

НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ДЕРЕВООБРОБНИХ ТА КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ І  
ДИЗАЙНУ

Кафедра технологій захисту навколишнього середовища і деревини та  
безпеки життєдіяльності

## Пояснювальна записка

до диплому/роботи магістра

на тему: «ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛІВІНІЛАЦЕТАТНИХ КЛЕЙОВИХ  
З'ЄДНАНЬ ДЕРЕВИНИ»

Виконав: студент II курсу, групи ТД-61м

Спеціальності 187 «Деревообробні та  
меблеві технології»

Салабай Б. Р.

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

Керівник проф. Кшивецький Б.Я.

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

Рецензент

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

2022 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Інститут                    деревообробних та комп'ютерних 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. \_\_\_\_\_

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2022року

**З А В Д А Н Н Я**

**НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Салабай Богдан Романович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Дослідження експлуатаційних характеристик полівінілацетатних клейових з'єднань деревини.»

керівник роботи Кшивецький Богдан Ярославович, доктор техн. наук, професор,

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

затверджені наказом по університету від “ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2022року №... \_\_\_\_.

2. Строк подання студентом роботи \_\_\_\_\_ до 15 грудня 2022

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 2022 року

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

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Літературний огляд	до 01.09.22	
2.	Методика досліджень	до 15.09.22	
3.	Теоретичний розділ.	до 01.10.22	
4.	Результати досліджень.	до 20.10.22	
5.	Розділ з охорони праці.	до 15.11.22	
	Висновки.	до 25.11.22	
	Оформлення роботи	до 15.12.22	

Студент \_\_\_\_\_ Салабай Б. Р.

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

## **РЕФЕРАТ**

Магістерська дипломна робота: пояснювальна записка: 60 стор., 27 рис., 3 таблиць, 16 джерел. В даній роботі досліджено експлуатаційні характеристики полівінілацетатних клейових з'єднань деревини залежно від умов експлуатації.

Ключові слова: деревина, клеї, клейові з'єднання, склеювання, технологічний процес.

## **ABSTRACT**

Master's thesis: explanatory note: 60 pages, 27 figures, 3 tables, 16 sources. In this paper, the performance characteristics of polyvinyl acetate adhesive joints of wood depending on the operating conditions are investigated.

Key words: wood, adhesives, adhesive joints, gluing, technological process.

## ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

Дослідити експлуатаційні характеристики полівінілацетатних клейових з'єднань деревини залежно від умов експлуатації.. Для цього необхідно:

1. Здійснити аналіз літературних джерел щодо зміни міцності клейових з'єднань деревини за дії вологості на температури навколишнього середовища в умовах експлуатації.

2. Підібрати та описати методику проведення експериментальних досліджень з вивчення міцності клейових з'єднань деревини ясена.

3. Здійснити теоретичні передбачення механізму формування міцності клейових з'єднань деревини ясена, що склеєні полівінілацетатними клеями.

4. Провести експериментальні дослідження щодо міцності з'єднань деревини ясена склеєних полівінілацетатними клеями залежно від дії вологи та температури.

5. Здійснити аналіз результатів досліджень впливу експлуатаційних факторів на полівінілацетатні клейові з'єднання деревини ясена. Практичне використання отриманих результатів досліджень.

6. Висновки.

## Зміст

<b>Вступ</b>	6
<b>1. СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖЕНЬ МІЦНОСТІ КЛЕЙОВИХ З'ЄДНАНЬ ДЕРЕВИНИ</b>	8
1.1. Аналіз міцності клейових з'єднань деревини	8
1.2. Клеїв для склеювання деревини та їх характеристика	11
1.3. Властивості деревини та їх вплив на міцність клейових з'єднань	14
1.4. Експлуатаційні характеристики клейових з'єднань деревини	17
1.5. Висновки з розділу та задачі досліджень	18
<b>2. ЗАВДАННЯ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ</b>	20
2.1. Мета, об'єкт та предмет досліджень	20
2.2. Методика проведення експериментальних досліджень	21
2.3. Підготовка матеріалів для проведення досліджень	25
<b>3. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ</b>	28
3.1. Теоретичні дослідження міцності клейових з'єднань деревини	28
3.2. Пружно-деформаційні характеристика полівінілацетатного клейового з'єднання деревини	32
3.3. Висновки до розділу	35
<b>4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ</b>	37
4.1. Результати досліджень міцності клейових з'єднань ясена	37
4.2. Аналіз результатів досліджень міцності клейових з'єднань деревини ясена	42
4.3. Висновки до розділу	46
<b>5. ОХОРОНА ПРАЦІ</b>	47
5.1. Екологічність полівінілацетатних клейових з'єднань деревини ясена	47
5.2. Охорона праці при роботі в лабораторії з клеями	49
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ</b>	53
<b>ВИКОРИСТАНІ ЛІТЕРАТУРНІ ДЖЕРЕЛА</b>	55

## ВСТУП

Склеєна деревини широко використовуються для виготовлення будівельних конструкцій, вікон, дверей, меблевих виробів, садово-паркових виробів, та інших потреб людей. На сьогоднішній день дуже важко знайти виріб з деревини, де не було з'єднання з використанням клеїв. Для склеювання деревини використовується широкий асортимент клеїв. У більшості випадків це клеї синтетичного походження, які забезпечують належні експлуатаційні показники, починаючи від їх тривалої міцності при різного роду природніх навантажень, до міцності яку несуть клейові конструкції при дії різного роду фізичних навантажень.

Експлуатаційні характеристики клейових з'єднань з деревини є надзвичайно актуальними, оскільки вони визначають міцність клейового з'єднання деревини, що в кінцевому випадку впливає на довговічність виробу в цілому. Враховуючи сучасні вимоги до склеювання деревини і деревинних матеріалів та ситуацію на ринку дерев'яних конструкціях та виробів з них, попит на довговічні клейові з'єднання буде тільки зростати. Для цього необхідні надійні, дешеві та екологічно безпечні клейові матеріали для склеювання деревини, які здатні забезпечити належні умови експлуатації.

На експлуатаційні характеристики клейових з'єднань з деревини в природніх умовах впливатиме багато різних факторів, які на сьогоднішній день необхідно досліджувати та вивчати. До таких факторів відносять температуру і вологість навколишнього середовища, фізичні навантаження, які нестиме клейові конструкція в умовах експлуатації, вплив різного роду хімічних компонентів тощо. Окрім того, на сьогоднішній день набувають популярності конструкції з деревини, які мають захищені зовнішні шари від негативного впливу навколишнього середовища. Для цього використовують як захисно-декоративні покриття для деревини, деревину стійких порід до дії впливу зовнішніх факторів та деревину із різними способами обробки до дії навколишнього середовища тощо.

Враховуючи все це, виникає проблема із склеюванням деревини та дослідженнями щодо впливу дії зовнішніх природних факторів на міцність і довговічність деревини клейових конструкцій та виробів на їх основі.

Для забезпечення належних експлуатаційних характеристик клейовим конструкціям та виробам в цілому, використовують синтетичні клеї, які здатні в певній мірі задовольнити ці вимоги. Дані клеї повинні окрім належної міцності та експлуатаційних характеристик повинні забезпечувати конструкціям ще і сучасні вимоги щодо клейових, а саме їх екологічність та економічність.

Більшість існуючих клеїв на сьогоднішній день синтетичного походження, що забезпечують основні експлуатаційні вимоги, але не завжди враховують екологічні вимоги, які на сьогоднішній день стають дедалі актуальнішими.

Тому, постає питання щодо використання для склеювання деревини синтетичних клеїв, із хорошими адгезійними та експлуатаційними характеристиками, що задовольняють екологічні вимогами. Але клейові з'єднання деревини, на сьогоднішній день вивченні недостатньо.

# 1. СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖЕНЬ МІЦНОСТІ КЛЕЙОВИХ З'ЄДНАНЬ ДЕРЕВИНИ

## 1.1. Аналіз міцності клейових з'єднань деревини

Клейові з'єднання з деревини на сьогоднішній день є найбільш вживаними, оскільки за допомогою них можна з'єднувати деревину за довжиною, шириною та товщиною. Це дає можливість отримувати деревинні конструкції великих розмірів за довжиною, шириною та товщиною. Окрім того, за допомогою клеїв можна отримувати конструкції, що склеєні для різних порід деревини, при цьому не руйнуючи саму деревину та забезпечувати її належну міцність. Такого не можна сказати про інші з'єднання деревини, оскільки при використанні неклеєвих з'єднань виникає багато незручностей та недоліків для самого з'єднання.

На рис 1.1. наведено світлини деревини ясена та клейові з'єднання з неї у вигляді різних конструкцій.



Рис. 1.1 Склеєні конструкції з деревини ясена

Склеєну деревину використовують для виготовлення будівельних конструкцій, вікон, дверей, паркетної дошки та інші виробів. Тобто, практично 95 % всіх виробів, які виготовляються із деревини на сьогоднішній день склеюються. Сучасні клейові конструкції повинні відповідати таким вимоги, як технологічні, економічні, експлуатаційні, екологічні та інші. Тобто вони повинні забезпечувати належну міцність, довговічність, умови експлуатації, бути екологічно безпечними тощо.

Серед перерахованих вимог, одною із основних, щодо склеєних клейових конструкцій це її міцність. Якщо говорити про міцність відповідно до її термінології її визначеності, то міцність – це властивість матеріалів, конструкцій чинити опір зовнішнім навантаженням, не руйнуючись і не деформуючись [1].

Міцність деревинних клейових конструкцій, це здатність деревинної клейової конструкції чинити опір до руйнування при дії таких атмосферних факторів, як вологість, температура, ультрафіолетове опромінення, різного роду фізичні навантаження, тощо. Вплив всіх цих факторів, або будь-якого із них може призвести до руйнування клейової конструкції, що в кінцевому результаті ми отримаємо негативні та небажані наслідки.

Міцність клейового з'єднання деревини буде визначати довговічність конструкції. Тому, до міцності клейових з'єднань деревини ставляться певні вимоги, які частково забезпечуються властивостями деревини, ступенем її обробки, технологічними параметрами склеювання, умовами експлуатації та ще цілим рядом різних властивостей. Врахувати всі фактори, які впливають на міцність, а саме технологічний процес виготовлення та експлуатації склеєних конструкцій, надзвичайно складно. Тому, на практиці часто враховують тільки ці фактори, які є найбільш вагомими для даної конструкції. Ігнорування даними факторами може призвести до зменшення її довговічності.

Міцність клейових деревинних конструкцій в першу чергу залежатиме від основи, з якої буде виготовлена дане клейове з'єднання, а саме від деревини та її фізичних, механічних, реологічних властивостей, тощо. Тобто в

залежності, де буде експлуатуватися деревинна клейова конструкція, необхідно використовувати таку породу деревини, яка буде найбільш задовольняти певні властивості, і тим самим забезпечувати належну міцність та довговічність клейовим деревинним конструкціям. Для прикладу, при виготовленні деревинних будівельних конструкцій використовують деревину хвойних порід, в основному сосну або ялину, а для виготовлення конструкцій, які несуть фізичні навантаження або температуро-вологісні навантажень, використовують деревину твердолистяних порід.

На рис. 1.2 наведено деревинні конструкції із деревини ясена.



Рис. 2.2. Клейові конструкції виготовлені із деревини ясена

Важливе значення на сьогодні також має склеювання деревини різних порід, як між собою так і між різними породами деревини, що мають різні ступені як механічної обробки так і термічної обробки, або обробки різного роду антисептиками та антипіренами. Це з одного боку захищає деревинні конструкції від дії зовнішніх факторів, з другого боку виникають проблеми з

їх склеюванням, та надання таким конструкціям належної міцності, забезпечуючи тим самим довговічність виробам.

