

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 впливу вологи та температури на
довговічність клейових деревинних конструкцій»

Виконав: студент II курсу, групи ТВД-61м

Спеціальності 187 «Деревообробні та меблеві
технології»

Павлів І.Д. _____
(прізвище та ініціали)

Керівник проф. Кшивецький Б.Я.

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____
(прізвище та ініціали)

Львів 2024

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

Павлів Ігор Дмитрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Дослідження впливу вологи та температури на довговічність клейових деревинних 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 _____ Павлів І. Д.

Керівник проекту _____ проф. Кшивецький Б.Я.

РЕФЕРАТ

Магістерська дипломна робота: пояснювальна записка: 56 стор., 19 рис., 5 таблиць, 21 джерел. В даній роботі досліджено вплив вологи та температури на довговічність клейових деревинних конструкцій під час експлуатації.

Ключові слова: клейові з'єднання, довговічність, вологість, температура, клейові конструкції, міцність, деревина, склеювання, полівінілацетатні клеї..

ABSTRACT

Master's thesis: explanatory note: 56 pages, 19 figures, 5 tables, 21 sources. In this work, the influence of moisture and temperature on the durability of adhesive wood structures during operation is investigated.

Key words: adhesive joints, durability, humidity, temperature, adhesive structures, strength, wood, bonding, polyvinyl acetate adhesives.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

Дослідити вплив вологи та температури на довговічність клейових деревинних конструкцій під час експлуатації. Для цього необхідно:

1. Проаналізувати клейові деревинні конструкції, перспективи їх використання та властивості деревини і клеїв для їх склеювання.
2. Підібрати методика, обладнання та устаткування для проведення експериментальних досліджень.
3. Теоретично дослідити вплив вологи та температури на довговічність полівінілацетатних клейових з'єднань деревини.
4. Провести лабораторні експериментальні дослідження для вивчення зміни міцності клейових з'єднань деревини сосни склеєної полівінілацетатними клеями від дії вологи та температури.
5. Запропонувати заходи з охорони праці та техніки безпеки при роботі із клеями та охорони праці.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ КЛЕЙОВИХ З'ЄДНАНЬ З ДЕРЕВИНИ	9
1.1 Загальні відомості про клеї та з'єднання на їх основі	9
1.2 Вимоги до деревини при формуванні клейового з'єднання	13
1.3 Міцність клейових з'єднань деревини та її вплив на довговічність.....	16
1.4 Загальні висновки з розділу та задачі дослідження.....	19
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.....	22
2.1 Методика пришвидшених досліджень	22
2.2 Вибір та підготовка клею.....	24
2.3 Підбір деревини та підготовка зразків.....	25
2.4 Формування клейових зразків та обладнання для досліджень.....	27
РОЗДІЛ 3. ТЕОРИТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ... ..	29
3.1 Теоретичні основи довговічності клейових з'єднань деревини.....	29
3.2 Пружно-деформаційних процеси у полівінілацетатних клейових з'єднаннях деревини та їх вплив на довговічність.....	33
3.3 Висновки по розділу.....	37
РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	38
4.1 Результати експериментальних досліджень клейових з'єднань.....	38
4.2 Дослідження довговічності клейових з'єднань деревини	42
4.3 Висновки з розділу.....	45
РОЗДІЛ 5. ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	47
5.1 Порівняльна характеристика токсичності клеїв	47
5.2 Основні правила техніки безпеки при роботі з клеями	48
5.3 Організація робочого місця при роботі з синтетичними клеями.....	49
5.4 Організація робочого місця при роботі з синтетичними клеями.....	50
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	54

ВСТУП

Актуальність теми. Важливе значення для склеєної деревини має міцність та довговічність. Це пов'язано із характеристиками та властивостями як деревини так і клеїв які використовуються для її склеювання. Окрім того, вирішальну роль у виробках з деревини відіграє їх довговічність, оскільки вона повинна відповідати певних умовам експлуатації.

На сьогоднішній день деревина, яка склеюється, широко використовується при виготовленні виробів з деревини. З аналізу літературних джерел відомо, що практично 95% всіх виробів, які виготовляються із деревини піддаються склеюванню. Це можна пояснити багатьма причинами, серед яких та, що клейові з'єднання з деревини є практичними для використання, вироби з них можна отримати різною форми та розмірів, спрощується технологічний процес їх виготовлення, в порівнянні із іншими видами з'єднання, тощо. Тому такі з'єднання деревини мають перспективу у їх використанні.

Для склеювання різних матеріалів використовує велика кількість клейових матеріалів. Всі вони синтетичного походження. Приблизно 75% із них використовуються у деревообробному виробництві. Серед них це карбамідоформальдегідних, фенол-формальдегідних, меламіноформальдгідні, резочиноформальдегідних, тощо. Окрім термореактивних клеїв, використовуються і термопластичні полівінілацетатні клеї, поліуретанові клеї, плівкові клеї, клейові нитки, клеї-розплави тощо. Тому, переваги та недоліки клейових з'єднань на основі даних клейових матеріалів під час експлуатації клейового з'єднання, постійно потребують нового дослідження та вивчення .

Разом з тим, існують певні застереження, щодо виготовлення та експлуатації клейових з'єднань з деревини. Серед яких, певні вимоги до технологічного процесу склеювання та експлуатації готових виробів. Назагал до клеїв та клейових виробів з деревини ставляться технологічні, експлуатаційні, економічні та екологічні вимоги. Тому, їх необхідно враховувати під час вибору клейових матеріалів для склеювання та технологічного процесу.

Щодо експлуатаційних вимог, які ставляться до клейових з'єднань, то вони мають забезпечувати належну міцність та довговічність під час експлуатації. Для забезпечення цих вимог необхідно, що клейові з'єднання при дії зовнішніх факторів під час експлуатації забезпечували клейовим з'єднанням належну міцність, водостійкість та теплостійкість. Окрім того важливою вимогою до клейових матеріалів та з'єднань на їх основі є їх екологічно безпечність. Тому, для формування клейових з'єднань з деревини з такими вимогами необхідно здійснювати певні теоретичні та практичні дослідження із вивчення міцності та довговічності клейових з'єднань з деревини.

При дослідженнях склеювання деревини та деревинних матеріалів, їх міцності та довговічності, є цілий ряд невирішених проблеми, які пов'язані із склеюванням деревини та впливу на них вологості та температури. Тому, актуальним є дослідження впливу вологи та температури на довговічність клейових деревинних конструкцій.

Мета роботи: дослідження впливу вологи та температури на довговічність клейових деревинних конструкцій.

Об'єкт дослідження: деревині клейові конструкції склеєних полівінілацетатними клеями.

Предмет дослідження: вплив вологи та температури на довговічність клейових деревинних конструкцій.

Задачі дослідження:

1. Здійснено аналіз клейових деревинних конструкцій, їх міцності та довговічності, вплив на них вологості і температури та інших природніх факторів. Проаналізовано характеристику і властивості деревини та клейових матеріалів.

2. Підібрати методику дослідження довговічності клейових з'єднань деревини. Описати підготовку матеріалів до проведення досліджень їх обробку та результати.

3. Теоретично дослідити вплив вологості та температури на довговічність клейових з'єднань з деревини склеєних полівінілацетатними клеями.

4. Провести експериментальні дослідження щодо впливу вологи та температури на зміну міцності клейових з'єднань з деревини у лабораторних умовах.

5. Здійснити опис впливу вологості та температури на довговічність клейових з'єднань з деревини клеями на основі полівінілацетату.

6. Зробити висновок з роботи.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ КЛЕЙОВИХ З'ЄДНАНЬ З ДЕРЕВИНИ

1.1. Загальні відомості про клеї та з'єднання на їх основі

Клейові з'єднання з деревини це сучасні конструкцій матеріали, які широко використовуються. Основним матеріалом, який відповідає за їх довговічність є клеї, або як ще їх називають адгезиви. Тобто клеї це композиції, які складаються із різних речовин, які здатні склеювати як однорідні так і різнорідні матеріали. Механізм формування клейових з'єднань може бути різним, починаючи від міжмолекулярної взаємодії і закінчуючи до хімічної.

Тобто клеї це речовини, які мають липкість до матеріалів різного походження. В залежності від походження їхньої основи, вони поділяються на природні і синтетичні. Природні клеї мають природню основу і використовуються рідко. Синтетичні клеї виготовляються на полімерній основі і широко застосовуються у деревообробному виробництві.

За походженням природні клеї класифікують на тваринного та рослинного походження. Вони виготовляються із білків рослин, хрящів, крові, молока, кісток риб виробництва, тощо. Синтетичні клеї класифікуються за видом затвердіння клейового шва, а саме за допомогою реакцій поліконденсації та полімеризації. Також є ще каучукові клеї. За кількості компонентів поділяються прості і комбіновані. На вигляд клеї класифікують на рідкі, плівкові та порошкоподібні. За температурою склеювання: холодного і гарячого. За водостійкістю на неводостійкі і неводостійкі.

Як бачимо синтетичні клеї класифікують для декількома ознаками, оскільки їх кількість є великою. Разом тим, не всі клеї які на сьогодні виготовляються, використовують для склеювання деревини та деревинних матеріалів. Частина цих клеїв використовується для склеювання інших матеріалів. Необхідно зауважити, що дві третіх клеїв, що виготовляються у світі використовують для склеювання деревини та деревинних матеріалів. Основна частина клеїв, що використовуються у виробництві для склеювання деревини поділяються на терморективні та термопластичні. Тобто їх класифікують за відношенням до температури.

До терморективних відносять клеї, які після твердіння формують сітчасту структуру. Тобто клейове з'єднання на їх основі володіє водо- волого-, морозо- і теплостійкістю. На рис.1.1. наведено схему класифікації клеїв [2].



Рис 1.1. Класифікація клеїв.

Терморективні клеї бувають однокомпонентними і багатокомпонентними. Однокомпонентні клеї мають обмежений термін зберігання. Багатокомпонентні клеї складаються із полімеру і затверджувача, які додаються один до одного перед використанням. Тому такі клеї мають довший термін експлуатації у порівнянні із однокомпонентними.

До термореактивних клеїв відносять: фенол-формальдегідні, карбамідо-формальдегідні, епоксидні, поліефірні клеї та інші. Склеювання цими клеями відбувається за рахунок утворення адгезивних зв'язків в результаті процесу затвердіння вихідного полімеру лінійної або розгалуженої будови. Твердіння може проходити на холоді, при кімнатній, середній, і високій температурах. Підвищення температури забезпечує вищу міцність і теплостійкість клейового шва внаслідок повного проходження реакції зшивання.

Переваги термореактивних клеїв із іншими клеями у тому, що вони володіють високою адгезією до деревини та деревинних матеріалів, формують міцні і теплостійкі клейові з'єднання.

Недоліками термореактивних клеїв є їх токсичність і клейового з'єднання на їх основі під час експлуатації та крихкість клейового шва, яка є небезпечною, оскільки при дії знакозмінних температуро-вологісних навантажень призводить до формування внутрішніх напружень. Як відомо внутрішні напруження є небезпечним явищем для клейових конструкцій, оскільки впливають на довговічність клейової конструкції. Термореактивні клеї та з'єднання на їх основі використовують у несучих конструкціях, які піддаються фізичному навантаженню.

Термопластичні клеї, можуть формувати лінійну або рідкосітчасту структуру клейового шва. Така будова шва надає клейовому з'єднанню еластичності. Разом з тим, таке клейове з'єднання не є водостійким та теплостійким в порівнянні із термореактивними клеями. Перевагою таких клеїв та з'єднань на їх основі є екологічність.

Термопластичні клеї поділяються на водорозчинні і вододисперсійні. Водорозчинні клеї це клеї, які складаються із полівінілового спирту та полівінілацетату.

Клеї на основі термопластичних полімерів, за рахунок високої молекулярної маси мають підвищену в'язкість. Полімери із високою молекулярною в'язкістю можуть утворювати водневі зв'язки як під час формування клейового шва так і в період експлуатації. Функціональні групи

водорозчинного полімеру уповільнюють видалення води із клейового шва, що призводить до пластифікації клею і релаксації напружень.

Окрім водорозчинних полівінілацетатні клеї є і спирторозчинні. Дані клеї мають стабільну в'язкість та можливість скоротити тривалість технологічної витримки. Дані клеї широко використовуються при виготовленні тари, в поліграфічному виробництві тощо. Ці клеї формують високу адгезійну міцність та дещо підвищують теплостійкість клеєних з'єднань. Недоліком клейових з'єднань на основі полівінілового спирту є низька водостійкість.

Найбільш поширеними клеями для склеювання деревини на сьогоднішній день є полівінілацетатні клеї на основі дисперсії. Полівінілацетатні клеї мають високу адгезією до деревини, здатність релаксувати внутрішні, стабільність зберігання, нейтральність, є не токсичними, тощо. Формують безколірний шов, тощо. [6].

