

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Навчально-науковий інститут деревообробних технологій і дизайну

Кафедра технологій деревинних композиційних матеріалів,
целюлози та паперу

Пояснювальна записка
до дипломної роботи магістра на тему:
**Вплив параметрів пресування на
властивості фанери виготовленої на основі
соєвого протеїну**

Виконав: студент групи ТДКМ-61м
_____ Поліщук А.О.
(підпис)

Керівник: к.т.н., доцент ТДКМ
_____ Ортинська Г.Є.
(підпис)

Рецензент: _____
(посада, вчене звання, науковий ступінь)

(підпис) (прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Навчально-науковий інститут деревообробних та комп'ютерних технологій і дизайну.
 Кафедра технологій деревинних композиційних матеріалів, целюлози та паперу .
 Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
 Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____
 _____ д.т.н., проф. Бехта П.А. .
 “ _____ ” _____ 2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Поліщук Антон Олександрович _____.

1. Тема роботи Вплив параметрів пресування на властивості фанери виготовленої на основі соєвого протеїну керівник роботи к.т.н., доцент ТДКМ Ортинська Галина Євгенівна, затверджені наказом університету від “31”серпня 2023 року № С-403А
2. Термін подання студентом роботи _____ 18.01.2024 р. _____.
3. Вихідні дані до роботи Проаналізувати речовини, які можна застосовувати для модифікування соєвого протеїну. Дослідити вплив параметрів режимів пресування на властивості фанери, на основі соєвого протеїну ізоляту 91% та дослідити властивості
4. Зміст пояснювальної записки (розділи, які потрібно розробити) _____
 1. Стан питання та завдання дослідження _____.
 2. Методика експериментальних досліджень _____.
 3. Обробка експериментальних даних _____.
 4. Висновки та рекомендації _____.
5. Дата видачі завдання _____ 10.08.2023 р. _____.

Студент _____ Поліщук А.О. _____
 (підпис)

Керівник роботи _____ Ортинська Г.Є. _____
 (підпис)

АНОТАЦІЯ

У дипломній роботі магістра на тему «Вплив параметрів пресування на властивості фанери виготовленої на основі соєвого протеїну», проаналізовано та досліджено як можуть впливати режимні параметри на міцність фанери на зріз.

Дипломна робота магістра складається з трьох розділів.

У першому розділі проаналізовано режимні параметри, які застосовуються для виготовлення фанери. Розглянуто наукові теорії адгезії. Розглянуто процеси, що відбуваються під час склеювання пакета шпону. Наведено аспекти термічного модифікування соєвих протеїнів.

У другому розділі наведено методику проведення експериментальних досліджень, основні прилади та матеріали, методику виготовлення фанери та дослідження міцності фанери на зріз.

У третьому розділі приведено результати експериментальних досліджень. Описано вплив режимів пресування на властивості фанери.

Також наведено висновки та рекомендації, список використаної літератури та додатки.

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	7
1.1. Аналіз технологічних факторів, що впливають на формування міцності клейового з'єднання	7
1.2. Наукові погляди на формування адгезійних зв'язків	10
1.3. Процеси, які відбуваються під час склеювання пакета шпону	14
1.4. Вплив температури на клеї на основі соєвого протеїну	19
1.5. Висновки та завдання дослідження	22
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	24
2.1 Матеріали для експериментальних досліджень	24
2.2. Обладнання для проведення експериментів	25
2.3. Методика планування досліджень виготовлення фанери	26
2.4. Методика проведення експериментальних досліджень	27
2.5. Методика визначення властивостей фанери	30
2.6. Статистична обробка даних	33
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	35
3.1. Вплив температури та тривалості склеювання на міцність фанери на зріз	35
3.1. Вплив температури та тривалості склеювання на міцність фанери на зріз	35
3.3. Вплив температури та тривалості склеювання на вологість фанери	39
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.	41
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	42
ДОДАТКИ	46

ВСТУП

Промисловий інтерес до полімерних матеріалів на біоснові, тобто відновлюваній сільськогосподарській продукції, привернув підвищену увагу за останнє десятиліття. Соеві протеїни є одними з найбільших досліджуваних природних матеріалів, що мають різноманітне промислове застосування: клеї для деревини, добавки для харчових продуктів, наповнювачі у фармакології.

Застосування соєвого протеїну, як основи для клеїв, є потенційною альтернативою синтетичним клеям на основі нафтопродуктів для виробництва фанери. Соя є джерелом для отримання протеїну. Дана сировина є легкодоступною, недорогою та широко культивується у всьому світі.

Однак клеї на основі соєвого протеїну мають такі недоліки, як високу в'язкість, низький вміст твердих частинок і низьку водостійкість. Низька їх водостійкість обмежує використання, тому дані клеї модифікують, за допомогою різноманітних хімічних речовин.