Тому, при виготовленні деревинних клейових конструкцій необхідно враховувати ці моменти. Для цього потрібно підбирати адгезив, вивчати структуру та властивості матеріалів, що склеюються, враховувати умови експлуатації, тощо.

## **1.2. Клеїв для склеювання деревини та їх характеристика**

Відповідно до термінологічного визначення, клеєм можуть бути певні речовини або суміші цих речовин, які мають органічну або неорганічну складову, а також певні специфічні властивості, що за певних умов можуть формувати клейові з'єднання з різноманітними матеріалами. У нашому випадку такими матеріалами є деревина різних порід.[1]

Клей визначає міцність і впливає на довговічність з'єднання, оскільки забезпечує як адгезійну міцність з деревиною та деревинними матеріалами так і когезійну міцність в середині матеріалу, що склеюється. Клеї відомі давно, спочатку це були клеї природнього походження, потім появились клеї синтетичного походження, які володіють кращими властивостями за клеї природнього походження. Синтетичні клеї забезпечують клейовим з'єднанням деревини досить високу адгезійну і когезійну міцність, а також є водостійкими і теплостійкими. Це дозволяє експлуатувати деревинні клейові конструкції у природніх умовах за дії зміни температури і вологості навколишнього середовища. Такі клейові конструкції можуть нести фізичне навантаження, тобто працювати у складних умовах при тривалій дії навантажень, як природнього так і механічного походження. Тому, до клеїв ставляться певні вимоги, щодо їх виготовлення, технологічного процесу склеювання, умов експлуатації, тощо.

Промислове виготовлення синтетичних клеїв розпочалось на початку ще 50-тих роках минулого століття. Для прикладу, у США в 1966 році було

продано 3,2 тис. тон клеїв. З цього часу почали широко використовувати синтетичні клеї для склеювання, в тому і у деревообробній галузі .[2,3].

Клеї складаються із розчинника, активатора, затверджувача, каталізатора, прискорювача, інгібітора, наповнювача, пластифікатора, стабілізатора тощо. Основою клею є речовина, або суміш речовин, які характеризуються високою адгезією до матеріалу, що склеюється. Властивості в'язучого у клею впливають на міцність та експлуатаційні характеристики з'єднання.

Одного клею, щоб склеював різні поверхні не існує. Тому, сьогодні є досить великий асортимент клеїв, які мають певні марки та характеризуються відповідними властивостями. Кожен із клеїв, які на сьогоднішній день використовуються для склеювання деревини не можуть забезпечити всіх вимог одночасно, які до них ставляться. Тому, на сьогоднішній день, існує дуже велика кількість клеїв, кожний з яких має своє призначення для склеювання тих чи інших матеріалів, мають ті чи інші властивості, можуть надавати клейовим з'єднанням з деревини певні характеристики під час експлуатації. Асортимент клеїв у кількісному вигляді для склеювання різних матеріалів між собою, на сьогоднішній день перевищує 3000 найменувань.

Клеї, які використовуються для склеювання в деревообробному виробництві можна класифікувати за трьома основними ознаками, а саме, за природою основи, за відношенням до температури та вологості, за способом формування клейового шва, тощо. Дана класифікація є загальною, що дає можливість структурувати існуючі клеї. Це також дозволить на виробництві, працівникам, які здійснюють технологічний процес склеювання, полегшити пошук клеїв для склеювання деревини.

Для склеювання деревини найбільше використовують синтетичні клеї на термореактивній та термопластичній основі. Саме такі клеї задовольняють експлуатаційні характеристики клейовим з'єднанням під час експлуатації. Тому, є необхідність проаналізувати термореактивні та термопластичні клеї, що використовуються для склеювання деревини, та вибрати серед них ті, які відповідають сучасним вимогам склеювання та експлуатації і на їх основі

досліджувати та вивчати міцність та довговічність клейових з'єднань деревини.

Серед термореактивних для склеювання деревини найбільшого використання набули карбамідо-формальдегідні клеї. Дані клеї є дешевими, технологічний процес склеювання може бути як холодним так і гарячим. Це вимагає додаткових матеріальних, енергетичних та фінансових затрат. Ці клеї забезпечують високу міцність склеєній деревині і формують теплостійкі та водостійкі клеїві з'єднань. При гарячому процесі склеювання використовують затверджувач, яким є хлористий амоній, та для холодного способу склеювання 10 %-й розчин щавлевої кислоти.

Термопластичні клеї – це клеї, які при нагріванні розм'якшують, а при охолодженні твердіють. Дані клеї можуть бути у вигляді розчину, або як клеї розплави. До таких відносять поліаміди, полістирол, полівінілацетат, поліетилен тощо. Клейовий шар після твердіння є еластичними, оскільки такі клеї формують лінійну або рідкосітчасту структуру клейового шва. Окрім того, такі клеї не є небезпечними для навколишнього середовища і людей, вони мають добру адгезію до деревини та деревних матеріалів. Основним їх недоліком є низька водо-, волого- і теплостійкість. Використовують такі клеї для конструкцій, які не несуть фізичних навантажень і у неметалевих виробках, а саме для виготовлення меблів, столярно-будівельних виробів, паркетної дошки.

Полівінілацетатні клеї – це клеї, які являють собою водяну дисперсію молочно-білого або сметано-подібного кольору, що не має запаху і смаку. Дану дисперсію отримують за температури 65-90 °С, а саме це вінілацетат у воді при концентрації 1-1 або 1:2. Крім того до нього додають полівінілового спирту та ініціатор.

Сьогодні виготовляється 23 марки полівінілацетатних дисперсії. Серед них є не пластифіковані та пластифіковані, бувають низької в'язкості, середньої в'язкості і високої в'язкості. Всі вони добре розчиняються у водні або спиртовій суміші. [4,5]

На рис 1.3. наведено клейові з'єднання деревини на основі термопластичних клеїв, а саме полівінілацетатного клею.



Рис. 1.3. клейові з'єднання деревини ясена на основі термопластичних клеїв

### **1.3. Властивості деревини та їх вплив на міцність клейових з'єднань**

Порода деревини надає їй певних властивостей, що має важливе значення для технологічного процесу склеювання та умов експлуатації. Від породи деревини залежить міцність клейового з'єднання, оскільки, деревина яка використовується для склеювання поділяється на твердолистяну, м'яко листяну та хвойну. В залежності від такої класифікації буде змінюватися щільність деревини, її склад, кількість пор, тощо. Тому, при склеюванні необхідно враховувати породу деревини, її щільність, та інші властивості.

Міцність клейового з'єднання деревини напряму буде залежати від породи деревини, тобто від її щільності. Для прикладу, при склеюванні деревини сосни між собою, міцність клейового з'єднання не повинна бути меншою за міцність деревини сосни. У даному випадку ми говоримо про міцність клейового з'єднання на гладку фугу по пласті деревини. Для прикладу міцність деревини сосни становить 7,5 МПа. Тоді міцність клейового з'єднання деревини сосни повинна бути у тих самих межах. Якщо склеювати деревину ясена між собою то міцність клейового з'єднання також повинна відповідати міцності деревини ясена і становити 13 МПа. Те саме можна

сказати і про породу деревини, таку як дуб. Міцність клейового з'єднання повинна бути в межах 11,5 МПа. Це важливо, бо від початкової міцності клейових з'єднань деревини буду залежати і експлуатаційні показники, міцності, які в кінцевому результаті будуть впливати на довговічність клейової конструкції.

Наступним важливим моментом, при склеюванні деревини між собою матиме спосіб обробки деревини. Всім відомо, що деревина перед склеюванням піддається механічній обробці, яка проводиться за допомогою певного технологічного обладнання. Від способу обробки буде залежати якість поверхні, що піддається склеюванню. Деревина добре склеюється за певної шорсткості її поверхні. Якщо взяти деревину після розпилювання на криглопилкових верстатах, то шорсткість поверхні буде доволі високою, що може становити 500 і більше мкм. Деревина з такою шорсткістю поверхні погано піддається склеюванню, оскільки даний технологічний процес буде характеризуватися перевитратою клею, а клейове з'єднання не зможе якісно сформуватися, оскільки значна товщина клейового шару не забезпечить належної міцності клейовому з'єднанню. Тому, відповідно до вимог технологічного процесу склеювання шорсткість поверхні деревини перед склеюванням повинна бути у межах від 32 до 64 мкм. Таку шорсткість можна досягнути за допомогою обробки на рейсмусних або чотирибічних поздовжньо фрезерних верстатах. На рис. 1.4. наведено структуру деревини ясеня чорного і білого при 200-кратнім збільшенні. [5,7]

Наступним важливим моментом при склеюванні деревини на гладку фугу є вологість деревини перед склеюванням. Відомо, що деревина це анізотропний гігроскопічний матеріал, який зданий поглинати і випаровувати вологу за дії підвищеної температури. Саме така природня властивість деревини є негативним моментом при її склеюванні. Тому, перед склеюванням деревину необхідно висушувати, або кондиціонувати, залежно від її стану до певної вологості. Оптимальною вологістю деревини перед склеювання повинна бути в межах  $8 \pm 2\%$ . За певних умов вологість може становити і

12±2%. Саме за такої вологості можна сформувати міцне та якісне клейове з'єднання деревини. [5]

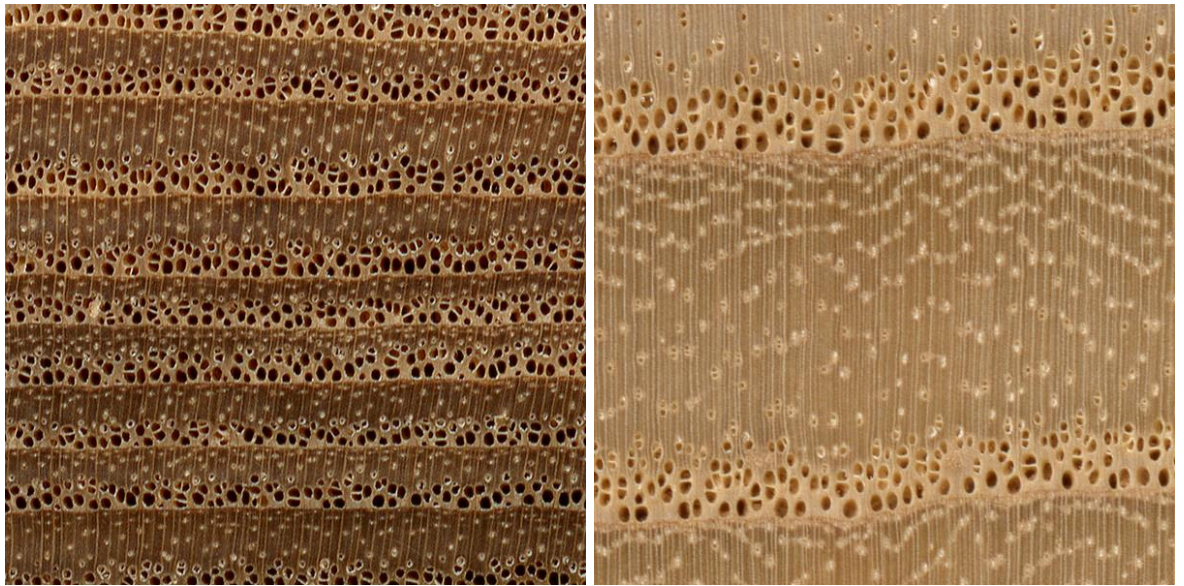


Рис. 1.4. Світлина поверхні деревини ясена при 200-кратнім збільшенні

Наступним важливим моментом при склеюванні відіграє рання та пізня зона у деревині та порода деревини. Відомо, що деревина формує дві зон під час росту. Рання, це зона яка формується у деревині у весняно-літній період і пізня, це зона що формується у літньо-осінній період. Дані зони будуть характеризуватися різною структурою, щільністю, рихлістю тощо. Тому, враховуючи стан зон, клейове з'єднання буде характеризувати певною міцністю і тим самим також впливати на довговічність конструкції. [5]

Можна ще перелічувати властивості деревини та їх вплив на процес формування клейового з'єднання, але інші властивості деревини матимуть також вплив на міцність клейового з'єднання конструкції, але вже не в таких межах.