До недоліків даних клеїв відносять низьку теплостійкість, та повзучість клейового шва.

Формування клейового з'єднання відбувається за рахунок випаровування розчинника із клею. Це приводить до формування монолітного клейового шва. Швидкість твердіння клею буде залежати від кількості пластифікатора у його складі. Якщо клей без пластифікатора то глобули полівінілацетату, за кімнатної температурі будуть переходити у крихку непрозору масу. Якщо додати пластифікатора до такого клею, то глобули м'якнуть, стають клейкими і зливаються в еластичну плівку.

Склеювання полівінілацетатними клеями, в основному, проводять за температури $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ і вище. За нижчих температур при склеюванні необхідно додавати незначну кількість ізопропилового спирту або етилацетату. Мінімальна температура плівкоутворення полівінілацетатного клею зумовлюється водневим показником, який складає 4,5...6.

Полівінілацетатні клеї виготовляють 23 марок, а саме непластифіковані і пластифіковані і різної в'язкості. Всі вони добре перемішуються з водою і розчиняються у спиртовій суміші.

Для виготовлення клеїв у деревообробній промисловості найчастіше застосовують вітчизняні полівінілацетатні клеї із густиною 1020...1030 кг/м³ і значенням рН=4,5...6. Марки полівінілацетатних клеїв Д50Н, Д50С, Д50В та інші. Імпортні клеї Клебхемі, Хенкель Дорус, Акзо Нобел, Йоват [11].

1.2. Вимоги до деревини при формуванні клейового з'єднання

Деревина на яку наноситься клей є своєрідним матеріалом, який має судини, клітини, пори та інші механічні пошкодження, які вступають у контакт з клеєм. Важливе значення має порода деревини, оскільки характеризується будовою і хімічним складом. Це також буде впливати на міцність. Окрім того важливу роль відіграє густина деревини, рання та пізня зони, вологість, тощо. Тому, для формування якісного клейового з'єднання деревини необхідно враховувати основні характеристики деревини, оскільки деревина може мати різні властивості, навіть у одній породі властивості не завжди є однорідними. Такі характеристики деревини, як основного конструкційного матеріалу при виготовленні деревинних конструкцій, ускладнює технологічний процес склеювання, та має певну специфіку, оскільки це все необхідно враховувати при підборі клейових матеріалів. Тому до клеїв, якими буде склеюватися деревина ставляться певні вимоги.

Основні вимоги, які ставляться до клеїв, що використовуються для склеювання деревини проаналізовано у розділі 1.1. у даному розділі більш детально проаналізуємо деревину, як основний конструкційний матеріал, з якого формують клейові деревинні конструкції.

Якщо розглядати деревину як природний матеріал, то вона має пористу структуру, є гігроскопічною та анізотропною, яка може змінювати вологість та геометричні розміри під час склеювання та експлуатації. Це якраз і є основним недоліком деревини, в порівнянні із іншими конструкційними матеріалами, які піддаються склеюванню. Для кращого розуміння технологічного процесу формування клейових з'єднань деревини необхідно, на мою думку, проаналізувати властивості деревини. Для цього згідно до літературними

джерелами [1] на рис. 1.2 наведено властивості, якими володіє деревина, і зробимо їх аналіз, з точки зору матеріалу, який піддається склеюванню.

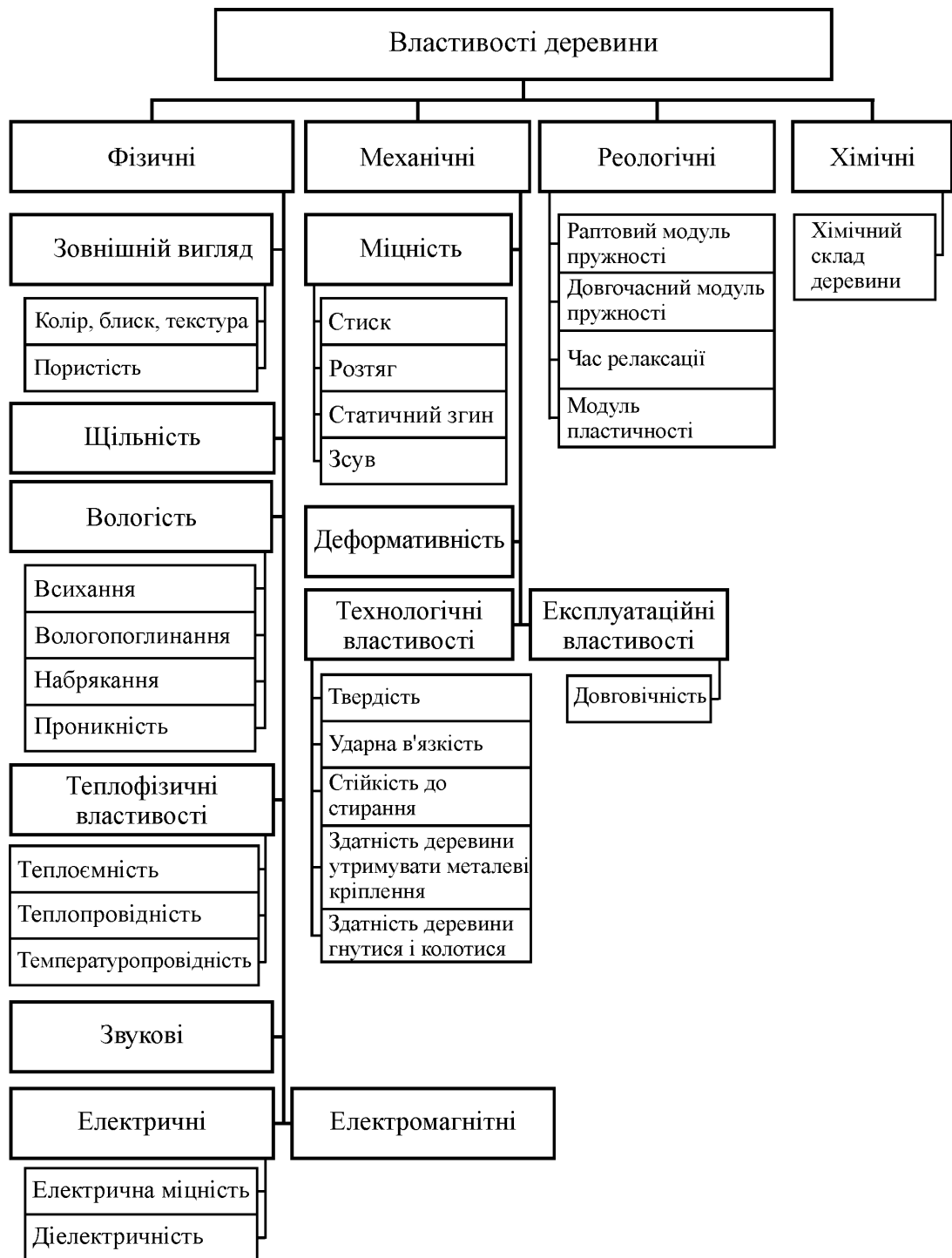


Рис. 1.2. Властивості деревини

Як видно із рис.1.2. властивості деревини можна поділити на чотири групи, а саме фізичні, механічні, реологічні та хімічні. Найбільшу кількість властивостей, якими володіє деревина це фізичні. Частина з цих властивостей має значний вплив на формування адгезійної міцності клейових з'єднань

деревини. Це підтверджено нашими аналізом літературних джерел щодо міцності клейових з'єднань деревини. Окрім того вплив на формування міцності клейових з'єднань матимуть і інші властивості деревини.

Щодо впливу фізичних властивостей деревини на формування адгезійної і когезійної міцності клейових з'єднань, то найбільший вплив на формування адгезійної міцності матиме пористість, щільність, вологість, а під час експлуатації водопоглинання, розбухання та всихання.

Для забезпечення належної міцності клейових з'єднань деревини необхідно дотримуватися певних режимних параметрів технологічного процесу склеювання, виходячи з фізичних властивостей деревини. Щодо технологічного процесу склеювання деревинних, то він включає такі операції: підготовлення деревини до склеювання, підготовлення клею, нанесення клею, склеювання.

Щодо підготовки деревини, то заготовки повинні відповідати певній вологості, чистоті обробки поверхонь, тощо. Важливе значення при склеюванні деревини має її вологість. Вона повинна бути в межах 6-15%, в залежності від умов експлуатації виробів. Підвищена вологість деревини перед склеюванням знижує міцність з'єднання.

Поверхня деревини повинна мати певну нерівність для того, щоб склеєні поверхні щільно прилягали одна до одної. Це забезпечує рівномірний розподіл клею по поверхні, і тим самим отримати рівномірний клейовий шар заданої товщини. Шорсткість заготовок перед склеюванням повинна бути в межах від 32 до 100 мкм. Окрім того, заготовки перед склеюванням не повинні мати жолоблення, або інші деформації та нерівності та дефектні поверхні. При склеюванні деформованих заготовок необхідно технологічний процес забезпечити підвищеним питомим тиском пресування, що у свою чергу призводить до появи різного роду напружень і тим самим може призвести до зменшення міцності клейового з'єднання.

Поверхня, перед склеюванням повинна бути очищена від пилу та інших забруднень, оскільки неочищена поверхня не дозволяє отримати якісне клейове з'єднання деревини.

Необхідно відзначити, що конструкції, які отримуються після склеювання можуть мати різну форму, то це також необхідно врахувати при склеюванні, оскільки напруження, які виникають по товщині клейового шва будуть розподілятися нерівномірно. Найбільші напруження будуть виникати на межі клейовий шар і деревина. У середині клейового шару конструкції напруження будуть зменшуватися. Щодо склеювання деревини клеями на основі полівінілацетату, то вони можуть проводитися холодним, теплими або гарячим методами.

Більш небезпечним процесом склеювання є гарячий, оскільки при цьому процесі склеювання у клейовому з'єднанні утворюється температурні напруження.

Загалом, необхідно відзначити, що при склеюванні деревини необхідно враховувати властивості деревини, підготовку її поверхні до склеювання та стан поверхні деревини, оскільки це має велике значення для отримання якісного клейового з'єднання.

1.3. Міцність клейових з'єднань деревини та її вплив на довговічність

Серед основних вимог, які ставляться до клейових з'єднань деревини є їх термін експлуатації. Міцність клейового з'єднання, яка отримана після завершення його формування, не може зберігатися такою під час експлуатації, оскільки на клейову конструкцію будуть діяти певні фактори, такі як температурно вологісні, фізичні навантаження, тощо. Тому, вивчення зміни міцності клейових з'єднань деревини під час експлуатації необхідно знати, оскільки початкова міцність не може забезпечуватися на протязі тривалого часу експлуатації виробу.

Тому важливе значення на етапі формування клейового з'єднання має початкова міцність. Вона буде залежить від багатьох факторів і в першу чергу від вибору і дотримання технологічних параметрів режиму склеювання, підготовки деревини, тощо (див. розд. 1.2.). Окрім того необхідно враховувати і властивостей клею, умови експлуатації, тощо.

Щодо умов експлуатації то на склеєні вироби впливають такі фактори як температура, вода, волога, сонячного проміння тощо. Важливе значення для клейового з'єднання має правильно здійснити технологічний процес склеювання, оскільки від початкової міцності клейового з'єднання буде залежати її зміна під час експлуатації. Тому на першому етапі необхідно забезпечити максимально можливу міцність склеювання.

Необхідно не допустити, при склеюванні дефектів клейового шва. Серед найбільш поширених дефектів клейових з'єднань є ділянок, які непроклеєні. Вони призводять до виникнення внутрішніх напружень на великих ділянках і є найбільш небезпечними для клейового з'єднання. Під час експлуатації з'єднання напруження, такі напруження розвиватись досить швидко, що негативно впливає на міцність клейових з'єднань.

Наступним важливим фактором, який призводить до зменшення міцності клейового з'єднання є підвищена температура, оскільки при нагріванні міцність клею і деревини змінюються з неоднаковою швидкістю. Міцність деревини зменшується лінійно із підвищенням температури. Разом з тим, така поведінка міцності буде залежати і від породи деревини. Для листяних порід вона бути зменшуватися повільніше ніж для хвойних.

Для клею зміна міцності за підвищених температур в першу чергу буде залежати від структури полімеру, з якого виготовлений клей. Для прикладу, термопластичні клеї за дії підвищеної температури стають м'яким і плавляться. У полівінілацетатних клеях за температури 60–70°C, відбувається зменшення міцності через його текучість. Дія понижених температур для полівінілацетатних клейових з'єднань деревини не є такою небезпечною, оскільки полівінілацетат, як основа даних клеїв є стійким до понижених температур. Тому, для клейових з'єднань деревини більш негативний вплив мають коливання температури, та їх частота.