У літературних джерах багатоописано і встановлено режими склеювання фанери за допомогою синтетичних клеїв, а про те які режимні параметри застосовувати для клеїв на основі соєвого протеїну практично немає. Оскільки на міцність фанери на зріз буде впливати ряд факторів: температура склеювання, тривалість і навіть обрана модифікувальна речовина.

Мета і завдання дослідження. Дослідити вплив параметрів пресування на властивості фанери виготовленої на основі соєвого протеїну.

Об'єктом дослідження є технологічний процес виготовлення фанери.

Предметом дослідження - режими технологічного процесу виготовлення фанери на основі соєвого протеїну.

Відповідно, до поставленої мети потрібно вирішити наступні завдання:

- проаналізувати вплив режимних параметрів на формування клейових з'єднань;

- експериментальні дослідження впливу режимних параметрів на фізико-механічні показники склеювання;

Апробація результатів магістерської роботи. Матеріали роботи доповідались і обговорювались на студентській конференції Національного лісотехнічного університету, м. Львів, 2023.

РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Аналіз технологічних факторів, що впливають на формування міцності клейового з'єднання

На властивості клейових з'єднань впливає значна кількість факторів, що охоплюють всі аспекти системи "клей-деревина" та усі етапи технологічного процесу формування клейового з'єднання [1]. Фактори, які впливають на властивості клейових з'єднань, можна розділити на кілька категорій:

- властивості або вид, склад клею (концентрація, в'язкість та температура клею, кількість затверджувача, наповнювачів, пластифікаторів та інших модифікаторів, тощо);

- технологічні або режимні фактори (кількість клею, нанесеного на склеювані поверхні, температура, тиск, тривалість склеювання, тривалість

- фактори, що характеризують метод і режим випробування.

Найважливішою технологічною операцією у виробництві фанери є гаряче склеювання. Саме протягом даної операції фанера набуває властивостей, які характеризують її як матеріал. При цьому режим склеювання, який являє собою поєднання ряду факторів, повинен забезпечити необхідну якість клейових з'єднань. Нормованим показником є межа міцності на зріз ($\sigma_{ск}$) [2].

Найважливішими параметрами режиму склеювання є температура нагрівальних плит (температура пресування), тиск пресування і тривалість пресування.

Вплив температури контактування на адгезію і аутогезію детально вивчено [3, 4] і за дослідженнями встановлено, що зі збільшенням температури контакту в основному спостерігається зростання адгезії. Це здійснюється через збільшення рухливості молекул полімеру та площі контакту. Однак збільшення температури може призвести до погіршення об'ємних характеристик полімеру через розвиток деструкції та зменшення міцності зчеплення. Адгезія також залежить від

релаксаційних процесів, оскільки адгезійна міцність та міцність однорідного тіла мають тимчасовий характер.

Висока температура, особливо в поєднанні з вологістю, сприяє глибокому проникненню клею в деревину. Однак, якщо клейовий шар стає занадто тонким, це може призвести до ефекту "голодного склеювання", коли клейовий шар не є достатньо щільним і повністю не заповнює всі порожнини. Це зменшує міцність з'єднання через недостатнє сприйняття клею деревиною. Такий результат може статися через занадто швидке висихання клею або через недостатню кількість клею, яка потрапила в контакт з поверхнею деревини під час склеювання. [1,5,6].

Якщо підвищувати температуру збільшується тиск парогазової суміші в склеюваному пакеті. Це сприяє утворенню в пакетах розшарувань і міхурців [7,8,9]. Зокрема, при температурі 118-120°C кількість фанери з міхурцями на підприємствах може досягати 10%. Зменшення її до 110-115°C зменшує кількість дефектної фанери до 1.4% .

За температури нижче 110°C не рекомендується здійснювати склеювання, оскільки тривалість формування клейових з'єднань значно збільшується. Однак, деякі автори рекомендують і нижчі температури [10, 11, 12].

Так, вибір температури плит варіюється відповідно до різних факторів, таких як характеристики клею, тип деревини, шаруватість склеюваної фанери, товщина та вологість матеріалів, які склеюються. Для листяних порід діапазон температур може коливатися від 110 до 153°C, враховуючи конкретний клей, який використовується у процесі склеювання.

У деяких роботах [12,13] відзначається, що тиск пресування прямого впливу на процес затвердіння клею не має. Однак, посередньо цей вплив проявляється через товщину клейового шару [8,14], через підвищення швидкості прогрівання завдяки зміні товщини пресованого пакета [15],

через напруження в клейовому шарі, пов'язані з деформацією шпону [7]. Контроль цих параметрів на практиці неможливий, тоді як контроль тиску пресування і керування ним не створює жодних труднощів.