Важливо знати і розуміти вплив різних порід деревини на технологічний процес склеювання та на міцність клейових з'єднання. Особливу увагу необхідно звернути на міцність склеювання деревини різних порід, які мають відмінні характеристики та модифіковану деревину, яка змінює фізико-

механічні властивості після обробки. До них можна віднести обробку та модифікування деревини.

Важливе значення має вибір клею, яким буде склеюватися та чи інша конструкція з деревини. Тому, весь комплекс взаємопов'язаних питань, які виникають при склеюванні деревини є надзвичайно важливим. Це необхідно враховувати, при склеюванні деревини, особливо деревини різних порід, та способів обробки. Важливо розуміти сутність процесів склеювання, та механізм формування клейових з'єднань деревини, особливо враховуючи складність технологічного процесу склеювання та основні вимоги, які ставляться до клейових з'єднань деревини, та світові тенденції щодо використання клейових деревинних конструкцій, їх використання у різних сферах виробництва. Важливим є сучасні тенденції щодо використання склеєної деревини різних порід між собою, та різних способів та методів її обробки перед склеюванням.

#### **1.4. Експлуатаційні характеристики клейових з'єднань деревини**

Експлуатаційні характеристики клейових з'єднань деревини є надзвичайно важливими, оскільки визначають умови роботи клейових конструкцій, їх міцність та довговічність через певний проміжок часу, тощо. При експлуатації клейові конструкції піддаються впливу багатьох факторів. Серед основних є дія зовнішнього середовища, що призводить до зміни пружно-деформаційних характеристик клейової конструкції. Для клейових з'єднань деревини найбільш небезпечними факторами впливу є перемінна дія вологості і температура. Вплив цих двох факторів одночасно змінює пружно-деформаційні властивості клейового шва і клейової конструкції в цілому. Циклічність таких процесів призводить до руйнування конструкції, за певний проміжок часу. Тому, при виготовленні клейових деревинних конструкцій необхідно враховувати підбір клейової композиції за стійкістю до дії факторів навколишнього середовища. Як зазначалося вище, для склеювання деревини

використовують термореактивні та термопластичні клейові композиції, які здатні забезпечити клейовим з'єднання з деревини належну міцність та довговічність.

Термореактивні клеї забезпечують кращу водо- і вологостійкість клейовим конструкціям, але гірше працюють на деформативність. Оскільки деревина при змінних вологісних і температурних навантаження може змінювати свої лінійні розміри, що не може сказати про термореактивний клейовий шов. Тому, у таких клейових конструкціях може виникнути ефект «павутини», який призводить до миттєвого руйнування клейового з'єднання.

Клейові з'єднання деревини на термопластичних клеях мають дещо іншу специфіку формування клейового шва. Оскільки дані клеї формують лінійну, або рідкоситчасту структуру. Саме за допомогою такого клейового шва, еластичність конструкції підвищується. Це дозволяє, за дії змінних температуро-вологісних навантаження, зменшувати або компенсувати пружно-деформаційні процеси і тим самим запобігати миттєвому руйнуванню клейової конструкції, під час її експлуатації у природніх умовах.

### **1.5. Висновки з розділу та задачі досліджень**

Виходячи із аналізу літературних джерел можу зробити такі висновки:

1. Міцність клейових з'єднань деревини є надзвичайно важливою характеристикою, оскільки забезпечує належну довговічність виробам в умовах їх експлуатації. Міцність деревинної клейової конструкції буде залежати від підготовки деревини та клею до склеювання, технологічних параметрів процесу склеювання, та умов експлуатації.

2. Для склеювання деревини використовують великий асортимент клеїв. Найбільш поширеними є термореактивні та термопластичні клеї, які задовольняють вимоги експлуатації готових виробів. Серед термореактивних клеїв для склеювання деревини найбільшого використовуються карбамідоформальдегідні, а серед термопластичних – полівінілацетатні клеї. Останні,

окрім забезпечення виробам належних умови експлуатації та довговічність є екологічно безпечними.

3. Важливу роль при склеюванні надається деревині, основному конструкційному матеріалу, який володіє специфічними властивостями, яких не мають інші матеріали, які використовуються для склеювання. При склеюванні деревини враховують фізико-механічні та фізико-хімічні властивості деревини. Серед основних це порода, щільність, вологість, стан поверхні деревини, тощо.

4. Важливим при склеюванні є механізм формування клейових з'єднань деревини, від якого буде залежати пружно-деформаційний стан клейової конструкції, як під час технологічного процесу склеювання, та і під час експлуатації виробу. Тому, вивчення пружно-деформаційного стану деревини дозволяє впливати на механізм формування клейового з'єднання.

5. Зміна пружно-деформаційного стану клейового з'єднання з деревини будуть залежати від умов експлуатації. Найсуттєвіший вплив на зміну пружно-деформаційного стану матиме вологість і температура навколишнього середовища.

## 2. ЗАВДАННЯ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1. Мета, об'єкт та предмет досліджень

За допомогою літературних джерел проаналізовано клейові з'єднання деревини та клеї для їх склеювання, механізми які можуть формувати клейові з'єднання деревини та вплив природніх факторів на зміну міцності клейових з'єднань деревини під час експлуатації. На основі цього поставлена мета, об'єкт та предмет досліджень.

*Метою магістерської роботи є дослідження експлуатаційних характеристик полівінілацетатних клейових з'єднань деревини ясена залежно від умов експлуатації.*

*Об'єктом дослідження є клейові з'єднання деревини ясена на основі полівінілацетату.*

*Предметом дослідження є зміна міцності клейових з'єднань деревини ясена при дії вологи та температури.*

Завдання досліджень:

1. Здійснити аналіз літературних джерел щодо зміни міцності клейових з'єднань деревини за дії вологості на температури навколишнього середовища в умовах експлуатації.

2. Підібрати та описати методику проведення експериментальних досліджень з вивчення міцності клейових з'єднань деревини ясена.

3. Здійснити теоретичні передбачення механізму формування міцності клейових з'єднань деревини ясена, що склеєні полівінілацетатними клеями. Дослідити вплив на клейові з'єднання деревини ясена вологості та температури навколишнього середовища під час їх експлуатації.

4. Провести експериментальні дослідження щодо міцності з'єднань деревини ясена склеєних полівінілацетатними клеями залежно від дії вологи та температури.

5. Здійснити аналіз результатів досліджень впливу експлуатаційних факторів на полівінілацетатні клейові з'єднання деревини ясена. Практичне використання отриманих результатів досліджень.

6. Висновки.

## **2.2. Методика проведення експериментальних досліджень**

Методика досліджень клейових з'єднань деревини, для визначення її міцності прописана стандартами, або іншими нормативними документами. Вона включає опис послідовності проведення певних заходів впливу на клейові з'єднання деревини, для того, щоб його послабити або зруйнувати. На основі отриманих результатів, під час досліджень, вивчають механізм зміни міцності та способи руйнування клейового з'єднання. На сьогоднішній день існує декілька методик дослідження міцності клейових з'єднань деревини, залежно від клею та клейової конструкції. Найбільш впливовими факторами впливу, при дослідженні зміни міцності на клейові з'єднання деревини, має вологість та температура.

Методи досліджень зміни міцності клейових з'єднань деревини поділяються на дві великі групи, а саме метод природнього дослідження і метод пришвидшеного дослідження. Опис і аналіз цих методик наведено у літературних джерелах та стандартах. Для наших досліджень ми обрали методику пришвидшених експериментальних досліджень.

Дослідження зміни міцності клейових з'єднань деревини ми проводили за пришвидшеною методикою залежно від дії вологості і температури. А саме за пришвидшеною методикою згідно стандарту ДСТУ EN 204:2014. Підготовку зразків проводили згідно стандарту ДСТУ EN 205:2014.

Відповідно до вимог даних стандартів ми готували зразки відповідних розмірів та форм. Розміри зразка відповідно до стандарту були наступними: довжина зразка становила  $l_1 - 150 \pm 5$ , мм.; ширина зразка становила  $b - 20,0$

$\pm 0,2$ мм.; товщина зразка становила  $s - 10 \pm 0,1$  мм; товщина клейового шва відповідала  $a - 1,0 \pm 0,1$  мм.

На рис. 2.1. наведено схематичне зображення зразків для проведення експериментальних досліджень відповідно до стандарту.

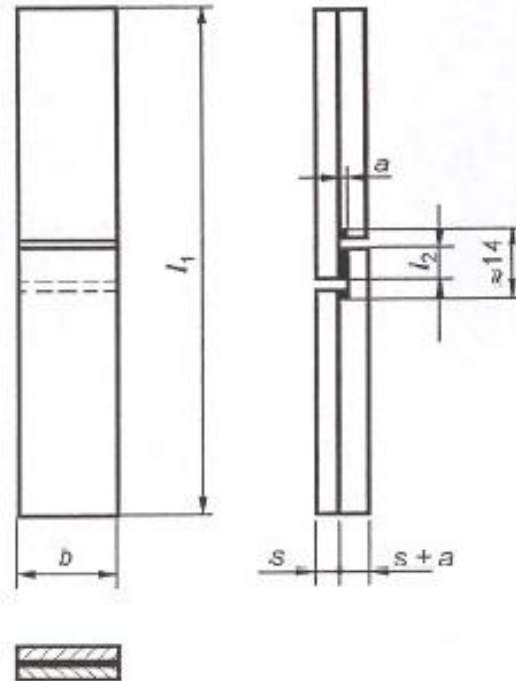


Рис. 2.1. Схема зразка відповідно до стандарту

Зразки для досліджень були виготовлені із деревини породи ясен. Дана порода має дещо специфічні властивості, на відмінно від інших порід деревини, тому мало використовується для виготовлення столярно-будівельних чи інших виробів. Але разом з тим, дана порода деревини відноситься до твердолистяних порід, та має значні запаси спілої деревини. Тому, її використання для виготовлення різного роду будівельних конструкцій та столярно-будівельних виробів на сьогоднішній день є актуальним. Вибір для досліджень даної породи деревини є необхідним, оскільки має перспективу її використання.

Розміри зразків для досліджень відповідали стандарту і становили 150x20x10 мм. Зразки виготовлялись із комлевої частини деревини. У зразках не допускались вади у вигляді тріщин, сучків, або інших механічних

пошкоджень після обробки деревини на круглопилкових, фрезерних та рейсмусних верстатах.

На рис 2.2. наведено світлину із склеєними зразками деревини ясена термопластичними полівінілацетатними клеями.



Рис. 2.2. Світлина зразків ясена склеєних полівінілацетатним клеєм.

Зразки піддавали циклічним випробуванням згідно стандарту ДСТУ EN 204:2014.

У табл. 2.1. наведено послідовність циклічних температурно-вологісних випробувань зразків деревини ясена, що склеєні полівінілацетатним клеєм і ступенем довговічності D4. [9]

Випробування склеєних зразків деревини ясена клеєм і ступенем довговічності D4 відповідно до стандарту ДСТУ EN 204:2014.