Необхідно відзначити, що знакозмінна дії температур на клейове з'єднання призводить до термічних напружень. Дані напруження є надзвичайно небезпечними для клейових з'єднань деревини, незважаючи на основу клейової

композиції, оскільки вони виникають через різницею коефіцієнтів термічного розширення деревини і клею. Критичні значення таких напружень призводять до різного роду дефектів у клейовому з'єднанні, тим самим і зменшення міцності.

Другим важливим фактором, який впливає на довговічність клейових з'єднань деревини є вологість. Тривала дія води на клейові з'єднання з деревини призводить до руйнування, оскільки деревина це анізотропний та гігроскопічний матеріал. Вади у деревині можуть пришвидшити процес руйнування клейових з'єднань, оскільки вода, яка поникла у деревину там залишається та руйнує його з середини. Це призводить до більш суттєво послаблює міцність не тільки клейового з'єднання а і деревини.

Висока вологість повітря також є небезпечним фактором впливу, оскільки тривала її дія призводить розвиває у клейовому з'єднанні вологісні напруження. Відбувається це тому, що деревина при сорбції вологи із навколишнього середовища збільшує лінійні розміри. Відомо, що деревина вологістю до 30% при сорбції і десорбції води змінює лінійні розміри за шириною та товщиною. А це небезпечно, оскільки виникають напруження. Те саме відбувається і при зменшені вологості навколишнього середовища. Тобто, відбуваються процеси всихання або розбухання деревини. Коливання вологи навколишнього середовища призводить до зміни лінійних коефіцієнтів розширення деревини і клею. А це призводить до виникнення концентрації напружень і зменшення його міцності клейового з'єднання.

Наступним фактором, який має негативний вплив на довговічність клейових з'єднань є старіння самого клейового шва. Швидкість старіння клейового шва буде залежати від складу клейової композиції та кількості в ній пластифікуючих речовин.

Наступним важливим фактором впливу є руйнування клейового з'єднання за дії сонця. Тривала дія сонця, за допомогою ультрафіолетового опромінення призводить до зменшення пластичності клейового шва та

підвищення його крихкості. Така дія сонячного опромінення також призводить до зменшення міцності і руйнування з'єднання.

Підсумовуючи можна відзначити, що в процесі експлуатації клейових з'єднань з деревини є різні фактор, що впливають міцність клейового з'єднання деревини. Як зазначалось вище важливе значення на довговічність клейових з'єднань деревини має початкова його міцність, яка забезпечується певними параметрами технологічного процесу та умовами експлуатації. Зменшення міцності клейових з'єднань деревини призводить до зменшення довговічності виробу.

Тому дослідження та вивчення зовнішніх факторів впливу на клейове з'єднання деревини є важливо оскільки від цього буде залежати довговічність клейових деревинних конструкцій.

1.4. Висновки по розділу і завдання роботи

Виходячи із аналізу клейових деревинних конструкцій, їх міцності та довговічності як під час формування та експлуатації можна зробити висновки:

1. На сьогоднішній день для з'єднання деревини використовується велика кількість клеїв, які мають різні характеристики та надають клейових з'єднанням з деревини різні експлуатаційні властивості. За рахунок того, що є велика кількість клеїв, які мають різне походження, властивості, склад, характеристики, тощо, їх класифікують за певними ознаками, яких на сьогоднішній день велика кількість. Їх враховують при виборі клеїв для склеювання деревини. Найбільш вживаною класифікацією клеї є їх поділ на термопластичні та терморективні. Саме така класифікація характеризує клеї щодо визначення довговічності з'єднань на їх основі. Разом з тим, важливе значення на сьогоднішній день має залежність міцності від зміни пружно деформаційних процесів у клейовому з'єднанні деревини та екологічність клейового шва. Тому перспективними клейовими матеріалами для склеювання деревини є клеї із меншою токсичністю клейового шва.

2. Довговічність клейових з'єднань буде залежати від деревини, яка піддається склеюванню, а більш конкретно від її властивостей, способу підготовки її поверхні до склеювання, вологості, режимних параметрів технологічного процес склеювання. Тому, для отримання довговічних клейових з'єднань із деревини необхідно дотримуватись певних вимог, як під час склеювання деревини, так і під час експлуатації клейових з'єднань на їх основі.

3. Виходячи із сучасних вимог, які ставляться до клеїв та з'єднань на їх основі, важливим є використання клеїв, які є екологічно безпечними для навколишнього середовища та формують еластичні клейові з'єднання на їх основі. Це може забезпечити належний пружно деформаційний стан клейовому з'єднанню, що тим самим підвищить довговічність клейовій конструкції

4. Для забезпечення довговічності клейовим деревинним конструкціям необхідно враховувати умови її експлуатації. Тому в залежності від умов експлуатації та місця експлуатація клейових деревинних конструкцій необхідно підбирати клейові матеріали для склеювання, які можуть задовольнити умови експлуатації готових виробів. Найбільш перспективними клейовими матеріалами для склеювання деревини є полівінілацетатні клеї.

Виходячи із зробленого аналізу літературних джерел, загальних висновків, та враховуючи тему моєї магістерської роботи можна поставити мету та задачі дослідження.

Метою моєї магістерської роботи є дослідження впливу вологи та температури на довговічність клейових деревинних конструкцій.

Об'єктом дослідження є деревині клейові конструкції склеєних полівінілацетатними клеями.

Предметом дослідження є вплив вологи та температури на довговічність клейових деревинних конструкцій.

Завдання роботи є:

1. Здійснити аналіз довговічності клейових з'єднань з деревини та на його основі поставити мету та завдання дослідження.
2. Провести експериментальні дослідження з визначення довговічності клейових з'єднань з деревини та здійснити їх аналіз.
3. Підібрати методику для проведення експериментальних досліджень з визначення довговічності клейових з'єднань з деревини.
4. Теоретично обґрунтувати вплив вологи та температури на довговічність клейових з'єднань з деревини.
5. Здійснити аналіз отриманих результатів досліджень.
6. Зробити загальні висновки з магістерської роботи

РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Методика пришвидшених досліджень

Для дослідження довговічності клейових з'єднань деревини існують дві методики, а саме природні та лабораторні. У своїй магістерській роботі я використав лабораторні експериментальні дослідження, оскільки тривалі дослідження вимагають багато часу на їх проведення, а час на такі дослідження за період написання магістерської роботи цього не дозволяв. Тому проаналізуємо, методику лабораторних методів дослідження довговічності клейових з'єднань деревини. Для даної методики необхідно вибрати стандарт, згідно якого будуть проводитись дослідження, матеріали, які будуть піддаватися дослідженням та прилади та пристосування для їх проведення. Разом з тим, всі експериментальні дослідження можна поділити на дві групи, а саме дослідження на механічні навантаження та дослідження на впливу природних факторів.

У своїй роботі я використав метод щодо дослідження впливу природних факторів, а саме щодо стійкості клейових з'єднань до впливу води та температур. Необхідно відзначити, що даний метод має як недоліки так і переваги. До переваг відносять те, що дані дослідження не вимагають багато часу на їх проведення. А до недоліку даного методу відносять однобічність отриманих результатів. Разом з тим саме за допомогою однобічності отриманого результату можна більш детально вивчити вплив на клейове з'єднання окремих факторів.

Для проведення пришвидшених досліджень використовували стандарт України, який базується на основі закордонних стандартів, а саме ДСТУ EN 204 та ДСТУ EN 205. Дані стандарти призначені для визначення впливу вологості та температури на довговічність полівінілацетатних клейових з'єднань деревини. Згідно даних стандартів термопластичні полівінілацетатні клейові композиції поділяються на чотири групи довговічності, а саме D1, D2, D3 та D4. Дана класифікація вказує на ступінь довговічності клейових деревинних конструкцій.

В табл. 3.1. наведено класифікація ступеня довговічності полівінілацетатних клейових з'єднань деревини залежно від дії вологи та температури.

Таблиця 3.1.

Ступінь довговічності

№ п/п	Умови	Міцність, Н/мм ²			
		D1	D2	D3	D4
1	7 днів в нормальних умовах	≥10	≥10	≥10	≥10
2	7 днів в нормальних умовах 3 год в воді при температурі 20±5°C 7 днів в нормальних умовах	—	—	—	—
3	7 днів в нормальних умовах 4 дня в воді при температурі 20±5°C 7 днів в нормальних умовах	—	—	≥2	≥4
4	7 днів в нормальних умовах 4 дня в воді при температурі 20±5°C 7 днів в нормальних умовах	—	—	≥8	—
5	7 днів в нормальних умовах 6 годин в киплячій воді 2 год в воді при температурі 20±5°C	—	—	—	≥4

Згідно даних стандартів полівінілацетатні клейові з'єднання піддаються впливу вологості і температури на довговічність клейових з'єднань деревини. Тобто клейові з'єднання, після певних циклів обробки повинні зберігати залишкову міцність, щоб забезпечити певну ступінь довговічності. Оскільки для клейових з'єднань деревини, які ми досліджуємо, міцність після циклічних випробувань повинна бути забезпечена на рівні довговічності D4, то для наших досліджень ми відповідно виберемо певний цикл випробувань згідно даних наведених .

Тривалість таких випробувань відповідатиме затраті часу на їх проведення відповідно до стандарту і становила вісімнадцять діб. Всі необхідні параметри для деревини і клею повинні відповідати також стандарту і будуть описані нижче.

Зразки виготовляли згідно стандарту ДСТУ EN 205, а їх руйнування здійснювали на розтяг вздовж волокон. Випробування на розтяг вздовж волокон проводили для визначення границі міцності клеєного з'єднання. Зразок руйнували із швидкістю $0,60 \pm 0,15$ мм/хв. на випробувальній машині. Навантаження випробувальної машина продовжували до тих пір поки зразок не зруйнувався. Руйнуюче навантаження визначали з похибкою 50 Н (5 кгс).

Граничне навантаження для визначення міцності при сколюванні вздовж волокон визначають згідно для деревини, шляхом її розтягу вздовж волокон і позначали τ . Визначали міцність таких клейових з'єднань в МПа (кгс/см²) з точністю 0,1 МПа (1 кгс/см²).

Формула для визначення граничної міцності:

$$\tau = \frac{P}{b \cdot l}, \quad (3.1)$$

де: P – навантаження, Н (кгс);

b – ширина зразка, м (см);

l – довжина зразка, м (см).

Площу зразка визначали з похибкою 0,1 мм.

Фіксували характер руйнування клейових з'єднань.

2.2. Вибір та підготовка клею

Правильний підбір клею для формування клейового з'єднання з деревини є надзвичайно важливо, оскільки від цього буде залежати довговічність клейового з'єднання і виробів на його основі. Тому виходячи із мети і завдання моєї магістерської роботи клейове з'єднання повинно відповідати сучасним вимогам до нього. А саме клейове з'єднання повинно бути міцним, забезпечувати належну водостійкість та теплостійкість під час експлуатації, та бути екологічно безпечним. Тому для вивчення довговічності я вибрав термопластичний полівінілацетатний клей із ступенем довговічності D4 німецької фірми Йоваколь. Клей є двокомпонентний і відповідає вимогам, марки Jowacoll 102.20 із затверджувачем 195.30. Після вибору клею необхідно ознайомитись із інструкцією. Щодо його приготування до використання. Щодо

приготування даного клею, то для цього зоб'язано можна використовувати для склеювання необхідно змішати у певній пропорції сам клей і затверджувач для нього кількість затверджувача для полівінілацетатної дисперсії становила 5 % від маси клею. Після додавання затверджувача суміш ретельно перемішували до отримання однорідної маси. Тривалість такої суміші для використання не повинна перевищувати п'ять днів. Після перемішування контролювали умовну в'язкість клею за допомогою віскозиметра. Робоча в'язкість такого клею для нанесення за допомогою пензля повинна становити вісімдесят секунд.

Клей на зразки наносили за допомогою пензля. У виробничих умовах клей можна наносити і іншими методами, такими як розпилюванням, вальцями. Але при нанесенні клею іншими методами необхідно враховувати його в'язкість, і контролювати.

Після підготовки клею здійснювали його нанесення на заготовки. Тут основне проконтролювати витрату клею. Згідно характеристики клею його витрата може становити від 120 до 220 г/м² залежно від породи деревини, поверхні деревини та інших факторів. Клей наносили на один бік деталі кожної деталі.

Клею Йоваколь 102.20 із затверджувачем 195.30. відповідно до його характеристики має: умовна в'язкість 80 сек., сухий залишок – 51%, температура склеювання 20 °С та інші.

Після нанесення клею здійснювали технологічний процес склеювання

2.3. Підбір деревини та підготовка зразків

Підбір деревини для проведення пришвидшених експериментальних досліджень здійснювали виходячи із практичних міркувань потреб, у склеювальні деревині та існуючих проблем із склеєною деревиною. Тому для склеювання обрали деревину породи сосна.

