup> [24]. Щодо випаровування, то вона є небезпечною під час підготовки клейової композиції до склеювання. Але згідно умов приготування, клейову композицію до склеювання я готували у витяжній шафі, тому потрапляння в організм був мінімальним.

Окрім названих вище речовин у полівінілацетатній клейовій композиції є азотна кислота та нітрат алюмінію. Дані речовини є леткими та дещо більш небезпечними для людей, особливо азотна кислота, оскільки вона поражє дихальні шляхи, очі, емаль зубів, тощо. Тому під час приготування клейової композиції необхідно використовувати відповідні засоби захисту, а саме окуляри, спецодяг, респіратори тощо.

Під час приготування нашої клейової композиції до склеювання ми використовували лише гумові рукавиці. Інших засобів захисту ми не використовували, оскільки роботи проводили під витяжкою. Окрім того у клейовій композиції, що використовувалась азотної кислоти є мінімальна кількість.

Щодо нітрату амонію, то дана речовина має малий негативний вплив на організм людини. Найбільший вплив вона має шлунок, а вірніше на процес травлення. Сама по собі нітрат амонію є нелетучою речовиною. Окрім того у клейовій композиції його також є небагато, а роботи із приготування клейової композиції, як зазначалося вище проводились у витяжній шафі.

Тому під час приготування полівінілацетатної клейової композиції до склеювання я користувався лише засобами індивідуального захисту. Окрім того всі роботи з приготування клейової композиції проводились під витяжною шафою, де є добра приточно витяжна вентиляція. На рис. 5.2 наведено індивідуальні засоби захисту організму від попадання складових компонентів полівінілацетатної композиції на організм людини.



Рис 5.2. Засоби індивідуального захисту рук та очей від попадання клею.

Тому полівінілацетатна клейова композиція не відноситься до небезпечних та шкідливих матеріалів. Єдине що можна віднести до негативного впливу на навколишнє середовище є залишки клейової композиції, які утворюються після її приготування у посуді, або засобах якими вона наносилась на зразки. Для виробничих умов, де залишки є набагато більші і їх миття супроводжується значно більшою кількістю відходів, які необхідно утилізувати. Оскільки

полівінілацетатна клейова композиція розчиняється водою, і процес промивання відбувається також водою, то утилізація може полягати у тому, що її можна використати для приготування інших сумішей клейової композиції.

## **5.2. Висновок з розділу**

З аналізу термопластичної клейової композиції випливає, що вона відноситься до екологічно безпечних клейових матеріалів, оскільки всі складові компоненти не містять шкідливих речовин. Єдину небезпеку можуть становлять дибутилфталат, азотна кислота та нітрат алюмінію. Але оскільки їх кількість є незначною, то на організм людини вони практично не становлять небезпеки. Деякі проблеми можуть створювати залишки полівінілацетатної клейової композиції, які утворюються після приготування та нанесення клею. Їх утилізація не несе небезпеки для навколишнього середовища.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

За результатами досліджень довговічності клейових столярних конструкцій із деревини сосни та смерека склеєних термопластичними полівінілацетатними клеями зроблено такі висновки:

1. З аналізу літературних джерел клейових столярних конструкцій встановлено, що склеювання деревини дає можливість отримати клейові конструкції, які широко використовуються для виготовлення деревинних виробів, які експлуатуються як ззовні так і в середині. Ці конструкції можуть нести як фізичні навантаження, так і навантаження що супроводжуються змінними температурно вологісними характеристиками. Для склеювання таких конструкцій використовують термореактивні та термопластичні клейові матеріали. Термореактивні клейові матеріали формують міцне та волого і теплостійке клейове з'єднання, яке добре працює у змінних температурно вологісних умовах та не несе фізичні навантаження. Разом з тим, такі клейові з'єднання формують крихкий клейовий шов та є екологічно небезпечними. Термопластичні клейові матеріали формують еластичний клейовий шов, є екологічно безпечними, але не є водостійкими та теплостійкими, а клейові з'єднання не придатні до значних фізичних навантажень у змінних температурно вологісних умовах експлуатації. Тому, для склеювання клейових столярних деревинних конструкцій кращими і перспективними клейовими матеріалами є термопластичні полівінілацетатні клеї.