Таблиця 2.1.

Послідовність досліджень		Міцність клейового шва в Н/мм <sup>2</sup>			
№з/п	Тривалість випробувань	D1	D2	D3	D4
1	Сім діб у стандартній атмосфері	≥ 10	≥ 10	≥ 10	≥ 10
2	Сім діб у стандартній атмосфері Три годин у воді за температури (20±5) °C	-	≥ 8	-	-

	Сім діб у стандартній атмосфері				
3	Сім діб у стандартній атмосфері Чотири доби у воді за температури (20±5) °C	-	-	≥ 2	≥ 4
4	Сім діб у стандартній атмосфері Чотири доби у воді за температури (20±5) °C Сім діб у стандартній атмосфері	-	-	≥ 6	-
5	Сім діб у стандартній атмосфері Шість годин у кип'яченій воді Дві години у воді за температури (20±5) °C	-	-	-	≥ 4

Згідно даної таблиці, ми проводили дослідження для клеїв із ступенем навантаження D4, тобто ми виконували умови пунктів №1, 3 і 5. Відповідно до даних вимог міцність клейових з'єднань деревини ясена після циклічних випробувань не повинна бути нижчою за 4 Н/мм<sup>2</sup>.

Згідно стандарту ДСТУ EN 205:2014 повинні відповідати вимогам, які наведені у табл. 2.2. [10]

Умови застосування полівінілацетатних клеїв відповідно до стандарту  
ДСТУ EN 205:2014

Таблиця 3.1.

Класи довговічності	Приклади оптимальних умов і сфер застосування
D4	Внутрішні приміщення, в яких присутня короткострокова дія з концентрованої води або довготривала дія вологості, зразок виставляється назовні, але з надійно захищеною поверхнею, оздоблювальним покриттям.

Після циклічних температурно-вологісних випробувань зразки руйнували за допомогою розривної машини Р-5, яка наведена на рис. 2.3. Дана розривна машина призначена для визначення міцності клейових з'єднань

деревини на сколювання в здовж волоко методом стискання, розтягування або сколювання.



Рис 2.5. Машина розривна

Після цього, отримані результати піддавали статистичній обробці. Статистична обробка здійснювалась згідно методики, тобто знаходили грубі промах, їх аналізувати і при необхідності відкидали. Після цього формували вибірку із отриманого числового масиву, визначали середнє значення вибірки, кількість дубльованих спостережень, дисперсію, середнє квадратичне відхилення, коефіцієнт варіації, тощо. Все це здійснювали відповідно до методики, яка наведена у літературі [11].

### **2.3. Підготовка матеріалів для проведення досліджень**

При склеюванні зразків із деревини ясена використовували термопластичний полівінілацетатний двокомпонентний клей марки Jowat із ступенем довговічності D4. Даний клей є двох компонентний, який

складається із основи та затверджувача. Перед використання клею, необхідно здійснити його приготування. Приготування здійснювали у спеціальній скляній посудині, в яку наливали 100 мл клею і додавали 5% затверджувача. Після додавання двох компонентів проводили змішування до отримання однорідної в'язкої маси. В'язкість клею при нанесенні пензлем повинна становити 100 с. В'язкість клею заміряли лабораторним лабораторного віскозиметра ВЗ-4 рис. 2.6.



Рис 2.6. Віскозиметр ВЗ-4.

Після підготовки робочої в'язкості клею, здійснювали його нанесення на зразки за допомогою пензля. Витрату клей визначали за допомогою електричної лабораторної ваги II класу точності згідно з ДСТУ EN 4550, яка наведена на рис. 2.7.



Рис 2.7. Вага лабораторна електрична .

Витрату клею визначали за даними технічних умов для клею Jowat, яка становила для деревини ясена  $190 \text{ г/м}^2$ . На рис 2.8 наведена світлина клею марки Jowat із ступенем довговічності D4 марки 107.20.



Рис. 2.3. Клей Jowat

Технологічні режимні параметри технологічного процесу склеювання відповідали технічним вимогам і становили. Відкрита витримка тривалість – 10 хв. Закрита витримка тривалість – 15 хв. Пресування зразків здійснювали в однопроміжковому пресі холодного склеювання. Тиск пресування – 2 МПа. Тривалість пресування – 60 хв. Після пресування зразка витримували на протязі 72 діб до повного формування клейового шва.

Після цього зразки формували для руйнування.

### **3. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ**

#### **3.1. Теоретичні дослідження міцності клейових з'єднань деревини**

Міцність клейових з'єднань деревин буде залежати від температурно-вологісних навантажень під час експлуатація. А температурно-вологісні навантаження на клейові з'єднання деревини будуть визначатися умовами експлуатації, що притаманні для певної кліматичної зони і характеризуватися впливом температури і вологості та їх циклічною дією, сонячним опроміненням, дією озону, радіації, різного роду парів та розчинників, тощо. Всі ці фактори призводять до зміни пружно-деформаційного стану у клейовому з'єднанні деревини, визначають тривалість процесу деформування, характер напруженого стану тощо.

Кожний із названих природніх факторів по різному впливатиме на зміну міцності клейових з'єднань деревини під час експлуатації. Для прикладу, при експлуатації деревинних клейових з'єднань за постійній дії сонячного опромінення, відбувається нагрівання та поглинання деревиною та клейовим з'єднанням сонячної енергії. Дослідження таких процесів показали, що температура клейового з'єднання деревини яке експлуатується на сонці, перевищує температуру середовища в якому експлуатуються клейові з'єднання. Висока і тривала дія температури послаблює клейове з'єднання і призводить до його руйнування. Із збільшенням товщини клейового шва вплив сонячної радіації стає меншою [8].

Найвагоміший вплив на клейові з'єднання деревини матиме вологість і температура навколишнього середовища, оскільки деревина це анізотропний, гігроскопічний матеріал, який реагує найбільше і найшвидше на зміну вологості і температури. Найбільш небезпечними при тривалій експлуатації дерев'яних клейових конструкцій на відкритому повітрі є знакозмінна дія вологи та температури навколишнього середовища.

Для досліджень міцності клейових з'єднань деревини використовують природні та пришвидшені методи. Природні методи досліджень міцності

клеєвих з'єднань деревини дозволяють отримати результати реального впливу атмосферних факторів на клеєву конструкцію при експлуатації і побачити в динаміці фізиком-механічні процеси, що проходять у клеєвих з'єднаннях деревини. Тому, природні методи дослідження та теоретичне обґрунтування деформаційно-релаксаційних процесів у клеєвому з'єднанні є надзвичайно важливим і необхідним для вивчення їх міцності. Разом з тим, тривалі дослідження займають багато часу для їх проведення, тому такі дослідження не завжди є ефективними.

Полівінілацетатні клеї після тривалого сонячного опромінення втрачають здатність розчинятися у воді. У зв'язку з тим, міцність клеєвого з'єднання збільшується. Це пов'язано з тим, що після сонячного опромінення полімери можуть піддаватися деструкції, або зшиваються у просторову сітчасту структуру (структуруються), утворюючи неплавкі і нерозчинні з'єднання, які підвищують водостійкість клеєвого з'єднання.

Згідно американського стандарту ASTM D 1828-70T випробування клеєвих з'єднань за природним методом рекомендується проводити у чотирьох районах:, а саме: у атмосфері міста з парами SO<sub>2</sub>, у сільській місцевості, в районі морського побережжя та в тропіках.

Критеріями оцінки зміни міцності клеєвого з'єднання деревини при дії атмосферних факторів є:

- зовнішній вигляд і стан клеєвого шва (жолоблення, розтріскування, пухирі, плісень, розшарування);
- зміна лінійних розмірів зразка (набухання, викривлення);
- гранична міцність на сколювання по клеєвому шві;
- відсоток руйнування;
- коефіцієнт змінності.

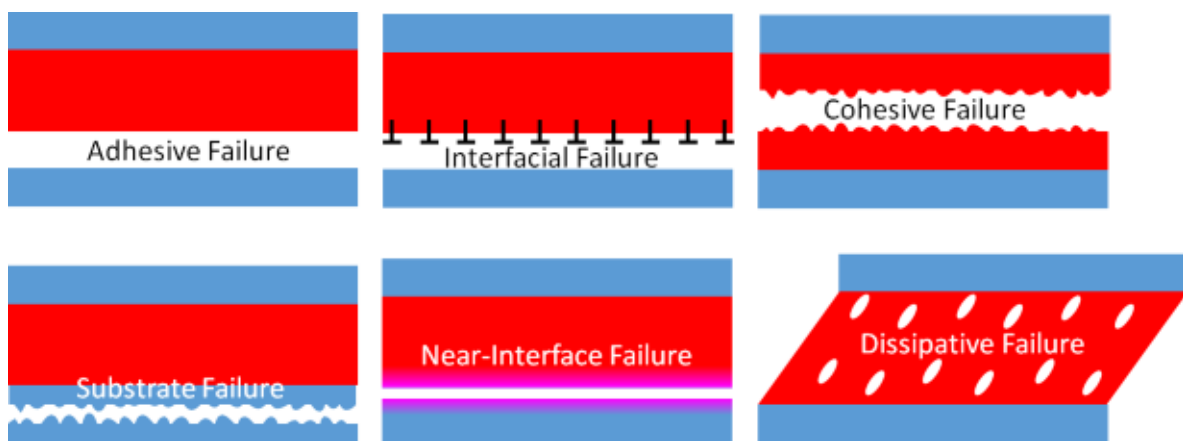
Термін експлуатації клеєвих з'єднань деревини визначається часом від початку його експлуатації, до появи перших ознак розшарування. З'єднання деревини вважаються непридатним до експлуатації тоді, коли їх міцність на

будь-якій ділянці склеювання наближається до нуля. Тому експлуатаційний термін придатності виробу необхідно обмежити часом на протязі якого міцність клейових з'єднань знижується до величини, яка близька до відповідного мінімуму, який встановлений стандартом на клейову продукцію.

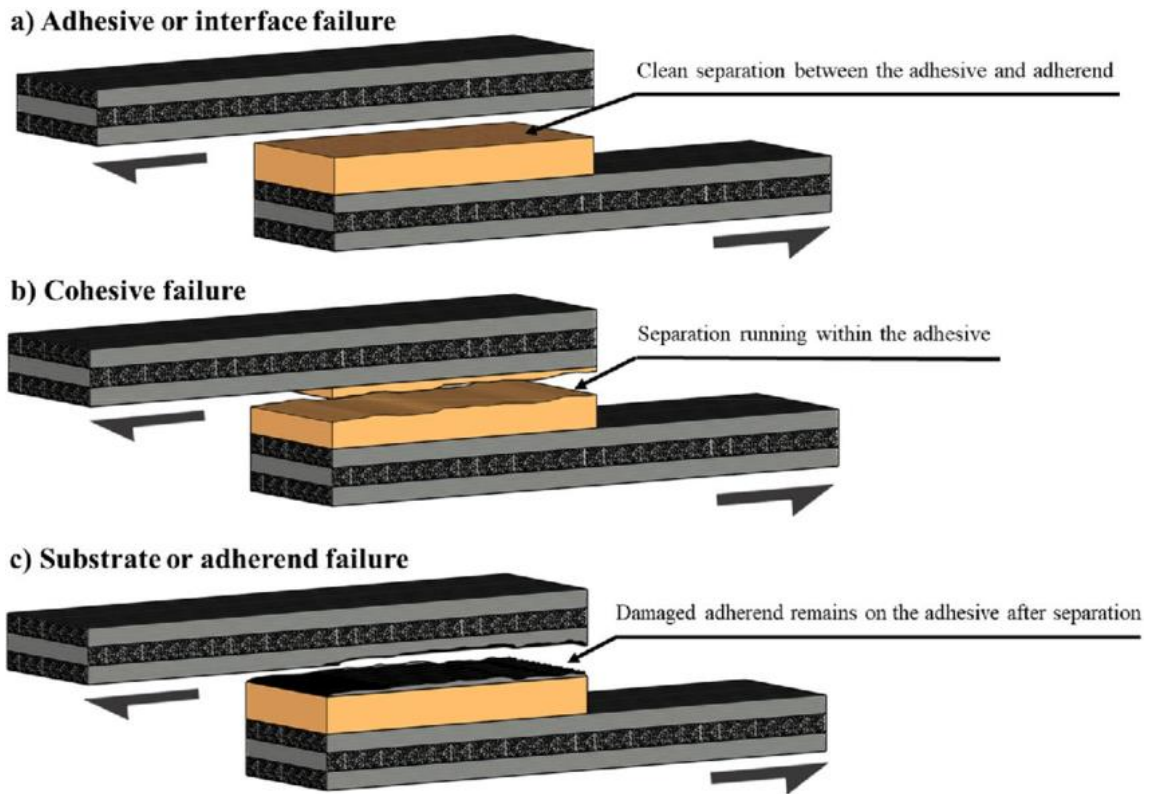
Механізми руйнування клейових з'єднань деревини відомі. Руйнування може відбуватися за декількома схемами. Для міцності клейового з'єднання деревини важливе значення має адгезія і когезія клейової композиції та адгезійна і когезійна міцність клейового з'єднання. Важливе значення при руйнуванні клейових з'єднань деревини матиме і робота руйнування. Способи руйнування клейових з'єднань деревини наведено на рис. 3.1.