Підготовка зразків із даної породи деревини здійснювали у декілька етапів. Механічна обробка деревини з метою отримання необхідних розмірів та форми зразків, забезпечення зразкам необхідної вологості. Підготовка зразків за

допомогою механічної обробки найбільш важкий етап, оскільки для цього необхідно задіяти багато технологічного деревообробного обладнання. Окрім того необхідно мати дозвіл для роботи за тим чи іншим типом обладнанням.

Розміри зразків: довжина L , від 350 до 550 мм. Ширина зразка B 20мм із відхиленням ± 0.5 мм. Товщина зразка H 5 мм. Схема зразка наведена на рис. 2.1.

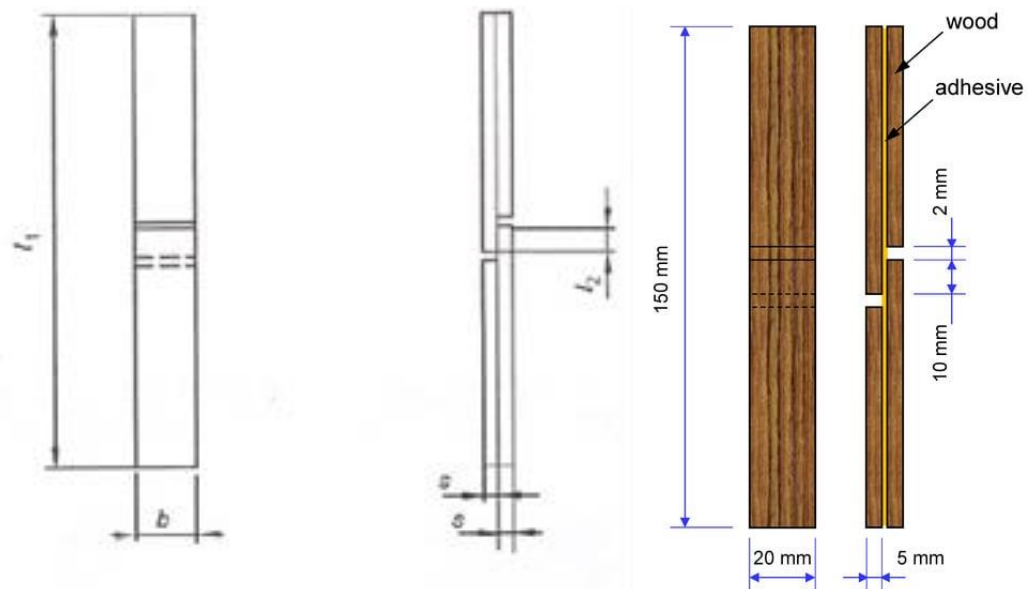


Рис. 2.1. Схема зразків

Деревину вибирали без видимих вад. Таких як тріщини, сучки, гниль тощо. Для визначення вологи деревини використовували вологомір, який наведено на рис. 2.2.



Рис. 2.2. Вологомір.

Наступним етапом було формування довжини заготовок. Відповідно до стандарту для листяних порід деревини в зразках не допускаються такі вади деревини, як: сучки, тріщини, серцевина, прорість, гнилизна. Всі ці вади впливають на довговічність клейових з'єднань. Тому, це необхідно врахувати при виготовленні зразків.

2.4. Формування клейових зразків та обладнання для проведення досліджень

Підготовлені зразки з деревини та клей піддавали склеюванню. Даний технологічний процес проводився у гідравлічному пресі. Технологічні режимні параметри склеювання вибирали у відповідності до характеристики клею. Після склеювання зразки витримували у кімнатних умовах для завершення формування клейового шва. Після цього заготовки розкраюються на зразки, згідно рис. 2.1.

Міцність клейового з'єднання, визначали за допомогою розривної машини машину з максимальним зусиллям до 50000Н (похибка 1%). Готові зразки піддавали дослідженню довговічності клейового з'єднання згідно методики, а саме, використовували обладнання для визначення зміни міцності клейових з'єднань.

Перед випробуваннями всі зразки нумерували та заміряли, а результати записували у відповідний журнал спостереження.

Циклічні температурно-вологісні випробування проводили у лабораторних умовах з використанням такого обладнання, як посудина для замочування зразків, термошафа з регулятором температури, стелажі, та посудина з нержавіючої сталі для кип'ятіння зразків.

Після проведення циклічних температурно-вологісних випробувань зразки руйнували шляхом розтягу вздовж волокон. Для руйнування використовували випробувальна машина марки ПММ–125. Для закріплення взірців в випробувальній машині використовувалось спеціальне пристосування,

що забезпечувало надійну фіксацію з'єднань під час випробування. Результати випробувань заносили у журнал спостереження.

На рис.2.3 наведено розривну машину для визначення міцності клейових з'єднань деревини.



Рис 2.3. Розривна машина

РОЗДІЛ 3 ТЕОРИТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ

3.1. Загальні основи довговічності клейових з'єднань деревини

Довговічність клейових з'єднань деревини залежатиме від зміни пружно деформаційного стану клейового з'єднання під час експлуатації у змінних температурно вологісних умовах. Зміна пружно деформаційного стану буде залежати від багатьох факторів, серед яких важливими є вологість і температура. Особливо дані фактори мають вплив на термопластичні полівінілацетатні клейові з'єднання деревини. Разом з тим, вода та волога по різному буде впливати на довговічність таких клейових з'єднань. А саме волога за нетривалої її дії на полівінілацетатні клейові з'єднання може призводити до підвищення адгезійної міцності, про що не можна сказати для термореактивних клейових з'єднань. Це пояснюється можливістю формувати водневі зв'язки як між складовими компонентами деревини, клейової композиції та деревини та клейової композиції. Для прикладу на рис. 3.1. наведено механізм формування водневих зв'язків між компонентами деревини.

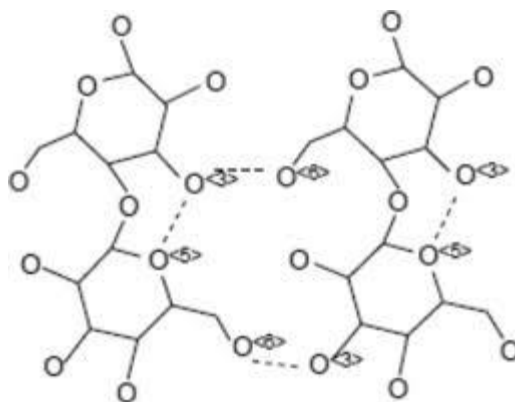


Рис. 3.1. Схема водневих зв'язків для целюлози

Як видно з рис. 3.1. формування адгезійної міцності можлива для целюлози деревини в присутності води. Оскільки целюлоза це один з основних складових компонентів для всіх порід деревини, то полівінілацетатні клеї можуть формувати міцність між целюлозою деревини та полівініловим спиртом та полівінілацетатом клею, чого не можна спостерігати для термореактивних клейових з'єднань деревини.

Для прикладу механізм формування клейових з'єднань на рис. 3.2. наведено можливість формування хімічних зв'язків між іншими компонентами клейової композиції.

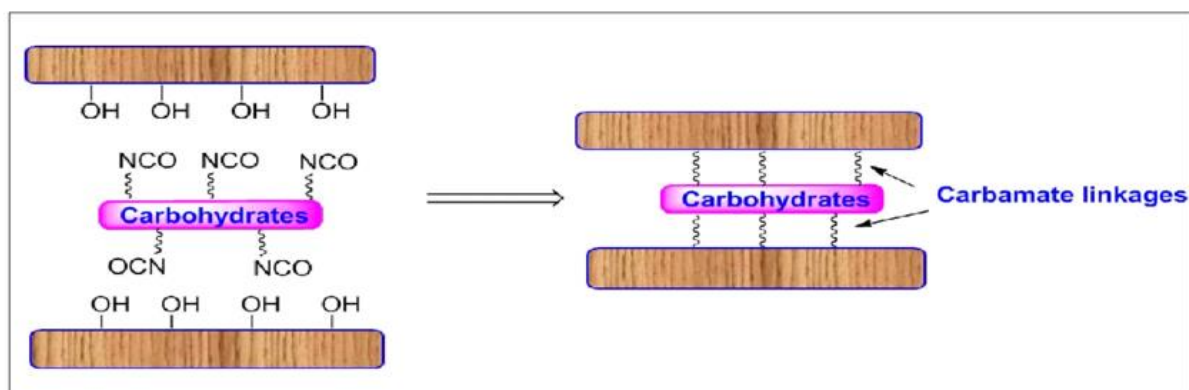


Рис 3.2. Можливість формування у клейових з'єднаннях деревини хімічних зв'язків між різними групами.

Формування адгезійної і адгезійної міцності у клейових з'єднаннях деревини може відбуватися між різними функціональними групами та молекулами як деревини так і клеїв. На рис. 3.3. наведено можливість утворення водневих зв'язків між компонентами клейової композиції.

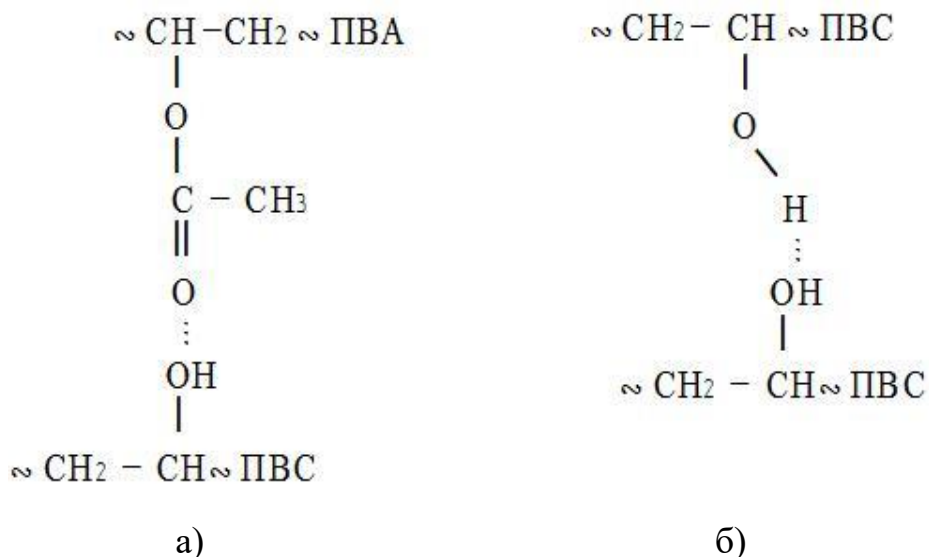


Рис. 3.3. Формування водневих зв'язків між клейової композиції

Це важливо для пояснення механізму формування клейових з'єднань деревини, і ще більш важливо для дослідження довговічності клейових

деревинних конструкцій, оскільки під час їх експлуатації важливо мати теоретичні передбачення поведінки клейового з'єднання деревини під час дії на нього природніх факторів. Особливо це важливо при тривалій дії вологи та температури. Інші фактори, які діють на клейове з'єднання під час експлуатації є також важливими, але вони не настільки можуть змінити пружно деформаційні процеси у клейовій конструкції. Це пояснюється властивостями деревини, як основного конструкційного матеріалу, а саме її гігроскопічністю та анізотропією. Саме волога та температура при тривалій її дії або при частковій її зміні має найбільш небезпечний вплив на клейове з'єднання. У природньому середовищі це пори року. У літній період клейові конструкції піддаються дії високих температур та низькій вологості навколишнього середовища, а у зимовий період навпаки, пониженим температурам, навіть і мінусовим, а та високою вологістю навколишнього середовища. Така зміна вологи і температури має негативний вплив як на термореактивні так і термопластичні клейові з'єднання деревини.

Така зміна кліматичних умов матиме негативний вплив і на деревину, як основний конструкційний матеріал. Оскільки деревина під час змінній температурі і вологості навколишнього середовища має властивість до розбухання або всихання, що супроводжується нестабільними пружно деформаційними процесами, які мають негативний вплив на клейовий шов. Як зазначалося у першому розділі термореактивні і термопластичні клейові з'єднання деревини по різному будуть реагувати на такі процеси. Термореактивні клейові з'єднання деревини є більш стабільними до дії вологи та температури, але клейовий шов не є еластичним. Тому, зміна лінійних розмірів деревини призводить до виникнення значних внутрішніх напружень між деревиною та клейовим швом. Враховуючи, що клейовий шов у термореактивних клейових з'єднаннях деревини є крихким, то деформації, які будуть виникати між таким клейовим швом та деревиною призводять до їх руйнування.

Щодо термопластичних клейових з'єднань деревини то сформований клейовий шар є еластичним, за рахунок полівінілацетату, який формує із деревиною рідкісчасту структуру клейового шва, яка дозволяє компенсувати напруження, які виникають між деревиною при її розбуханні або всиханні і клейовим швом. Саме така структура деревини і призводить до компенсації напружень.