2. Теоретично здійснено припущення щодо механізму формування та руйнування столярних клейових конструкцій склеєних термопластичними полівінілацетатними клеями із ступенем довговічності Д4. Механізм формування таких клейових з'єднань деревини відбувається за рахунок міжмолекулярних зв'язків між складовими компонентами клейової композиції та деревини. Окрім того, на підвищення довговічності таких клейових впливає і можливість формування водневих зв'язків, як між компонентами клейової композиції, так і між компонентами клейової композиції і деревини.

3. Для дослідження довговічності клейових столярних конструкцій підібрано методику проведення експериментальних досліджень. Для їх проведення запропоновано використати лабораторні пришвидшені експериментальні дослідження. Для цього мною розписано поетапно та покроково проведення даних досліджень. Підібрано обладнання та устаткування для проведення даних досліджень з використанням існуючих засобів. Описано методику статистичної обробки результатів дослідження.

4. За результатами експериментальних досліджень довговічності столярних полівінілацетатних клейових з'єднань деревини сосни проведено їх статистичну обробку, побудовано графічні залежності та здійснено їх аналіз. Встановлено, що дія вологи на таке клейове з'єднання призводить до зменшення міцності на 7,24 %. Разом з тим, кип'ятіння таких зразків протягом шести годин призводить до зменшення міцності клейового з'єднання на 44% від початкової міцності. Тобто одночасна дія вологи та температури на такі клейові з'єднання має більш негативний вплив на довговічність такої конструкції, ніж вода кімнатної температури.

5. За результатами експериментальних досліджень довговічності столярних полівінілацетатних клейових з'єднань деревини смерки проведено їх статистичну обробку, побудовано графічні залежності та здійснено їх аналіз. Встановлено, що дія вологи на таке клейове з'єднання призводить до зменшення міцності на 16,3 %. Разом з тим, кип'ятіння таких зразків протягом шести годин призводить до зменшення міцності клейового з'єднання на 47% від початкової міцності. Тобто одночасна дія вологи та температури на такі клейові з'єднання більш негативно впливає на довговічність такої конструкції, ніж вода кімнатної температури. Окрім того, початкова міцність таких клейових з'єднань деревини має дещо нижчі результати міцності, в порівнянні із клейовими з'єднаннями деревини сосни. Пояснити таку поведінку клейових з'єднань можна структурою та будовою деревини смереки.

6. Встановлено, що довговічність клейових столярних конструкцій виготовлених із деревини порід сосни та смерки здатні забезпечити їм належну довговічність під час експлуатації у природніх умовах.

7. Щодо класу довговічності клейових столярних конструкцій відповідно до існуючого стандарту, то вони забезпечують клейовим з'єднанням деревини сосни і смерки клас довговічності D4. Тобто, дані конструкції можна піддавати довготривалим та циклічним температурно вологісним навантаженням, як в середині приміщення, так із ззовні.