Спосіб руйнування клейових з'єднань визначатиметься його пружно-деформаційним станом та буде залежати від механізму формування клейового з'єднання деревини.

Механізм формування термопластичного клейового з'єднання деревини відрізняється від механізму формування карбамідо-формальдегідного клейового з'єднання деревини. За допомогою полівінілацетатних клеїв формується лінійна, або рідкосітчаста структура клейового з'єднання, яка забезпечує клейовому з'єднанню деревини відповідну еластичність. Саме еластичність клейового шва дозволяє йому змінювати свої лінійні розміри разом із зміною лінійних розмірів деревини, при дії на клейове з'єднання температури або вологості навколишнього середовища під час його експлуатації.



а) шість способів руйнування клейових з'єднань деревини



б) три способи руйнування клейових з'єднань деревини

Рис. 3.1. Способи руйнування клейових з'єднань деревини

На рис. 3.2. наведено формулу хімічної взаємодії між целюлозою та полівініловим спиртом, яка формує лінійну або рідкосітчасту структуру клейового шва. [1.2]

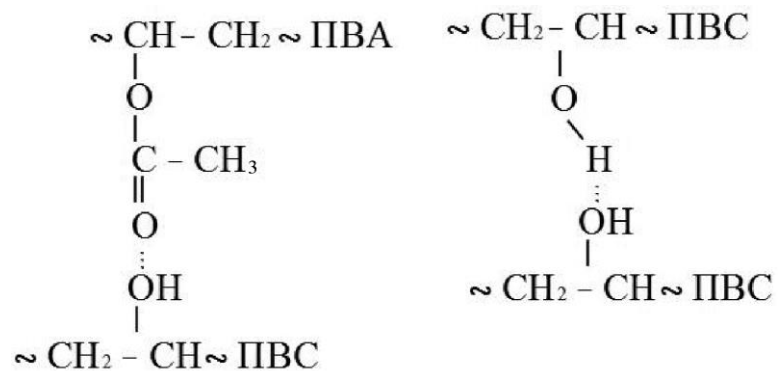


Рис 3.2. Механізм формування полівінілацетатного клейового з'єднання між целюлозою та полівініловим спиртом.

Враховуючи сказане вище, важливим є теоретично дослідити та описати зміну пружно-деформаційних та деформаційно-релаксаційних процесів, які

будуть проходити у клейового з'єднання деревини за дії температури та вологості навколишнього середовища. Це дозволить дослідити зміну міцності термопластичних полівінілацетатних клейових з'єднань деревини під час їх експлуатації.

### 3.2. Пружно-деформаційні характеристика полівінілацетатного клейового з'єднання деревини ясена

Як зазначалося вище пружно-деформаційні характеристики клейового з'єднання деревини визначатимуть його міцність та довговічність. Пружно-деформаційні процеси термопластичних клейових з'єднань деревини залежатиме від механізму його формування.

На рис. 3.2. за допомогою мікроскопа здійснено знімки та показано механізм формування клейового з'єднання деревини.

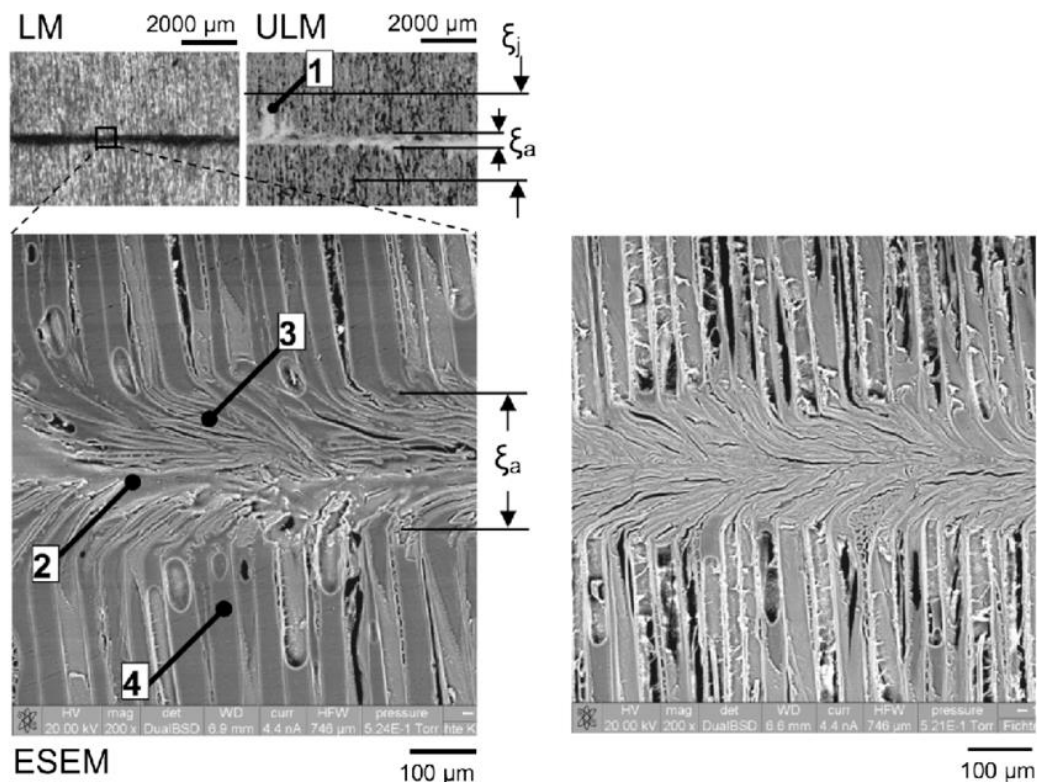


Рис. 3.2. Мікроскопічне дослідження мікроструктури клейового з'єднання деревини.

- 1) клей; 2) клейовий шар; 3) деформовані трахеїди деревини; 4) недеформовані трахеїди деревини.

Як видно із рис. 3.2. клей при склеюванні деревини заповнює пори та мікронерівності, які є на поверхні деревини. Механізм формування такого клейового з'єднання деревини можна описати механічною теорією склеювання. Дана теорія стверджує, що клей попадає у нерівності на поверхні деревини і там затвердіває, формуючи, тим самим адгезійну міцність. Дана міцність повинна забезпечувати клейовому з'єднанню, таку міцність, яку має сама деревина. Окрім того видно, як руйнуються трахеїди під час пресування.

На рис. 3.3. наведено мікроскопічні знімки будови деревини твердолистяної породи ясен та шпилькової породи сосни.

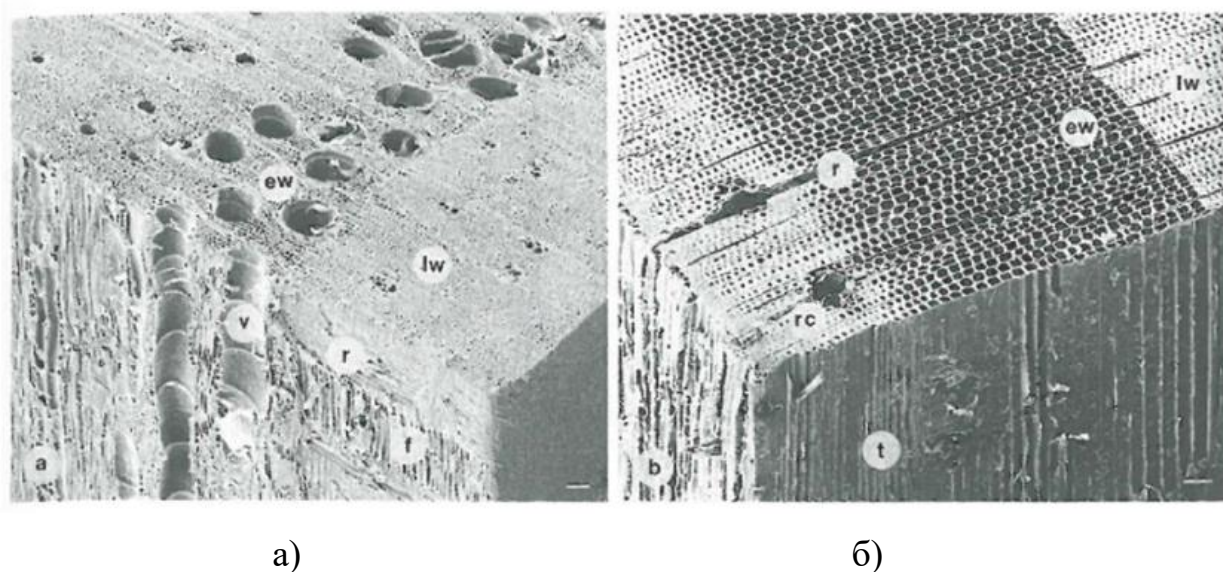


Рис. 3.3. Світлина мікроскопічної будови деревини: а) ясен, б) сосна.

v - судини, f - волокна, t – трахеїди, r – паренхіму. Крім того ew - рання зона деревина, lw - пізня зона деревина, rc - смоляний канал.

Вода, яка діє на таке клейове з'єднання потрапляє через пори та судини деревини безпосередньо до клейового шва. Відомо, що полівінілацетатні клеї формують рідкосітчасту структуру, яка здатна частково відштовхувати воду. Вода, яка попадає у полівінілацетатне клейове з'єднання деревини призводить до його розбухання. Окрім того, вода, яка попадає у деревину призводить також до її розбухання, тобто до збільшення лінійних розмірів деревини. Разом із тим, змінюються і лінійні розміри полівінілацетатної клейової плівки. Така

поведінка клейової конструкції не дозволяє раптово зруйнуватися клейовому з'єднанню, так як це може бути із карбамідо-формальдегідними клейових з'єднанням, через крихкість клейового шва.

Для такого клейового з'єднання важливе значення мають пружно-деформаційні процеси, які там будуть проходити. Встановлено, що на зміну пружно-деформаційного стану термопластичних полівінілацетатних клейових з'єднань деревини більш небезпечними є циклічна зміна вологості та температури.