Теоретично можна передбачити, що еластичний клейовий шар у клейовому з'єднанні деревини має позитивний вплив на експлуатаційні характеристики клейових з'єднань деревини, в порівнянні із термореактивними клейовими з'єднаннями, які є вважаються водо і вологостійкими. Тому використання термопластичних клейових з'єднань деревини для клейових конструкцій, які експлуатуються у природніх умова і не несуть фізичних навантажень є більш перспективним, ніж деревинних конструкцій на термореактивних клейових з'єднаннях. Це необхідно враховувати при їх виготовлені. На рис. 3.4. наведено діаграму розтягу клейової полівінілацетатної плівки після певних циклів випробувань

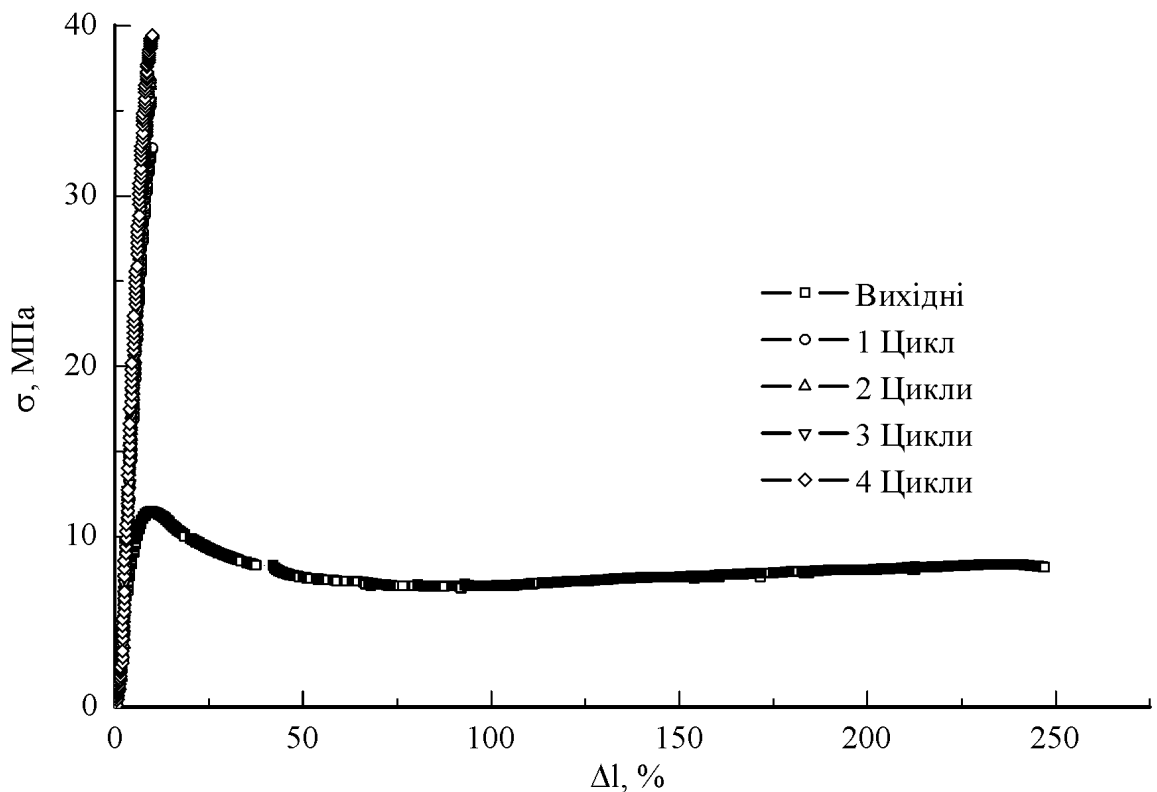


Рис. 3.4. Розтягування зразків термопластичної клейової плівки

Така поведінка клейових з'єднань деревини буде впливати і на механізм руйнування клейового з'єднання. Це можна наглядно пояснити характером руйнування клейових з'єднань з деревини.

3.2. Пружно-деформаційних процесів у полівінілацетатних клейових з'єднаннях деревини та їх вплив на довговічність

Пружно-деформаційні процеси у клейових з'єднаннях деревини мають важливе значення для довговічності клейових з'єднань. Як зазначалось у розд. 3.1. формування адгезійної міцності у полівінілацетатних клейових з'єднаннях деревини мають відмінності від механізму формування клейових з'єднань для терморективних клеїв. Це в певній мірі є позитивом, який полягає у формуванні рідкофазної структури клейового шва. Розглянемо більш детально, як рідкофазна структура клейового шва впливає на пружно-деформаційні процеси під час експлуатації клейових з'єднань.

Необхідно зазначити, що при формуванні клейових з'єднань великий відсоток припадає на механічні зчеплення клею із деревиною через макронерівності та мікронерівності, які є у деревині, як пористому матеріалі. Це відомо і на рис 3.5. наведено вигляд формування механічного зчеплення між деревиною та клеєм.

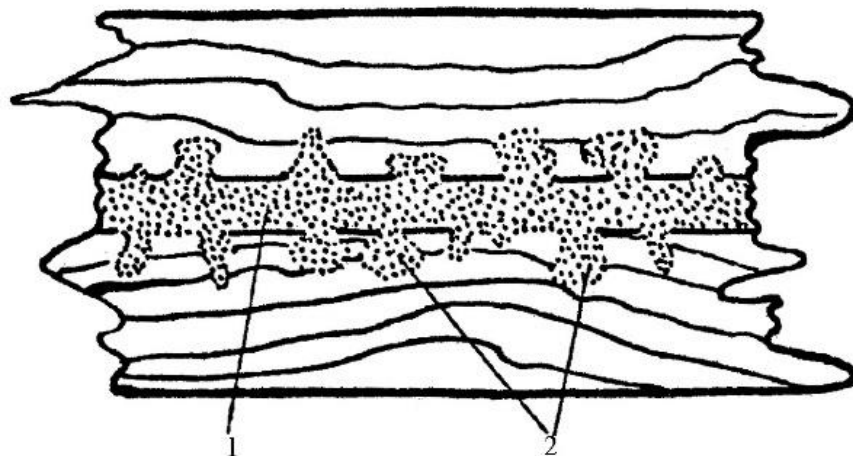


Рис. 3.5. Схематичне зображення формування клейового з'єднання деревини, шляхом заповнення пор клеєм

1 – клейовий шов; 2 – клей у порах.

Як видно з рис. 3.5. полівінілацетатний клей добре заповнює пори деревини і тим самим формує адгезійну міцність. Таке заповнення нерівностей деревини відбувається через хороші характеристики полівінілацетатної клейової композиції.

Окрім того, механізм формування адгезійної міцності відбувається за допомогою того, що дисперсійні частинки клею на основі ПВА легко мігрують на поверхні деревини, тим самим формуючи міцність клейового з'єднання.

Відомо три стадії формування адгезійної міцності у полівінілацетатних клейових з'єднаннях деревини, а саме: формування деревини з дисперсійним середовищем та фазою; видалення дисперсійного середовища внаслідок великої молекулярної рухомості полімеру; формування адгезійної міцності.

Окрім механічного формування міцності полівінілацетатних клейових з'єднань з деревини відбувається міжмолекулярна взаємодія, взаємодія за рахунок ковалентних зв'язків та хімічної взаємодії. Тобто, перераховані взаємодії вказують на формування еластичного клейового шва.

Необхідно зазначити, що полівінілацетатні клейові з'єднання деревини при формуванні клейового шва можуть формувати водневі зв'язки, які підвищують міцність клейового з'єднання.

Такий механізм формування клейових з'єднань деревини на основі полівінілацетатних клеїв є важливим для пружно деформаційного стану клейового з'єднання.

Тепер розглянемо вплив температури та вологості на зміну пружно деформаційного стану у полівінілацетатних клейових з'єднаннях деревини. Підвищена температура призводить до реакцій деструкції чи структурування макромолекул у клейовому шві. Для таких з'єднань більш небезпечними є деструкція, яка виникає при дії температури, оскільки вона веде до розриву ланцюгів макромолекул. Дана деструкція проходить за присутності кисню. Оскільки деревина пористий матеріал, то кисень легко може попадати у структуру клейового шва. Окрім того кисень активно може попадати у клей в момент приготування клею, його нанесення, склеювання, тощо.

Щодо вологості, то вона у клейовому шві призводить до гідролізу або до гідролітичного руйнування деревини і клею. Тому, експлуатаційні фактори призводять до появи в клейовому з'єднанні внутрішніх напружень, які в свою чергу з часом призводять до зміни пружно-деформаційних властивостей клейового з'єднання та його руйнуванню. Окрім того, при зміні температури клейового шва, змінюється і його вологість, що впливатиме на напруження, які будуть накладатися на вологісні. Разом з тим, вологісні напруження у клейовій деревинній конструкції можуть бути причиною його руйнування.

Важливо зазначити, що полівінілацетатних клеїв є стійкими до теплового старіння полімеру. Вони можуть довго витримувати температуру, без суттєвої хімічної деструкції. Вона може виникати при температурі нижче чим термодеструкція деревини.

Тому важливий вплив на полівінілацетатні клейові з'єднання деревини, а саме на пружно деформаційні процеси має вологість та температура.

Нагрів клейових з'єднань в атмосферних умовах проходить періодично. Із збільшенням перепаду температур та зменшенням їх тривалості, тим релаксаційні процеси будуть тривалішими. Атмосферна дія на клейове з'єднання є циклічною. Вона буває добовою, сезонною, річною. Така циклічність має вплив на пружно-деформаційні процеси клейових з'єднань деревини. Чим циклічність частіша, тим релаксаційні процеси складніші і триваліші у часі. Тому довговічність клейової конструкції буде зменшуватися. На рис. 3.6. і 3.7. наведено розподіл радіальних і тангентальних напружень у полівінілацетатному клейовому з'єднанні деревини.

Аналіз графічних залежностей рис. 3.6 і рис. 37 показує, що компоненти напружень σ_x і σ_y максимальне значення мають у середині зразка. Для поверхневих зон нормальні напруження є більшими в порівнянні із напруженнями на відстані 1 мм. Тобто розподіл нормальних напружень у термопластичних полівінілацетатних клейових з'єднаннях деревини вказує на те, що основна небезпека у клейовому з'єднанні деревини під час дії вологи відбувається у зовнішніх ділянках зразка.