8. Встановлено, що для виготовлення столярних клейових конструкцій із деревини сосни та смерки використовують термопластичні клеї полівінілацетатні клеї, які є екологічно безпечними матеріалами, які не несуть небезпеки для людей. Разом з тим, під час приготування клею можуть в незначній мірі випаровуватись леткі сечовини, які є у такій клейовій композиції, але їх є незначною, що не несе шкоди здоров'ю. Тому під час приготування таких клеїв необхідно використовувати засоби індивідуального захисту.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Технологія виробництва виробів з пластмас і композитів: Навч. посібник /О.В. Суберляк, П.І. Баштанник. – К.: ІСДО, 1995. – 164 с.
2. Кшивецький Б.Я. Міцність та довговічність термопластичних клейових з'єднань деревини: монографія. /Б.Я. Кшивецький, І.Й. Тивунька. – Львів: ТзОВ Галицька видавнича спілка,, 2018. – 188 с. [122] іл. [19] табл. – Бібліограф. с. 209 (268 назв) – ISBN 978-617-7363-76-6.
3. Вінтонів Іван Степанович Деревинознавство: навч. посіб. /І. С. Вінтонів [та ін.] ; Український держ. лісотехнічний ун-т, Українська академія дизайну. — Л. : РВВ УкрДЛТУ, 2005 . — 256 с.: рис. — Бібліогр.: с. 237–241 .
4. Г.А. Дворецков, к.х.н., доцент РХТУ ім. Д.І. Менделєєва, начальник науково-дослідного центру ТОВ «Компанія ХОМА КОЛОЇД». Журнал "Меблеві технології", №9 (2009)
5. Михайловська Г.Є., Панов В.В. Клеї та склеювання деревини: Навчальний посібник. – Львів: Афіша, 2002. – 179 с.
6. Басин П. А. Технологія виробництва фанери: Навчальний посібник. – К.: ІЗМН, 1996. – 280 с.
7. Кшивецький Б.Я., Гупало О.П. Проблеми використання клейових з'єднань на основі термопластичних клеїв // Наук. вісник УкрДЛТУ: Зб. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 2001, вип. 11.2. – С. 23-24.
8. ДСТУ 4922:2008 Лісоматеріали та пилопродукція. Методи визначення вологості Медведєв Ю. Дяченко Я. Проблеми розвитку лісопромислового комплексу: пріорітети, структура, ефективність. // Економіка України 1999. №1.
9. [www.designboom.com](http://www.designboom.com) – Designboom. Architecture.
10. [www.columbusmillwork.com](http://www.columbusmillwork.com) – Capital City Millwork.
11. [www.nacoillestudio.com](http://www.nacoillestudio.com) – Na coille studio is dedicated to designing furniture and other heirloom quality items using both the best old growth

- reclaimed wood & salvaged live edge slabs from all over the Ottawa Valley and its surrounding areas, with an emphasis on Black Walnut, Black Cherry, Maple, Hemlock, Pine, Oak, and Elm.
12. [www.fauxwoodbeams.com](http://www.fauxwoodbeams.com) - Faux Wood Workshop. Tips, ideas, helpful info on building with faux wood beams.
  13. Гупало О.П. Високомолекулярні сполуки / О.П. Гупало, Н.М. Ватаманюк. – К. : Вид- во НМК ВО. – 1993. – 243 с.
  14. Nishiyama, Yoshiharu; Langan, Paul; Chanzy, Henri (2002). Crystal Structure and Hydrogen-Bonding System in Cellulose I $\beta$  from Synchrotron X-ray and Neutron Fiber Diffraction. *J. Am. Chem. Soc* 124 (31). с. 9074–82.
  15. [wwwuk.wikipedia.org](http://wwwuk.wikipedia.org) – Вікіпедія. Вільна енциклопедія.
  16. [www.derevbud@ukr.net](http://www.derevbud@ukr.net) – Виробник дерев'яних будинків.
  17. Кшивецький Б.Я. Механізм формування термопластичних клейових з'єднань деревини // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів: РВВ НЛТУ України. – 2012, вип. 22.12 – С. 117-122.
  18. Гупало Олег Петрович Хімія деревини: підручник / О. П. Гупало, О. П. Тушницький ; Національний лісотехнічний ун-т України. — 2-ге вид., виправ. і доп. — К. : Знання, 2008. — 276 с. — Бібліогр.: с. 274–276 .
  19. Сильченко О.В. Постановка і наукове обґрунтування оцінки безпечності епоксидних клеїв. - Матеріали тридцятій юбилейної междунар. конф. – К.: Наука. Техника. Технологія, 2010. – С. 153-155.
  20. [www.stiny.com.ua](http://www.stiny.com.ua) – Інвестиційно-будівельна компанія «Моя фортеця».
  21. Дячун З. Й. Конструювання меблів: корпусні вироби / Зіновій Йософатович Дячун. – К. : Києво-Могилянська академія, 2007. – 387 с.
  22. ДСТУ EN 205:2014 Клеї несилкові для деревини. Метод визначання міцності з'єднання внапусток під час поздовжнього розтягування на зсув (EN 205:2003, IDT).
  23. ДСТУ EN 204:2014 Клеї термопластичні несилкові для деревини. Класифікація (EN 204:2001, IDT) О.С. Малахова , Р.В. Линець

Експериментальне дослідження міцності кутових з'єднань у корпусних  
меблях / Національний університет біоресурсів і природокористування  
України / Линець Р.В. - УДК 684.41

24.[www.csm.kiev.ua](http://www.csm.kiev.ua) – База нормативних документів України.