Важливе значення на пружно-деформаційний стан клейового з'єднання деревини має порода деревини. В залежності від щільності деревини пружно-деформаційний стан також буде змінюватися. На мою думку, чим щільна порода деревини, тим її пружно-деформаційні процеси проходять складніше. Деревина ясен відноситься до твердолистяної породи. Її щільність становить  $650 \text{ кг/м}^2$ . Тобто, ця деревина за щільністю наближена до деревини дуба, що становить  $655 \text{ кг/м}^2$ . Тобто щільність деревини ясен знаходиться в діапазоні щільності деревини дуба.

На рис. 3.3. наведено графічні залежності зміни нормальних напружень полівінілацетатного клейового з'єднання деревини дуба при циклічній дії вологості та температури.

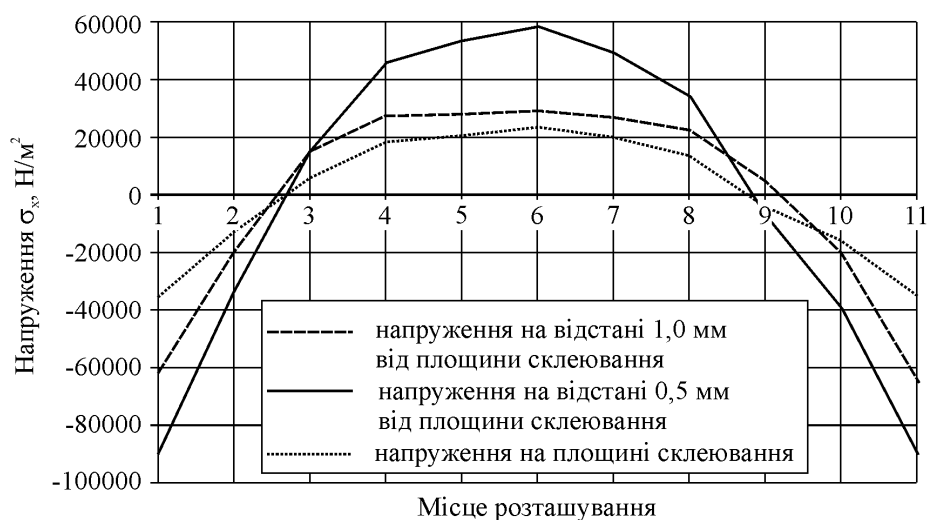


Рис. 3.3. Розподіл нормальних напружень

На рис. 3.4. наведено графічні залежності зміни тангентальних напружень полівінілацетатного клейового з'єднання деревини дуба при циклічній дії вологості та температури.

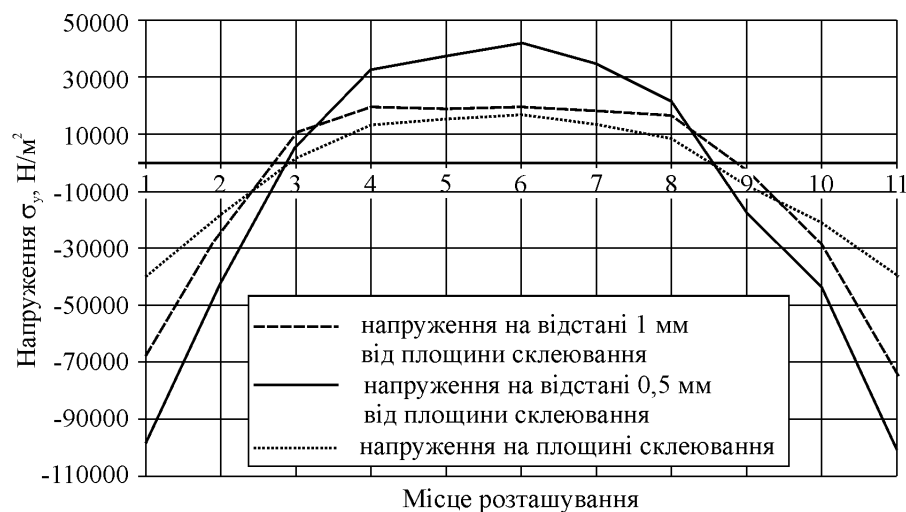


Рис. 3.3. Розподіл тангентальних напружень

З аналізу рис. 3.2.і.3.3. можна зробити висновок, що розподіл нормальних і тангентальних напружень у клейовому з'єднанні деревини дуба приймають максимальне значення у середні зразка. По краях зразка більше значення мають стискальні напруження. Тобто розподіл нормальних і тангентальних напружень є неоднаковий. Таку поведінку розподілу напружень можна пояснити впливом анізотропією, механічних властивостей та теплофізичних властивостей деревини і клею.

Аналогічно зміна нормальних і тангентальних напружень, на мою думку, повинна відбуватися і в термопластичному клейовому з'єднанні деревини ясена, оскільки за щільністю та деякими іншими фізико-механічними властивостями деревина ясена відповідає деревині дуба.

### 3.3. Висновки до розділу

З теоретичних досліджень третього розділу можна зробити наступні висновки:

1. Здійснено теоретичний аналіз зміни адгезійної міцності термопластичних полівінілацетатних клейових з'єднань деревини. Наведено

їх способи руйнування. Проаналізовано механізм формування полівінілацетатних клейових з'єднань деревини та можливі варіанти формування водневих зв'язків між складовими компонентами клею та деревини.

2. Проаналізовано пружно-деформаційні властивості полівінілацетатних клейових з'єднань деревини. Наведено механічний спосіб формування клейових з'єднань деревини ясена. Показано механічну теорію склеювання деревини.

3. Проаналізовано розподіл нормальних і тангентальних напружень у клейовому з'єднанні деревини твердолистяних порід деревин та здійснено припущення, що оскільки деревина дуба та ясена практично мають однакову щільність деревини та деякі інші фізико-механічні властивості, то розподіл нормальних та тангентальних напружень може відбуватися за однаковими залежностями. А це у свою чергу буде відображати пружно-деформаційний стан клейового з'єднання деревини ясена.

## 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 4.1. Результати досліджень міцності клейових з'єднань ясена

Відповідно до методики проведено експериментальні досліджень з визначення міцності клейових з'єднань деревини ясена склеєної полівінілацетатним клеєм із ступенем довговічності D4. Здійснено їх статистичну обробку та побудовано гістограми та графічні залежності.

На рис. 4.1 і рис 4.2 наведено міцність клейових з'єднань деревини ясена після склеювання та технологічної витримки.



Рис. 4.1. Гістограма міцності клейових з'єднань деревини ясена.



Рис. 4.2. Зміна міцності клейових з'єднань деревини ясена.

На рис. 4.3. та рис. 4.4. наведено результати зміни міцності клейових з'єднань деревини ясена склеєної термопластичними полівінілацетатними клеями із ступенем довговічності D4 після семи годин витримки у стандартних умовах.



Рис. 4.3. Гістограма міцності клейового з'єднання після 7 годин витримки у стандартних умовах



Рис. 4.4. Зміна міцності клейових з'єднань деревини ясена після 7 годин витримки у стандартних умовах.

На рис. 4.5 та рис. 4.6 наведено результати зміни міцності клейових з'єднань деревини ясена склеєної термопластичними полівінілацетатними клеями із ступенем довговічності D4 після чотирьох годин витримки у воді при температурі 20 °С.

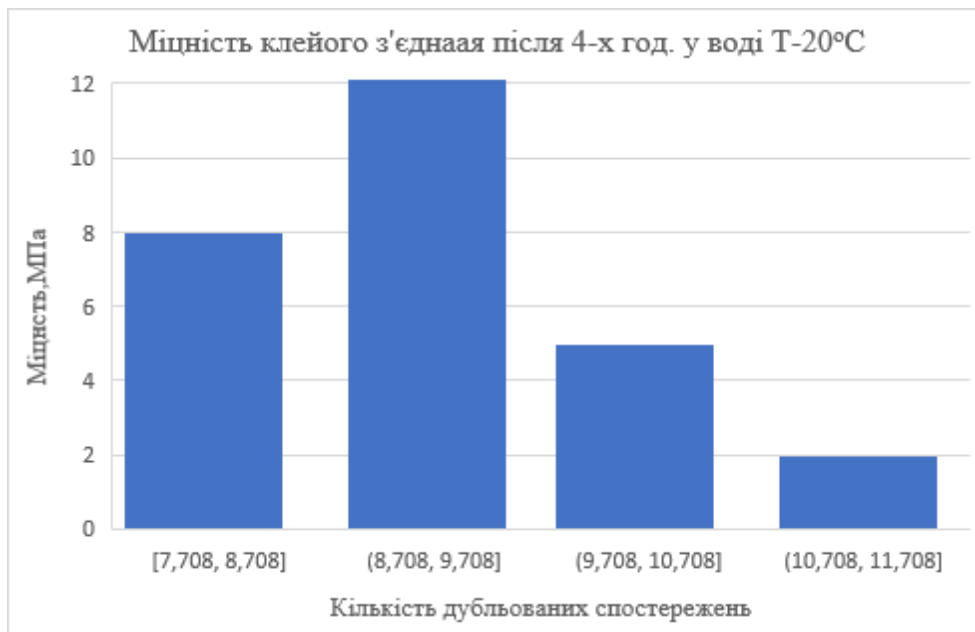


Рис. 4.5. Гістограма міцності клейового з'єднання після 4 годин витримки у воді за температури 20 °С



Рис. 4.6. Зміна міцності клейових з'єднань деревини ясена після 4 год. у воді

На рис. 4.7 та рис. 4.8 наведено результати зміни міцності клейових з'єднань деревини ясена склеєної термопластичними полівінілацетатними клеями із ступенем довговічності D4 після шести годин витримки у кип'яченій воді.

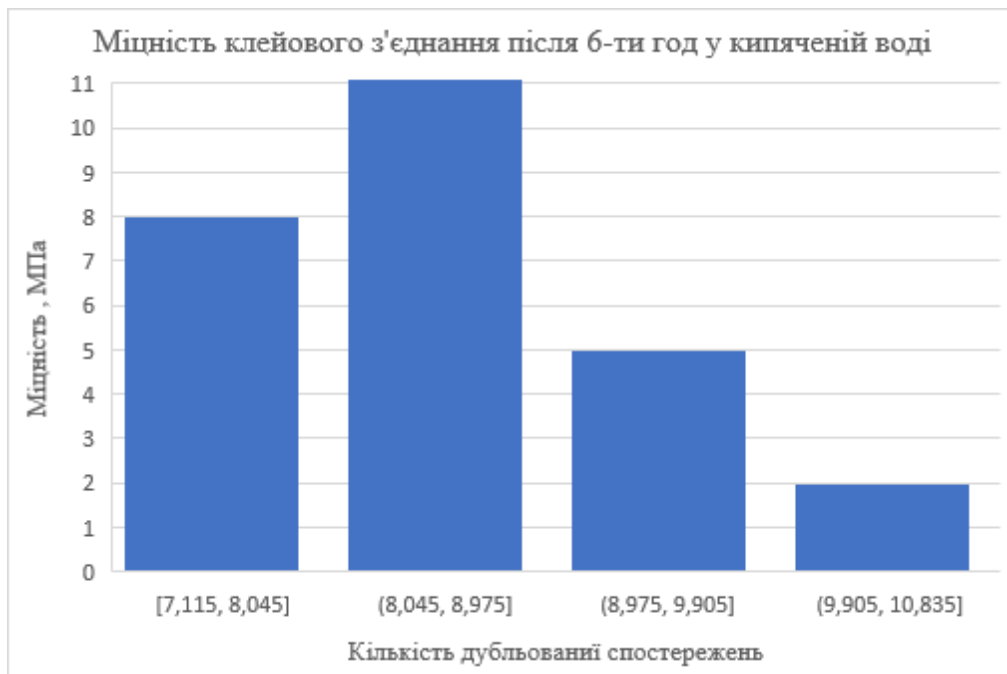


Рис. 4.7. Гістограма міцності клейового з'єднання після 6 год. кип'ятіння



Рис. 4.8. Зміна міцності клейових з'єднань деревини ясена після 6 год. кип'ятіння.