Тиск при склеюванні не залежить від товщини склеюваного матеріалу та часу, який відводиться на склеювання. Величина тиску під час пресування залежить від різноманітних факторів, таких як точність виготовлення шпону, спосіб розташування пакета шпону, можливі відхилення плит пресу від плоскої форми і інших випадкових чинників. Компенсація цих неточностей у формуванні пакета шпону та налаштування плит пресу дозволяють досягати спресування близько 10%. Низький рівень спресування може призвести до збільшення товщини клейових шарів та зменшення їхньої міцності. Тонші клейові шари забезпечують вищі показники міцності. Однак для досягнення цього необхідно підвищувати тиск пресування, що, у свою чергу, призводить до збільшення спресування [7,9,16,17].

Рекомендований діапазон тиску пресування коливається в межах 1,0-2,0 МПа. Для листяних порід застосовують вищий тиск для склеювання 1,8-2,0 МПа, а для хвойних порід – 1,5-1,7МПа. Величина тиску пресування значною мірою впливає на величину спресування склюваного пакета.

Отже, точні значення, які характеризують режим склеювання, є лише середніми значеннями реальних випадкових величин або залежностей. З цієї точки зору подані режими не можуть бути універсальними, оскільки в конкретних умовах параметри факторів, які мають статистичну природу, можуть значно відрізнятися від тих, що використовувалися для встановлення режимів.

Така зміна параметрів може виникати через різноманітні фактори, такі як властивості матеріалів, якість поверхонь, хімічні особливості клею, температура та вологість середовища тощо. Наведені режими склеювання можуть бути оптимальними лише в певних умовах, але не обов'язково підходити для всіх ситуацій або матеріалів. Навіть зміна хоча б одного з

цих параметрів вимагатиме коригування режимів.

1.2. Наукові погляди на формування адгезійних зв'язків

В основі процесу склеювання лежить комплекс явищ, але найбільше значення має формування адгезійних зв'язків. Природу та закономірності адгезії інтенсивно досліджують різноманітними методами на різних об'єктах - від металів та скла до біологічних клітин та полімерів. Проте досі немає єдиної теорії адгезії.

Механічна теорія адгезії, яка була розроблена Мак-Беном, є однією з найранніших теорій, що пояснює явище адгезії, особливо у контексті міцності склеювання матеріалів. Згідно з цією теорією, міцність адгезивного з'єднання залежить від декількох факторів, таких як пористість склеюваного матеріалу та в'язкості клею.

Проте не кожна рідка речовина, що здатна затвердівати, може склеювати. Окрім цього, проникнення клею в середину склеюваного матеріалу корисне тільки до визначеної межі, а застосування низьков'язких клеїв може стати причиною утворення переривчастого клейового шару, що різко зменшує міцність з'єднання. Досить висока міцність клейового з'єднання може бути досягнута і при склеюванні гладких непористих поверхонь. Ця теорія не приймає до уваги одного з головних факторів - природу склеюваних тіл і природу клею.

Ефективне склеювання можливе лише за наявності змочувальної здатності клею до склеюваної поверхні. Рідина, що використовується як клей, повинна мати здатність змочувати поверхню, рівномірно розподілятися на ній, щоб проникнути в пори матеріалу та після затвердіння забезпечити міцне з'єднання.

Якщо клей не має достатньої здатності до змочування, це може призвести до утворення крапель, що зменшують контактну площу між клеєм і матеріалом. Це, у свою чергу, може призвести до зниження сили

адгезії між поверхнями. У таких випадках, стан поверхні матеріалу, його чистота, геометрія, хімічний склад і інші фактори стають важливими для здатності рідини клею до змочування. Ці фактори впливають на здатність клею проникнути в пори матеріалу та створити міцне зчеплення після затвердіння. Від цього, наскільки добре змочує клей підкладку і розтікається. Зокрема, у роботі [18, 19] показано, що покращення змочування при підвищеній температурі забезпечує повніший молекулярний контакт адгезива і субстрату, чим пояснюється підвищення міцності з'єднань. Особливо багато результатів щодо впливу змочування на адгезійну міцність отримано дослідниками [20,21] для недеревинних підкладок.

З позиції механічної адгезії не можна пояснити можливість склеювання непористих матеріалів, таких як скло, метал, пластмаси тощо.

За *адсорбційною теорією адгезії* (Мак Ларен, Дебройн та інші) [22, 23] утворення адгезійного з'єднання відбувається завдяки специфічній міжмолекулярній взаємодії, що пояснюється наявністю вільної поверхневої енергії як у адгезиві, так і у субстраті. Адсорбційна теорія адгезії досліджує утворення клейового шару як складний багатостадійний процес. Вона здатна пояснити вплив різної полярності адгезива і субстрату на адгезію, діелектричну проникність, а також тип та кількість функціональних груп, що спричиняють різноманітні міжмолекулярні сили.