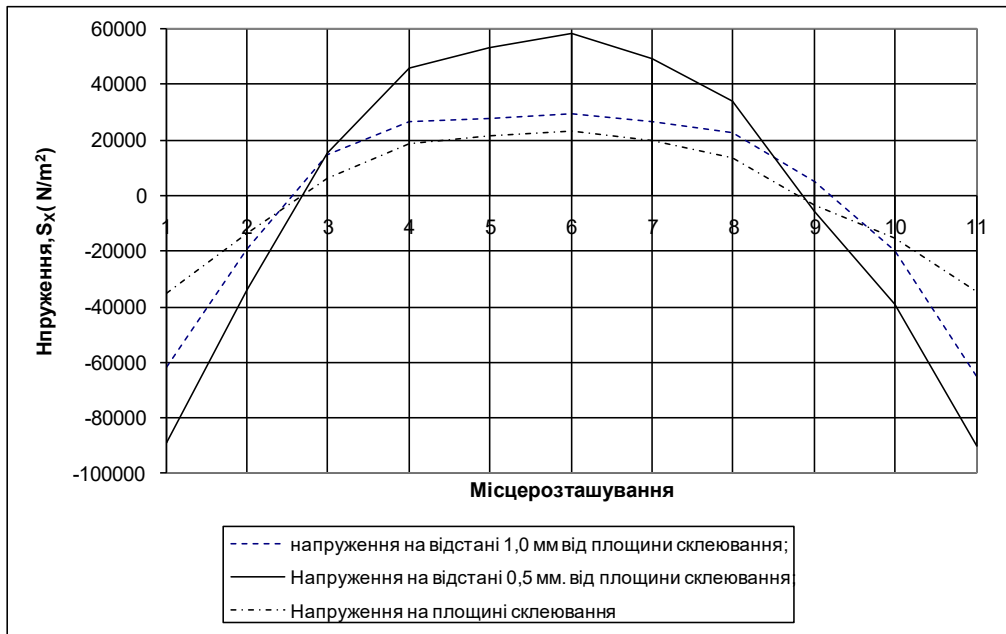


Рис. 3.6. Розподіл нормальних напружень σ_x

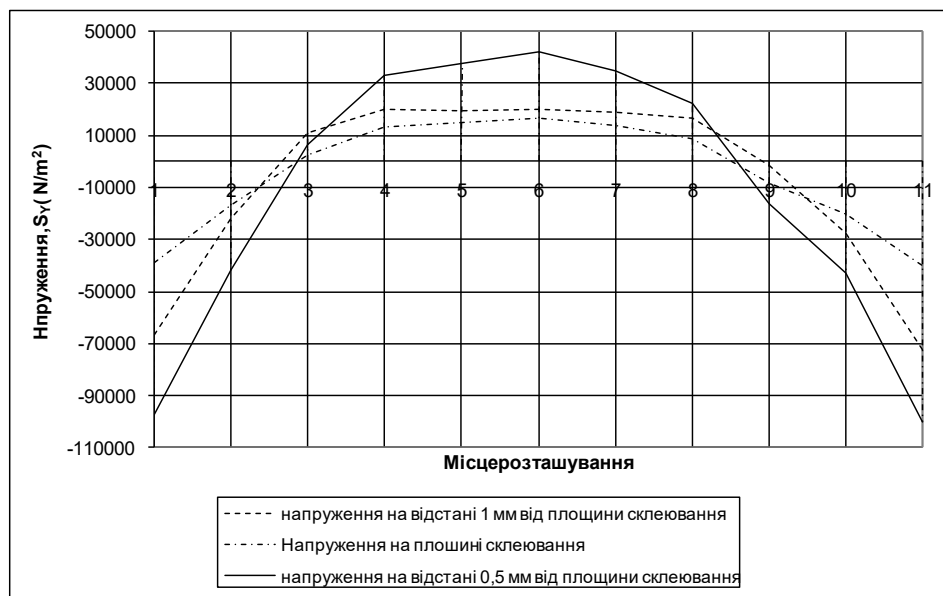


Рис. 3.7. Розподіл нормальних напружень σ_y

У середині зразка такі напруження знаходяться на межі допустимих, які не несуть небезпеки для клейового з'єднання. Але на нашу думку довготривала дія вологи може призвести до зміни такого стану у клейовому з'єднанні, що є небезпечно. Тому, як відзначалося вище, для пружно деформаційного стану полівінілацетатних клейових з'єднань з деревини більш небезпечними є тривалі циклічні температуро вологісні навантаження, оскільки вони стають більш глибокими і проникають у середину зразка. Тому і релаксаційні процеси у

таких клейових з'єднаннях будуть тривалими у часі, що може призвести до формування залишкової деформації, яка не може призвести до часткового руйнування клейового з'єднання. Аналогічна зміна пружно деформаційного стану у клейових з'єднаннях може відбуватися і при циклічній дії температури навколишнього середовища.

3.3. Висновки з розділу

1. Довговічність термопластичних полівінілацетатних клейових з'єднань деревини залежатиме від механізму формування клейового шва. Такі клейові з'єднання формують лінійну або рідкосітчасту структуру, що забезпечує еластичність клейовому з'єднанню під час його експлуатації.

2. Еластичність клейового шва дає можливість релаксувати пружно-деформаційні процеси, які виникають у клейовому з'єднанні під час дії вологи та температури. Циклічна дія вологи є більш небезпечним фактором впливу на клейове з'єднання деревини ніж їх поодинокі дії.

3. Полівінілацетатні клейові з'єднання деревини адгезійну міцність формують за допомогою механічної взаємодії деревини та клею, міжмолекулярних та хімічних зв'язків.

РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1. Результати експериментальних досліджень довговічності клейових з'єднань

Довговічність клейових з'єднань деревини вивчали на основі експериментальних досліджень зміни міцності за дії вологості та температури у лабораторних умовах. Результати досліджень наведено у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Результати експериментальних досліджень довговічності клейових з'єднань

Таблиця 4.1

Міцність зразків до випробувань

Порода	Міцність, МПа															
	Кількість зразків															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Сосна	6.37	6.82	6.38	6.26	6.865	6.58	6.21	6.34	6.12	6.73	6.68	6.41	6.28	6.26	6.59	6.53

На рис. 4.1. наведено результати міцності клейових з'єднань деревини сосни склеєні полівінілацетатними клеями із ступенем довговічності D4, що не приймали участі у лабораторних дослідженнях.

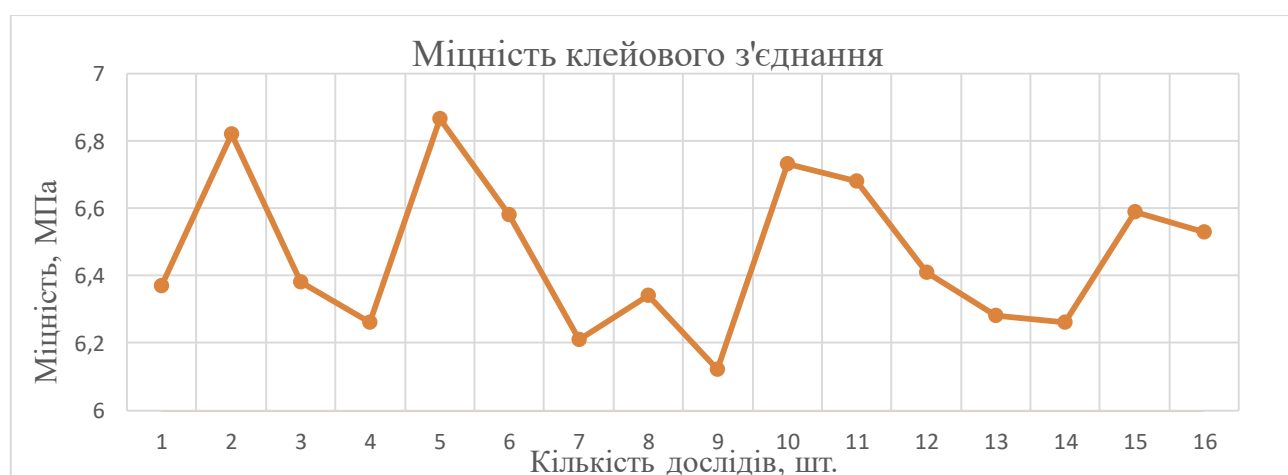


Рис.4.1. Міцність клейових з'єднань деревини сосни

Як видно із табл.4.1. та рис. 41. міцність клейового з'єднання деревини сосни склеєної полівінілацетатним клеєм становить 6,46 МПа.

Тепер наведемо результати зміни міцності клейових з'єднань після випробувань. Першими випробуваннями на довговічність клейових з'єднань є витримування зразків на протязі семи діб у кімнатній температурі $20\pm 0,5$ °C та відносній вологості повітря $75\pm 2\%$. Такі показники міцності і вологості були забезпечені відносно діючого на сьогоднішній день стандарту та відповідали показникам міцності деревини сосни на сколювання вздовж волокон.

В таблиці 4.2. та рис. 4.2 наведено міцність клейових з'єднань після витримування у стандартних умовах тобто за температури $20\pm 0,5$ °C та відносній вологості повітря $75\pm 2\%$.

Таблиця 4.2.

Міцність зразків після випробувань у стандартних умовах

Порода	Результати дослідження, МПа															
	Кількість зразків															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
сосна	6.37	6.82	6.38	6.26	6.87	6.58	6.21	6.34	6.12	6.73	6.68	6.41	6.28	6.26	6.59	6.53
Стандартні умови	6.35	6.72	6.68	6.46	6.55	6.38	6.61	6.54	6.32	6.33	6.48	6.71	6.68	6.46	6.39	6.73

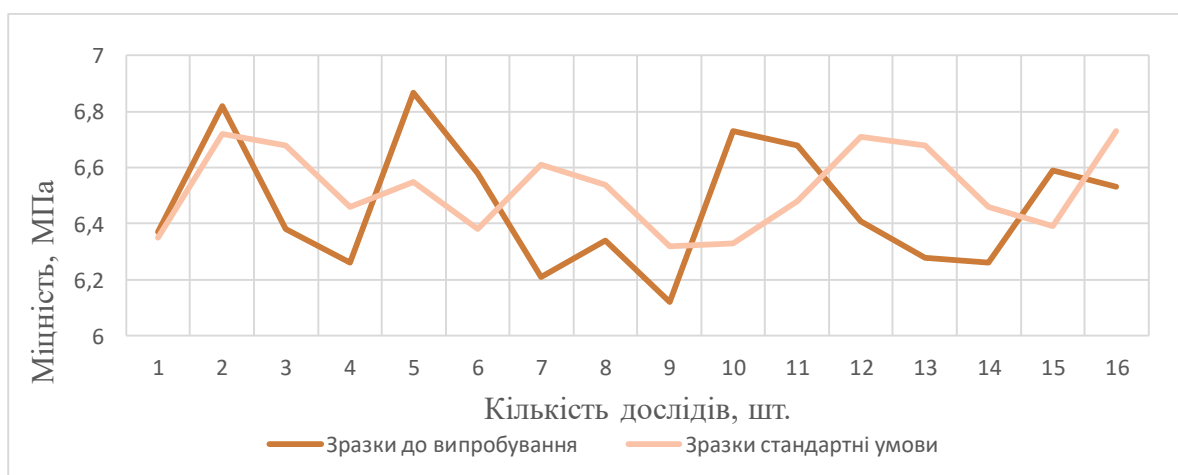


Рис. 4.2. Міцність клейових з'єднань деревини сосни після стандартних випробувань.

Як видно із отриманих результатів, міцність клейових з'єднань деревини після семи днів стандартних випробувань становить 6,52 МПа, що практично залишилась однаковою, і навіть дещо підвищилась. Така поведінка клейового з'єднання може свідчити про те, що перебування у стандартних умовах після технологічного процесу склеювання проходить процес закінчення формування клейового з'єднання. Тобто, полівінілацетатні клеї із збільшенням тривалості їх витримання у стандартних умовах продовжують процес формування клейових з'єднань. Це підтверджує наші теоретичні передбачення відносно того, що формування клейових з'єднань для таких клеїв при кімнатній температурі може тривати до сімдесяти восьми годин після витримки у пресі.

У таблиці 4.3. та рис. 4.3. наведено результати міцності після вимочування зразків у воді кімнатної температури на протязі 4-х діб.

Порода	Результати дослідження, МПа															
	Кількість зразків															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
сосна	6.37	6.82	6.38	6.26	6.87	6.58	6.21	6.34	6.12	6.73	6.68	6.41	6.28	6.26	6.59	6.53
Вимочування	4.35	4.72	4.68	4.46	4.55	4.38	4.61	4.54	4.32	4.33	4.48	4.71	4.68	4.46	4.39	4.73

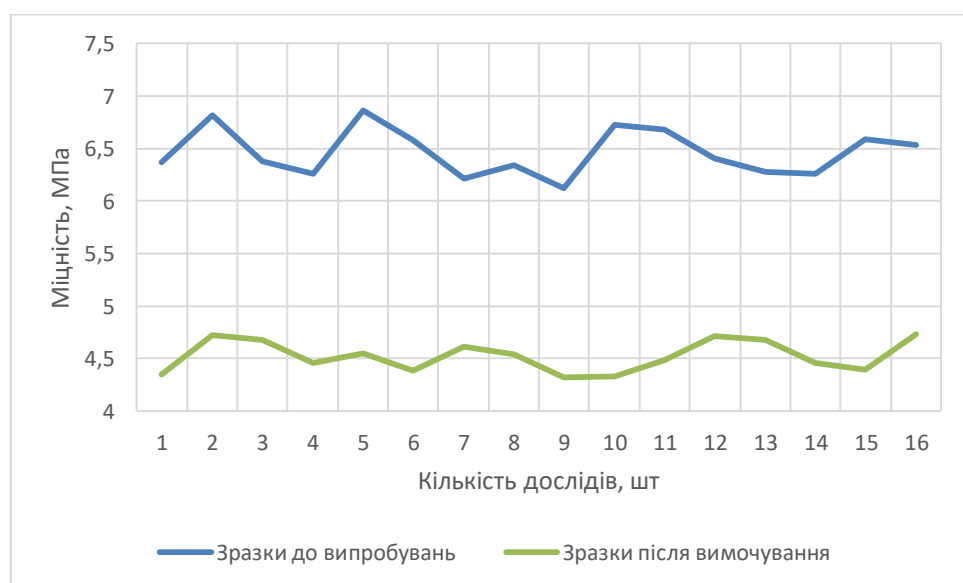


Рис. 4.3. Міцність після вимочування та до випробувань

Як показали результати досліджень міцність клейового з'єднання після вимочування у воді зменшилась 4,55 МПа. Таке зменшення міцності викликано дією молекул води на полівінілацетатне клейове з'єднання. У розд. 3 відзначено, що нетривала дія вологи приводить до незначного зростання міцності, а тривала до її зменшення. Тому, вимочування у воді на протязі семи годин, це та тривалість, за якої деревинне клейове з'єднання достатньо абсорбувало води і деревна і клейовий шов почала набухати і змінювати свої лінійні розміри. Це у свою чергу призвело до виникнення нормальних і тангентальних напружень у клейовому шві, тим самим зменшило міцність з'єднання. Тобто тривала дія вологи призводить до зменшення адгезійної міцності. Хоча це не означає що у природніх умовах така велика кількість води у клейове з'єднання може проникнути у клейовий шов. Вода в основному буде проникати через пори деревини. Клейовий шар знаходиться між двома заготовками деревини, де воді туди потрапити є надзвичайно важко.