На рис. 4.9 та рис. 4.10 наведено результати зміни міцності клейових з'єднань деревини ясена склеєної термопластичними полівінілацетатними клеями із ступенем довговічності D4 після циклічних температуро-вологісних випробувань.



Рис. 4.8. Гістограма міцності клейових з'єднань деревини ясена після циклічних температуро-вологісних випробувань



Рис. 4.8. Зміна міцності клейових з'єднань деревини ясена після циклічних температуро-вологісних випробувань

## **4.2. Аналіз результатів досліджень міцності клейових з'єднань деревини ясена**

Як видно із гістограми та графічної залежності рис. 4.1 та 4.2 міцність клейових з'єднань деревини ясена склеєної полівінілацетатним клеєм із ступенем довговічності D4 становить 11,6 МПа. Ця міцність задовольняє такі клейові з'єднання, оскільки міцність деревини ясена на сколювання вздовж волокон приблизно рівна 12-13 МПа.

Міцність клейового з'єднання деревини ясена склеєної термопластичними полівінілацетатними клеями із ступенем довговічності D4 становить після семи годин витримки у стандартних умовах (рис. 4.3 та рис 4.4.) становить 11,48 МПа. Тобто, при витримці такого клейового з'єднання у стандартних умовах експлуатації, міцність практично не змінюється. Це вказує на те, що стандартні кімнатні умови, а саме вологість навколишнього середовища рівна  $65\pm 5$  та температура  $20\pm 2$  °C вважаються комфортними для таких клейових з'єднань. На мою думку це відповідає результатам для інших порід деревини, які я наводив у огляді літературних джерел. Виходить, що хоча деревина ясена має дещо специфічні властивості по відношенні до інших твердолистяних порід деревини, на міцність клейових з'єднань це не має суттєвого впливу.

Тепер проаналізуємо результати зміни міцності клейових з'єднань деревини ясена склеєної термопластичними полівінілацетатними клеями після чотирьох годин витримки у воді при температурі 20 °C. Із результатів досліджень видно, що міцність таких клейових з'єднань дещо зменшується по відношенню до міцності клейових з'єднань, які не піддавались температурно-вологісним навантаженням. А саме після даного циклу випробувань, міцність становила 9,25 МПа, що на 10,6 % менша від міцності клейового з'єднання після склеювання. Це говорить про те, що вимочування зразків у воді, дещо негативно впливає на клейові з'єднання, що призводить до зменшення міцності.

Таку поведінку клейового з'єднання можна пояснити адсорбційними процесами, які проходять під час вимочування. Тобто, деревина при поглинанні води дещо збільшує свої лінійні розміри, що у свою чергу, це впливатиме на пружно-деформаційні процеси. Як зазначалося у розд.3 механізм формування термопластичних полівінілацетатних клейових з'єднань описується механічною теорією склеювання. Тобто клей заповнює пори деревини, та інші мікро і макронерівності. Ясен, як видно із мікроскопічної будови рис. 3.2. і рис 3.3. є пористим матеріалом. Це дозволяє клею глибоко проникати у ці пори, тим самим формувати клейове з'єднання. Вода, яка поглинається деревиною під час вимочування, через пори попадає у клейове з'єднання, тим самим насичує його додатковою вологою. Така дія води призводить до зміни її лінійних розмірів.

Як було зазначено у розд. 3, зміна лінійних розмірів деревини, під час вимочування призводить до зміни пружно-деформаційних процесів клейової конструкції. Разом з тим, еластичність клейового шва дещо релаксує дані пружно-деформаційні процеси, що не дає можливості руйнуватися клейовій конструкції.

Як видно із пружно-деформаційних характеристик наведених на рис. 3.4. і рис. 3.5., зміна нормальних і тангентальних напружень у термопластичному клейовому з'єднанні деревини дещо зменшується по краях склеяного зразка. Тобто, нетривале вимочування у воді кімнатної температури, а саме 4 години, не суттєво впливає на пружно-деформаційні процеси клейової конструкції. Тому, зміна міцності є незначною і складає 20,0%. Якщо порівнювати із іншими породами деревини, то вона практично знаходиться у тому самому числовому діапазоні.

Наступним, проаналізуємо зміну міцності клейового з'єднання деревини склеєного термопластичними полівінілацетатними клеями із ступенем довговічності D4 після 6 годин кип'ятіння. Як видно із рис. 4.7. і рис. 4.8. міцність після такого випробування становить 7,17 МПа, що на 38,1% менша

за міцність клейового з'єднання після склеювання, та на 22,4 % менша за міцність після вимочування у воді кімнатної температури.

Така поведінка термопластичного полівінілацетатного клейового з'єднання деревини ясеня говорить про те, що кип'ячена вода, тобто вода із підвищеною температурою впливає на міцність клейового з'єднання. Але підвищена температура не призводить до руйнування клейового з'єднання.

У табл. 4.1 наведено зміну міцності клейового з'єднання деревини ясеня склеєного термопластичним полівінілацетатним клеєм із ступенем довговічності D4 після всіх циклічних температурно-вологісних випробувань.

Міцність клейових з'єднань деревини ясеня після циклічних температурно-вологісних випробувань.

Таблиця 4.1.

Результати досліджень зразків.				
№ п/п	Після склеювання	7 год. стан. умови	4 год. вимочування	7 год. кип'ятіння
1	12,609	12,412	10,277	7,906
2	11,526	11,171	9,250	7,115
3	13,077	12,412	10,277	7,906
4	10,773	10,155	8,409	6,468
5	11,526	11,171	9,250	7,115
6	10,478	10,155	8,409	6,468
7	11,526	11,171	9,250	7,115
8	14,408	13,963	11,562	8,894
9	11,526	11,171	9,250	7,115
10	11,526	11,171	9,250	7,115
11	10,478	10,155	8,409	6,468
12	12,807	12,412	10,277	7,906
13	11,526	11,171	9,250	7,115
14	10,478	10,155	8,409	6,468
15	11,526	11,171	9,250	7,115
16	11,526	11,171	9,250	7,115
17	10,478	10,155	8,409	6,468
18	14,408	13,963	11,562	8,894
19	11,526	11,171	9,250	7,115
20	10,478	10,155	8,409	6,468

21	11,526	11,171	9,250	7,115
22	11,526	11,171	9,250	7,115
23	11,526	11,171	9,250	7,115
24	10,478	10,155	8,409	6,468
25	11,526	11,171	9,250	7,115
26	9,605	9,309	7,708	5,929
27	11,526	11,171	9,250	7,115
28	12,807	12,412	10,277	7,906
29	12,807	12,412	10,277	7,906
30	11,526	11,171	9,250	7,115

На рис. 4.9. та рис. 4.10. наведено гістограму та графічні залежності зміни міцності клейового з'єднання деревини ясена склесного полівінілацетатним клеєм після циклічних температурно-вологісних випробувань.



Рис. 4.9. Гістограма циклічних температурно-вологісних випробувань.



Рис. 4.10. Графічні залежності циклічних температурно-вологісних випробувань.

### 4.3. Висновки до розділу

Підсумовуючи розділ 4, а саме результати експериментальних досліджень мною зроблені такі висновки:

1. За результатами експериментальних досліджень становлено, що міцність полівінілацетатних клейових з'єднань деревини ясена із ступенем довговічності D4 задовольняє адгезійну міцність і становить 11,64 МПа. А міцність після 7-ми діб витримування у стандартних природніх умовах практично не змінюється і становила 11,48 МПа. Тобто така клейова конструкція добре експлуатується у стандартних умовах.

2. Встановлено, що при вимочуванні зразків клейового з'єднання деревини ясена склеєного термопластичними полівінілацетатними клеями із ступенем довговічності D4 у воді кімнатної температури міцність зменшується на 20,0 % і становить 9,25 МПа.

3. Встановлено, що зміна міцності полівінілацетатних клейових з'єднань деревини ясена після вимочування у воді з підвищеною температурою зменшується до 7,17 МПа. Тобто вона зменшилась на 38,8% від міцності клейової конструкції, яка не піддавалась циклічним температурно-вологісним навантаженням.

4. Теоретично можна припустити, що циклічні температурно-вологісні навантаження впливають на деформаційно-релаксаційні процеси. Такі процеси проходять із зміною радіальних і тангентальних напружень у клейовій конструкції. Зміна цих напружень відбувається неоднаково. Найбільше нормальні і тангентальні напруження змінюються по краях клейової конструкції.

5. Отримані результати дослідження дають можливість оцінити вплив води за різної температури на зміну міцності полівінілацетатних клейових з'єднань деревини ясена під час експлуатації. Це має практичне значення при експлуатації клейових конструкцій. Теоретичні припущення будуть використанні у подальших дослідження міцності термопластичних клейових з'єднань деревини.

## 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

### 5.1. Екологічність полівінілацетатних клейових з'єднань деревини ясена

Екологічні проблеми щодо використання клеїв на з'єднань на їх основі з кожним роком стають все більш актуальними. Особливо до клейових конструкцій та виробів, які використовуються у середині приміщень. Тому, для склеювання деревини все частіше використовують нетоксичні клеї, до яких і відноситься термопластичний полівінілацетатний клей. Виходячи з цього у своїй роботі для досліджень, було вибрано саме полівінілацетатний клей із ступенем довговічності D4. Дані клеї є двокомпонентний, але разом з тим є екологічно безпечними і забезпечує всі необхідні умови експлуатації.

Назагал більшість синтетичних клеїв, які використовуються для склеювання деревини містять токсичні речовини. Дані речовини виділяються у навколишнє середовище, тим самим негативно впливають на людей. Вміст токсичних речовин у повітрі визначають у  $\text{мг/м}^3$ , а їх вміст обмежується гранично допустимою концентрацією (ГДК). Для прикладу вміст фенолу і формальдегіду в повітрі для виробничих приміщень повинен знаходитись у певних межах, а саме від 0,3 до 0,5  $\text{мг/м}^3$ .

Коли ГДК перевищує допустиму норму викидів шкідливих речовин у виробничому приміщенні необхідно встановлювати витяжні вентиляції. Дані вентиляції можуть встановлюватись у виробничих приміщеннях біля окремого джерела викидів, або бути загально цеховою. Контроль шкідливих викидів здійснюється за міжнародною класифікацією продукції, яку називають класом емісії.

У 2000 році впроваджено Європейський стандарт (EN 13986), який регламентує вміст вільного формальдегіду, що виділяється з виробів із деревини. У більшості випадків всі стандарти регламентують викиди вільного формальдегіду, як найбільш небезпечної канцерогенної речовини, яка у вільному стані може виділятися у повітря на протязі багатьох років

експлуатації виробів. Вмісту формальдегіду у тих чи інших виробках здійснюється за класифікацією, що характеризується за показниками E0, E1 або E2. Відповідно до цієї класифікації, клас емісії буде відповідати певним нормам, а саме: E0 дозволяє вміст шкідливих викидів до 5 мг. на 100 г., E2 – до 10 мг. на 100 г., і E2 від 10 до 30 мг. на 100 г.