У таблиці 4.4 та рис. 4.4 наведено результати дослідження впливу процесу кип'ятіння на міцність клейового з'єднання деревини сосни.

Порода	Результати дослідження, МПа															
	Кількість зразків															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
сосна	4.35	4.72	4.68	4.46	4.55	4.38	4.61	4.54	4.32	4.33	4.48	4.71	4.68	4.46	4.39	4.73
Після кип'ятіння	2.65	2.72	2.88	2.91	2.95	2.88	2.91	2.84	2.92	2.93	2.88	2.91	2.88	2.86	2.89	2.93

Як видно із наведених результатів, міцність склеєних зразків після чотиригодинного кип'ятіння зменшилась до 2,87 МПа. Тобто вона зменшилась на половину від міцності, яка була після вимочування у воді кімнатної температури. Це вказує на те, що вплив гарячої води, тобто поєднання дії вологи і температури має більший вплив на міцність полівінілацетатних клейових з'єднань деревини, ніж їх дія окремо. Це необхідно враховувати при

експлуатації клейових з'єднань деревини в умовах із циклічними температурно вологісними навантаженнями.

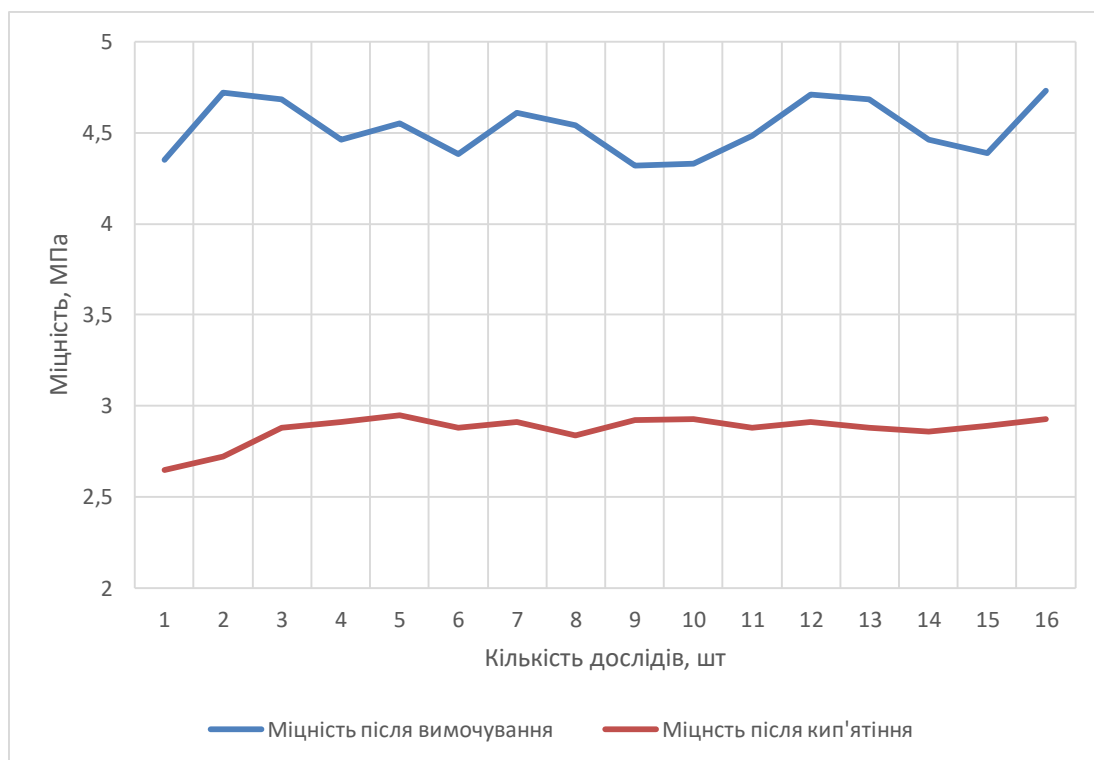


Рис. 4.4. Міцність після вимочування та після кип'ятіння

4.2. Дослідження довговічності клейових з'єднань деревини

За результатами експериментальних досліджень з визначення зміни міцності клейових з'єднань деревини сосни можна встановити довговічність таких клейових конструкцій. Це можна зробити на основі зміни міцності та характеру руйнування клейових з'єднань деревини. За отриманими даними встановлено, що міцність клейових з'єднань змінюється за спадаючою залежністю при збільшенні навантажень, починаючи від витримування у стандартній атмосфері і закінчуючи кип'ятінням. Це вказує на те, що клейове з'єднання із збільшенням температурно вологісних навантажень зменшує свою міцність. Таке поведінка є вірною для клейових з'єднань деревини склеєних будь яким клеєм, чи то термореактивним, чи термопластичним.

Щодо довговічності таких клейових з'єднань, то вона буде характеризуватися тривалістю експлуатації клейових з'єднань без руйнування. Для визначення довговічності таких клейових з'єднань деревини на основі

зміни адгезійної міцності можна використати формулу прогнозування довговічності термопластичних полівінілацетатних клейових з'єднань деревини, яка наведена нижче.

$$\tau^{(i)} = \frac{1}{C^{(i)}} \cdot \ln \left(\frac{k_{нд} \cdot B^{(i)} \cdot \Delta W^{(i)}}{\sigma_{гран} + A^{(i)} \cdot \Delta T^{(i)}} \right) \quad 4.1$$

Відповідно до математичної моделі прогнозування довговічності клейові з'єднання деревини склеєні полівінілацетатними клеями можуть експлуатуватися у природніх умовах. На рис.4.5 наведено графічні залежно довговічності клейових з'єднань деревини сосни склеєної полівінілацетатними клеями

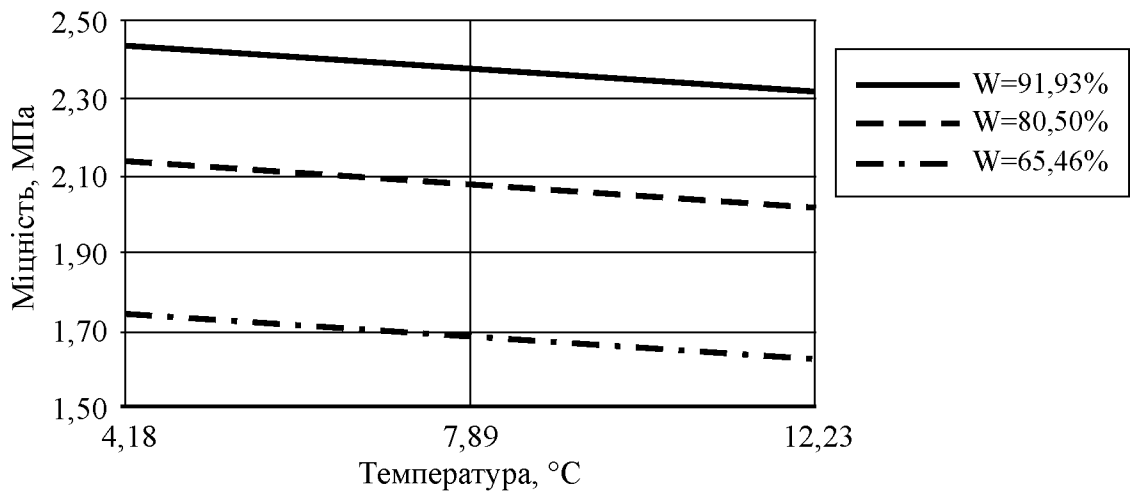


Рис. 4.5. Міцність клейових з'єднань деревини сосни, склеєних полівінілацетатними клеями від зміни температури за різної вологості

Із наведеної залежності рис. 4.5. можна зробити висновок, що при тривалій дії підвищеної вологості на полівінілацетатні клейові з'єднання деревини та понижені температури надають клейовому з'єднанню вищу адгезійну міцність, в порівнянні із нижчою вологістю експлуатації та підвищеною температурою. Така поведінка клейового з'єднання надає конструкції довговічності, в порівнянні із нижчою вологістю та підвищеною температурою. Таке трактування передбачено нашими теоретичними припущеннями щодо міцності та довговічності клейових з'єднань деревини.

На рис. 4.6. наведено міцність клейового з'єднання деревини від зміни вологості за різних температур.

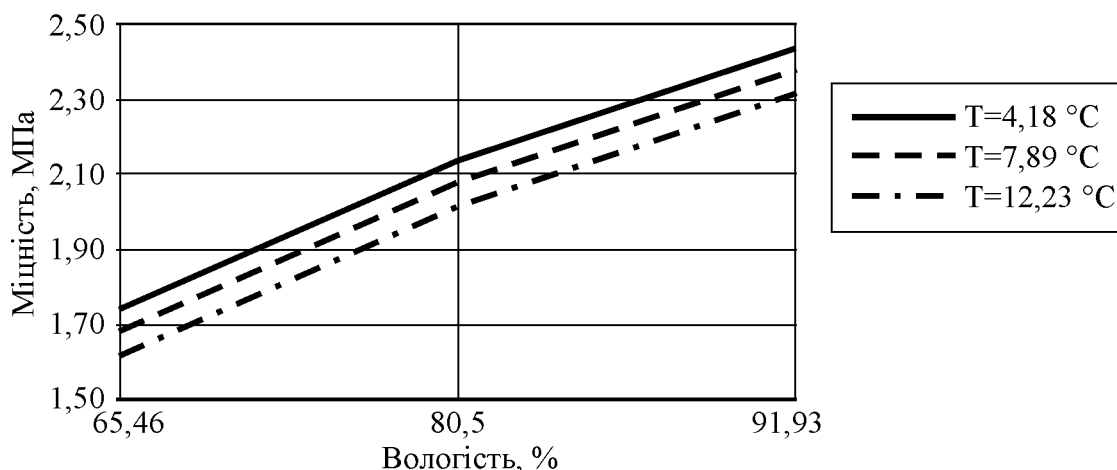


Рис. 4.6. Міцність клейових з'єднань деревини сосни, склеєних полівінілацетатними клеями від зміни вологи за різних температур

Дані результати досліджень вказують на те, що із збільшення вологи міцність клейових з'єднань деревини сосни буде збільшуватися. Наприклад, при зміні вологості від 60 до 90 % міцність клейових з'єднань деревини буде збільшуватися. Щодо температури, то вона також матиме свій особливий вплив на такі клейові з'єднання деревини. Із рисунка видно що із підвищенням температури міцність зменшується, і навпаки із зменшенням температури міцність збільшується.

Така поведінка клейового з'єднання пояснюється складом даного клею, та його відношенням до температури. Як відомо (див. розд 1) полівінілацетатні клеї краще експлуатуються при понижених температурах ніж при підвищених. Особливо полівінілацетат не витримує підвищених температур $+60^{\circ}\text{C}$. тоді у нього появляється висока еластичність, тобто він починає плавитися і м'якнути, що є дуже небезпечно для клейових конструкцій, які несуть фізичні навантаження. Така повзучість може призвести до швидкого руйнування клейового з'єднання. Разом з тим, така поведінка клейового з'єднання є бажаною для пружно-деформаційних процесів, які можуть проходити при зміні лінійних розмірів деревини під час її набухання при експлуатації. Тому це

також необхідно враховувати при виготовленні конструкцій, які будуть експлуатуватися.

Щодо зміни міцності та її відповідності експериментальним дослідженням то це можна побачити на рис. 4.7, де здійснено порівняння міцності клейових з'єднань деревини сосни із результатами тривалих досліджень

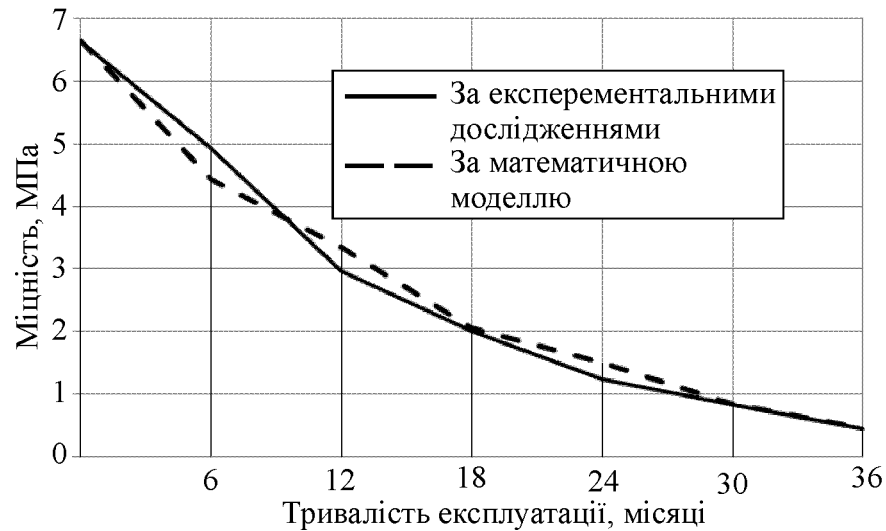


Рис. 4.7. Міцність з'єднань деревини сосни за експериментальними дослідженнями і математичною моделлю.

Як видно з графічної залежності, міцність клейових з'єднань деревини сосни склеєної полівінілацетатними клеями відповідає міцності отриманої за допомогою математичної моделі прогнозування.

4.3 Висновки з розділу

З отриманих результатів дослідження міцності клейових з'єднань деревини сосни склеєної полівінілацетатними клеями зроблено наступні висновки.

1. Отримано результати дослідження міцності клейових з'єднань сосни склеєної полівінілацетатними клеями після лабораторних експериментальних досліджень. Результати досліджень отримано після витримки зразків у стандартній атмосфері, після семиденного вимочування у воді кімнатної температури та після чотиригодинного кип'ятіння.

2. Зроблено статистичну обробку результатів дослідження, та побудовано графічні залежності зміни міцності від дії води кімнатної температури та води і температури .

3. Встановлено, що тривала дія води на полівінілацетатне клейове з'єднання деревини призводить до зменшення міцності на 15% а дія води і температури одночасно ще на 20% від міцності отриманої після дії води.

4. Здійснено дослідження довговічності клейових з'єднань деревини сосни склеєної полівінілацетатними клеями за допомогою математичної моделі прогнозування довговічності.

РОЗДІЛ 5 ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ

5.1. Порівняльна характеристика токсичності клеїв

У промисловості де використовуються клеї важливим є їх токсичність, тобто негативний вплив на людину. Цей показник є важливим як у виробничих умовах, де відбувається технологічний процес склеювання, та у приміщеннях де будуть експлуатуватися вироби, які виготовленні із даних клейових матеріалів. Тому, необхідно досліджувати дані процеси та клейові з'єднання на виділення токсичних речовин, та вживати відповідні заходи щодо знешкодження токсичних та шкідливих викидів, як із приміщення цеху так і інших виробничих приміщень. Клеї за дією на організм людини повинні відповідати міжнародним стандартам та вимога, які до них ставляться.

Особливу небезпеку становлять токсичні речовини, які є у синтетичних смолах і клеях, зокрема фенол, формальдегід, аміак.

Фенол це токсична речовина із характерним запахом. отрута, що діє на нервову систему. При попаданні на шкіру спричиняє опіки. Пари фенолу подразнюють очі, дихальні шляхи, спричиняється до розладу травлення.

Формальдегід, це отруйний газ із неприємним різким запахом, розчинний у воді.

Аміак, це газ із різким запахом, викликає подразнення очей та легень.

Небезпеку для людини мають розчинники, каталізатори, затверджувачі, пластифікатори та інші інгредієнти.

Клейові композиції, що використовуються в деревообробній промисловості є різними за своїми екологічними характеристиками.

Одним з головних екологічних показників клейових композицій є їх токсичність.

До екологічно небезпечних відносяться клеї на основі термореактивних смол. В склад таких клейових композицій входять токсичні розчинники які негативно впливають на здоров'я людей та навколишнього середовища.

Клеї на основі карбамідоформальдегідної смоли відносяться до токсичних.

Формальдегід це отруйний газ, який виділяється із клею у процесі склеювання, а також при експлуатації готових клеєних виробів і матеріалів. Більш токсичними є клеї на основі феноло-формальдегідних смол. Вони мають велику кількість фенолу, який є токсичним за формальдегід. Це ускладнює технологічний процес склеювання і вимагає вентиляції повітря у робочій зоні. Крім того, формальдегід виділяється з готового виробу, що обмежує область застосування таких з'єднань.

У епоксидних клеях є також негативний вплив на організм людини, який є небезпечним під час технологічного процесу склеювання.

Поліуретанові клеї є двокомпонентними, які складаються із поліізоціанату та гідроксилмісткого полієфіру або багатоатомного спирту. Саме наявність ізоціанатів призводить до високої токсичності таких клеїв.

Клеї на основі полівінілацетатної дисперсії відносяться до безпечних. У їх складі немає органічних розчинників, а використовується вода. Крім того, самі компоненти полівінілацетатного клею не є токсичними.

Таким чином, можна зробити висновок, що використання клеїв на основі полівінілацетатної дисперсії в деревообробній промисловості з екологічного боку є бажаним, так як зменшується шкідливе навантаження на організм людини та навколишнє середовище в порівнянні з більшістю інших клеїв.

5.2. Основні правила техніки безпеки при роботі з клеями

При використанні клеїв у процесі склеювання необхідно керуватися наступними правилами техніки безпеки:

-під час роботи з клеями, що містять органічні розчинники не виконувати операції, що зв'язані з появою вогню;

-при розливі клеїв чи розчинників і затверджувачів забруднену ділянку необхідно очистити ганчіркою;

-для розчинників застосовувати спеціальну тару, що забезпечує їхню дозовану подачу і цілком виключає можливість витікання;

-нанесення клею проводиться під витяжками за допомогою пензлем;

-природне сушіння після знежирення, нанесення шару рідкого клею проводиться під витяжками;

-видалення клею чи його компонентів при забрудненні рук здійснюють за допомогою ганчірки, яку необхідно змочити, з наступним миттям рук гарячою водою з милом.

При роботі з синтетичними клеями (з клеями на основі полівінілацетатної дисперсії включно) необхідна строга акуратність і абсолютне дотримання правил особистої гігієни. Необхідно слідкувати за чистотою рук, рушників, спецодягу, робочих столів, інструментів і посуду.

Курити в робочих приміщеннях, приймати їжу категорично заборонено.

Клеї на основі полівінілацетатної дисперсії не становлять пожежної небезпеки. Це пов'язано з тим, що в якості дисперсійного середовища, в полівінілацетатних клеях використовується вода. Таким чином дані клеї є негорючими. Відповідно, вимоги до зберігання даних клеїв є менш жорсткими, в порівнянні з термореактивними клеями.

Більш жорсткі вимоги, щодо пожежної безпеки ставляться при зберіганні і використанні двохкомпонентних клейових композицій. Затверджувач відноситься до пожежонебезпечних речовин. Відповідно, зберігання таких клейових композицій в приміщеннях не обладнаних засобами пожежогасіння категорично забороняється.

5.3.Організація робочого місця при роботі з синтетичними клеями

Тільки за умов правильної організації робочого місця можна мати високоякісні клейові з'єднання. На робочому місці має бути:

- достатній запас підготовлених до склеювання деталей;
- достатня кількість правильно приготовленого клейового розчину;;
- для підготовки деталей при склеюванні, перевірки розмірів і кутів склеюваних виробів необхідні відповідні інструменти.

Робоче місце має бути чистим і освітленим. На робочому місці необхідно мати матеріали для видалення зайвого клею.

5.4. Охорона навколишнього середовища при використанні клеїв на основі полівінілацетатної дисперсії

Охорона довкілля пов'язана із здоров'ям людини та добробуту народу і є складовою частиною економічної політики. Заходи щодо охорони природи передбачаються у постановах і стандартах.

Для вирішення питання охорони довкілля токсичні викиди на всіх підприємствах необхідно звести до мінімуму. Всі джерела забруднення слід ретельно обстежити.

Наведені токсичні матеріали, які входять до складу смол і клеїв, а також виділяються під час їх застосування – причина значної отруйності викидів стічних вод, газів, випаровувань на підприємствах деревообробної промисловості. Вони становлять велику небезпеку для навколишнього середовища, забруднення повітря і водойм.

Ефективне застосування синтетичних смол і клеїв у деревообробці вимагає ефективних заходів щодо зниження і усунення дії токсичних матеріалів на навколишнє середовище.

Підприємства деревообробної промисловості відносять до штучних джерел забруднення. У комплексі заходів щодо охорони довкілля важливе місце посідають раціональне використання водних ресурсів. Підприємства по виробництву меблів, фанери, деревостружкових плит не водомісткі проте за ступенем забруднення і складу забруднювальних та шкідливих речовин стоки цих підприємств відносять до категорії шкідливих і заходи щодо їх знешкодження обов'язкові.

У лабораторіях по виготовленню клеїв також потрібно ретельно контролювати стічні води, скид їх до водойм неприпустимий. Зливання залишків смол і клеїв, промивальних рідин після миття обладнання, залишків реактивів тощо до загальної каналізаційної мережі заборонене. Для цього у лабораторіях, цехах, дільницях споруджуються спеціальні ємкості і попередньо де відстоюють або надсилають без локального очищення на споруди біологічного очищення.

Синтетичні смоли і клеї на їх основі небезпечні тим, що вони відносяться до важко біологічно розкладних речовин, а деякі з них стійкі проти дії іонізуючих випромінювань та ультрафіолетових променів. Через це залишки смол і промивальних вод обов'язково знищують. З цією метою можна використати установки термічного знешкодження промислових стоків.

Перспективним щодо боротьби із забрудненням стічних вод є переведення деревообробної і меблевої промисловості на оборотне водопостачання та безводну технологію.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

За виконаною роботою, щодо досліджень довговічності клейових з'єднань деревини можна зробити:

6. Проаналізовано клейові деревинні конструкції, їх перспективи використання та властивості деревини та клеїв для їх склеювання. Проаналізовано довговічність клейових деревинних конструкцій та вплив температури та вологості зміну пружно деформаційного стану під час експлуатації. Для склеювання деревини використовують термореактивні та термопластичні клеї. Кожні з цих клеїв мають переваги і недоліки щодо їх використання та формування клейового шва. Термопластичні клеї є перспективними для склеювання.

7. Для дослідження довговічності клейових з'єднань деревини використано лабораторні експериментальні дослідження, описано методику їх проведення та устаткування для досліджень.

8. 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.

9. Висунуто теоретичні припущення щодо впливу вологи та температури на довговічність полівінілацетатних клейових з'єднань деревини. Описано як вологість та температура впливаю на пружно деформаційний стан клейових конструкцій на полівінілацетатній основі.

10. Проведено лабораторні експериментальні дослідження та отримано результати зміни міцності клейових з'єднань деревини сосни склесної полівінілацетатними клеями від дії вологи та температури. Встановлено закономірності зміни міцності за дії води та води і температури одночасно,

тобто під час кип'ятіння. Встановлено, що тривала дія вологи призводить до зменшення 15 %. А тривала дія води та температури одночасно ще на 20%.

11. Встановлено, що довговічність клейових з'єднань деревини можна визначити за результатами зміни міцності при дії вологи та температури.

12. Проаналізовано заходи з охорони праці та техніки безпеки при роботі із клеями та охорони праці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. 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.
2. 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 .
3. 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)
4. Михайловська Г.Є., Панов В.В. Клеї та склеювання деревини: Навчальний посібник. – Львів: Афіша, 2002. – 179 с.
5. Технологія виробництва виробів з пластмас і композитів: Навч. посібник /О.В. Суберляк, П.І. Баштанник. – К.: ІСДО, 1995. – 164 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: пріоритети, структура, ефективність. // Економіка України 1999. №1.
9. 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.
10. www.fauxwoodbeams.com - Faux Wood Workshop. Tips, ideas, helpful info on building with faux wood beams.
 11. Гупало О.П. Високомолекулярні сполуки / О.П. Гупало, Н.М. Ватаманюк. – К. : Вид- во НМК ВО. – 1993. – 243 с.
 12. Nishiyama, Yoshiharu; Langan, Paul; Chanzy, Henri (2002). Crystal Structure and Hydrogen-Bonding System in Cellulose I β from Synchrotron X-ray and Neutron Fiber Diffraction. *J. Am. Chem. Soc* 124 (31). с. 9074–82.
 13. wwwuk.wikipedia.org – Вікіпедія. Вільна енциклопедія.
 14. www.derevbud@ukr.net – Виробник дерев'яних будинків.
 15. 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.
 16. 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 .
 17. www.stiny.com.ua – Інвестиційно-будівельна компанія «Моя фортеця».
 18. Дячун З. Й. Конструювання меблів: корпусні вироби / Зіновій Йософатович Дячун. – К. : Києво-Могилянська академія, 2007. – 387 с.
 19. ДСТУ EN 205:2014 Клеї несилкові для деревини. Метод визначання міцності з'єднання внапусток під час поздовжнього розтягування на зсув (EN 205:2003, IDT).
 20. 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
 21. www.csm.kiev.ua – База нормативних документів України.