Полівінілацетатний клей, який містить полівінілацетат та полівініловий спирт і затверджувач не виділяє вільного формальдегіду, тому і відноситься до нетоксичних клеїв. Полівінілацетатні клеї можуть виділяти бензол, етилбензол, ксилол, толуол та інші речовини вміст, яких у клеях не перевищує ГДК. Полівінілацетатні клеї є безпечними для людського організму, тому не здатні чинити проблем для здоров'я. Дані клеї можуть викликати у людей алергію. Це потрібно враховувати при роботі із даними клеями і під час роботи з ними використовувати певні захисні засоби.

Оскільки основними компонентами полівінілацетатних клеїв є полівінілацетат та полівініловий спирт, а вони відповідно до токсикологічних досліджень, які були проведені на мишах не було виявлено негативного впливу на ріст та гематологічні показники миш. Тому можна зробити висновок, що дані клеї не є токсичними та не мають шкідливого впливу на здоров'я людей.

Використання затверджувача у полівінілацетатних клеях із ступенем довговічності D3 і D4, який на сьогоднішній день за попереднім аналізом, складається із кремнієво органічних речовин не до кінця вивчено. Разом з тим кремнієво органічні речовини являють собою з'єднання між кремнієм і вуглецем. Окрім того, цей затверджувач може мати і інші хімічні сполуки, так як кисень, водень тощо. Даний затверджувач має хороші експлуатаційні властивості, що і дозволяє підвищити довговічність клейовим деревинним конструкціям. Разом із хорошими експлуатаційним властивостями цей затверджувач є більш безпечний для людей, ніж затверджувачі, які використовуються для інших клейових композицій, а саме для карбамідо-формальдегідних клеїв чи клеїв формальдегідної групи.

Тому, використання термопластичних полівінілацетатних клеїв для склеювання деревини ясена відповідає вимогам екологічної безпеки та техніки безпеки. Такі клейові з'єднання можуть використовуватися як у житлових приміщеннях так і зовні. Тому, саме клейові з'єднання деревини склесні полівінілацетатними клеями так широко на сьогоднішній день використовуваними і темпи їх використання збільшуються з кожним роком.

## 5.2. Охорона праці при роботі в лабораторії з клеями

Свої експериментальні дослідження я проводив у лабораторних умовах, де використовував лабораторне устаткування. Тому, я хочу проаналізувати основні вимоги техніки безпеки при роботі із лабораторним устаткуванням і у лабораторних умовах, враховуючи використання для склеювання деревини ясена термопластичні полівінілацетатні клеї.

Перш за все, коли починав свої дослідження я пройшов інструктаж з техніки безпеки, щодо роботи в лабораторії з різного роду хімічними речовинами та з використанням лабораторного устаткування. Також отримав застереження щодо поведінки при використанні з клеями та їх компонентами. Я проаналізував властивості складових компонентів полівінілацетатного клею та затверджувача до нього, та загальні правила техніки безпеки при роботі з цими клеями. Тому, я був готовий до роботи з полівінілацетатними клеями у лабораторних умовах.



Рис. 5.1. Світлина сучасних лабораторій при роботі із клеями

Підготовку зразків до склеювання я проводи у лабораторії на робочому місці, а саме з використанням витяжної шафи. Дана витяжна шафа обладнана місцевою вентиляційною системою. Видалення забрудненого повітря із даної витяжної шафи забезпечувалась потужним вентиляційним обладнання. Робочий стіл у витяжній шафі завжди готовий до роботи, і тримається у чистому підготовленому до роботи стані. Тобто, виходячи із техніки безпеки тут все відповідало вимогам і дозволяло проводити мої експериментальні дослідження правильно з дотриманням вимог техніки безпеки.

Посуд для приготування клею використовувався лабораторний, а саме скляний із стійким дном. Це дозволяло, під час роботи, забезпечити його стійкість на робочому столі та здійснювати належно процес перемішування, оскільки, під час приготування клею необхідно було його добре перемішували, для того, щоб отримати однорідну масу.

Перемішування здійснювали за допомогою скляної палички. Готову суміш зважування. Для зважування, як зазначалося у методиці проведення досліджень використовували електронну вагу. Після зважування, за допомогою пензля, клей наносили на зразки деревини ясена.

Після закінчення процесу нанесення клею на зразки, проводив миття використаного для цього посуду. Для миття посуду, після роботи з клеєм, я використовував гумові рукавиці і прогумований фартух відповідно до вимог з техніки безпеки. При потраплянні полівінілацетатного клею або його компонентів на незахищені ділянки шкіри, як правило це часто буває, особливо на кінцівки, необхідно, щоб місце попадання клею промити під протічною водою, використовуючи для цього мило.

Наступним кроком, де необхідно дотримуватися правил техніки безпеки, це була робота із використанням гідравлічного пресу. Тому необхідно було пройти інструктаж з дотриманням умов техніки безпеки при роботі із пресом. Для пресування я використовував однопроміжковий прес. Відповідно до інструкції при роботі з пресами необхідно було дотримуватись наступних вимог техніки безпеки, а саме:

- перед використанням преса необхідно перевірити справність всі контрольні-вимірювальні прилади та рухомі частини;
- категорично заборонено здійснювати роботи із завантаження та розвантаження заготовок у прес під час його роботи;
- категорично заборонено здійснювати ремонтні роботи під час роботи преса;
- постійно слідкувати за робочим тиском та роботою всіх необхідних контрольних-вимірювальних приладів;
- не працювати з пресом без виробничого майстра, який відповідає за роботу на даному пресі;
- по закінченні роботи преса, його необхідно вимкнути із мережі;
- використовувати прес можна тільки при наявності вентиляції локальної вентиляційної мережі;
- дотримуватися правил протипожежної безпеки.

Наступним кроком це була робота з розривною машиною, яку використовували для руйнування дослідних зразків. Тому, техніка безпеки при руйнуванні зразків за допомогою розривної машини наступна:

- перед роботою на розривній машині необхідно пройти інструктаж з техніки безпеки та ознайомитися із роботою самої машини;
- при ввімкненні машини не допускати попадання під рухомі механізми рук;
- при руйнуванні зразків оберігатися від викиду частинок зруйнованого зразку з під механізму руйнування;
- встановлення кожного наступного зразка та зняття зруйнованого із розривної машини здійснювати тільки у вимкненому положенні;
- пульт керування повинен не допустити довільного або випадкового включення;
- не можна регулювати швидкість прикладання навантаження при вимкненому двигуні подачі;

- при руйнування дослідного зразка необхідно слідкувати за його руйнуванням на безпечній відстані, щоб запобігти викиду уламків;
- по завершенні роботи необхідно вимкнути розривну машину та прибрати територію навколо неї.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Виходячи із отриманих результатів експериментальних досліджень, їх аналізу та висунутих теоретичних припущень я можу зробити наступні висновки по виконаній роботі:

1. Здійснено аналіз літературних джерел щодо зміни міцності клейових з'єднань деревини під час їх експлуатації. Проаналізовано зміну міцності клейових з'єднань деревини під час їх експлуатації, вплив природніх факторів на зміну міцності, а саме температури та вологості навколишнього середовища, проаналізовано фізико-механічні властивості деревини та фізико-хімічні властивості клеїв для склеювання деревини.

2. Підібрано методику для проведення експериментальних досліджень щодо склеювання деревини ясена та проведення експериментальних досліджень з визначення впливу циклічної дії вологості та температури. Здійснено підготовку зразків деревини ясена та полівінілацетатного клею до склеювання та вибрано методику пришвидшених експериментальних досліджень зміни міцності клейових з'єднань деревини ясена на основі вітчизняних стандартів. Для статистичної обробки даних результатів досліджень використано існуючу методику статистичної обробки результатів досліджень та побудови графічних залежностей.

3. Теоретично здійснено припущення, що деревина ясена відноситься для твердолистяної породи деревини, яка має дещо специфічні фізико-механічні властивості. Вплив температурно-вологісних навантажень на клейові з'єднання деревини ясена призводить до зміни її пружно-деформаційних властивостей. А саме, нормальні та тангентальні напруження змінюються за параболічною залежністю. Тобто по краях клейового зразка кількісні показники нормальних та тангентальних напружень є меншими ніж у центральній частині зразка.

4. На основі триманих експериментальних даних встановлено, що міцність клейових з'єднань деревини ясена після технологічного процесу

склеювання становить 11,6 МПа, що відповідає вимогам до клейових з'єднань деревини ясена при його склеюванні на гладку фугу.

5. Встановлено, що після 7-ми днів витримки у стандартних кліматичних умовах міцність таких клейових з'єднань ясена зменшується несуттєво і становить 11,48 МПа, що є в межах допустимої зміни міцності для таких клейових з'єднань деревини при їх експлуатації у стандартних температурно-вологісних умовах.

6. Встановлено, що циклічні температурно-вологісні випробування зміни міцності клейових з'єднань деревини ясена склеєні полівінілацетатним клеєм із ступенем довговічності D4, після 4-х годинного вимочування у воді кімнатної температури призводить до зменшення його міцності на 20 % і становить 9,25 МПа.

7. Встановлено, що циклічні температурно-вологісні випробування зміни міцності клейових з'єднань деревини ясена склеєної полівінілацетатними клеями із ступенем довговічності D4, після 6-х годинного витримування у кип'яченій воді призвели до зменшення його, що становила 7,17 МПа. Тобто міцність зменшилась на 38,8% від міцності клейової конструкції, яка не піддавалась циклічним температурно-вологісним навантаженням.

8. Отримані результати дослідження можуть бути використанні для продовження досліджень зміни міцності клейових з'єднань деревини ясена під час їх експлуатації.

## ВИКОРИСТАНІ ЛІТЕРАТУРНІ ДЖЕРЕЛА

1. Тлумачний словник з деревооброблення / уклад.: Б. Прокопович, І. Войтович, С. Гайда, Б. Кшивецький. – Львів.: Ромус-Поліграф, 2002. – 280 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. Кшивецький Б.Я. Прогнозування довговічності з'єднань деревини клеями на термопластичній основі: дис. д-ра техн. наук : 05.23.06. / Б.Я. Кшивецький. – Львів: НЛТУ України, 2013. – 269 с.
4. Солонинка В.Р. Підвищення водо- і теплостійкості клейових з'єднань деревини клеями на основі полівінілацетатної дисперсії"
5. Гупало О.П. Високомолекулярні сполуки / О.П. Гупало, Н.М. Ватаманюк. – Київ: видавництво НМКВО,1993. – 243 с.
6. 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 .
7. ДСТУ EN 204:2014.
8. ДСТУ EN 205:2014.
9. Кійко О.А., Чопенко Н.Ф., Кушпіт А.С. Методичні вказівки: застосування методів статистичного аналізу в деревооброблені. Частина І. – Львів: УкрДЛТУ, каф. ТВД, 2004. – 32с
10. Европейский стандарт EN 204.
11. Кшивецький Б.Я. Механізм формування термопластичних клейових з'єднань деревини // Наук. вісник УкрДЛТУ: Зб. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 2012, вип. 22.12. – С. 117-122.
12. Кшивецький Б.Я., Солонинка В.Р. Термопластичні клейові композиції на основі полівінілацетату (ПВА) та їх використання в деревообробній галузі//

Наук. вісник УкрДЛТУ: Зб. наук.-техн. праць. – Львів: НЛТУУ. – 2007, вип. 17.6. – С. 92...95.

13. Гупало О.П. 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 .

14. Callum A.S. Hill Wood Modification Chemical, Thermal and Other Processes. – England: John Wiley & Sons, LTD, 2006 - 239 p.

15. DEREVO.info – інформаційний портал деревообробної галузі.  
[www.derevo.info](http://www.derevo.info).

16. 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.