Молекулярна теорія адгезії, розроблена Берліним А.А. і Басіним В.Е. [23], молекулярна теорія адгезії є логічним продовженням адсорбційної теорії і ґрунтується на тих самих принципах. Однак вона розрізняється визнанням можливості виникнення хімічних зв'язків між адгезивом і субстратом, враховуючи вплив хімічної будови адгезива і субстрата на адгезію. Інші фактори, які впливають на адгезію, можна також пояснити з точки зору молекулярної теорії, і вони вже розглядалися при огляді адсорбційної теорії адгезії.

Дифузійна теорія адгезії розроблена Воюцьким С.С. [24]. Теорія, яка розглядає утворення адгезійного зв'язку через дифузію молекул одного полімеру у молекули іншого в зоні контакту, в основному пояснює кінетику утворення адгезійного зв'язку. Вона акцентує увагу на процесі переміщення молекул у зоні контакту адгезива і субстрату. Однак ця теорія не враховує природу контактних поверхонь - силу адгезії, ігнорує характер зв'язків між адгезивом і субстратом. Вона може бути використана для пояснення адгезії між полімерами, що мають більш або меншу взаєморозчинність. Тому в контексті утворення міцного зв'язку між полімером і деревиною ця теорія є обмеженою.

Електрична теорія адгезії розроблена Дерягіним В.В. і Кротовою Н.А. [24, 25]. На погляд авторів, основну роль у формуванні адгезійного зв'язку відіграють електростатичні сили притягання зарядів подвійного електричного шару, який утворюється між контактуючими поверхнями адгезива і субстрату під час формування плівки. При зіткненні двох матеріалів, електрони яких перебувають у різних енергетичних станах, можливий перехід електронів з поверхні одного матеріалу на поверхню іншого внаслідок хімічної взаємодії адгезива і субстрату. Це призводить до утворення протилежних зарядів у граничних шарах контактуючих матеріалів, що створює подвійний електричний шар і сприяє високій міцності адгезійного з'єднання. Крім того, електрична теорія адгезії може пояснити вплив швидкості розриву на величину адгезії.

Електрорелаксаційна теорія адгезії, розроблена Москвітіним Н.І. [26], пояснює адгезію всією різноманітністю хімічних і міжмолекулярних зв'язків. У її основу закладена передумова, що адгезійна взаємодія тіл є функцією багатьох факторів: характеру сил взаємодії між контактуючими точками, зумовленого хімічною природою молекул адгезиву і субстрату; кількості точок контакту; відстані між контактуючими точками - ділянками ланцюгів полімеру, функціональними групами, іонами, молекулами або атомами; фактичної площі контакту; діелектричної

проникності середовища.

Хімічна теорія пояснює формування міцного зв'язку за допомогою хімічних взаємодій між полімерами. Якщо відстань між атомами не перевищує 0,2 нм, це може призвести до виникнення хімічних зв'язків між ними. Клеї з низькою молекулярною масою можуть мати добру адгезію, оскільки вони здатні ефективно змочувати поверхні твердих матеріалів, проте водночас вони мають низькі когезійні властивості. Це означає, що хоча вони добре прикріплюються до поверхні, їхні властивості утримати свою внутрішню структуру й самостійність виявляються досить обмеженими.

Релаксаційна теорія розглядає адгезію з точки зору різноманітних хімічних і міжмолекулярних зв'язків. Одним із найважливіших аспектів за цією теорією є релаксація напружень, що виникають як при контакті клею з поверхнею, яку клеїть, так і під час експлуатації з'єднання.

При контакті клею з поверхнею матеріалу виникають напруження, які можуть бути розслаблені під час утворення з'єднання. Це може бути відчутно при з'єднанні матеріалів. Крім того, під час подальшої експлуатації з'єднання також можуть виникати напруження, і їх розслаблення також грає важливу роль у збереженні міцності з'єднання та уникненні руйнування.

Отже, релаксація напружень - це ключовий фактор, який враховується у цій теорії адгезії. Вона впливає на утворення з'єднання та його міцність під час утворення та експлуатації.

Мікрореологічна теорія Мікрореологічні процеси визначають адгезійну міцність та площу контакту між адгезивом і субстратом. Декілька ключових аспектів мікрореології можуть впливати на ці характеристики: затікання адгезиву в тріщини і пори субстрату; процес формування адгезійного контакту відбувається за рахунок молекулярних сил і хімічних зв'язків між адгезивом і субстратом [26, 27, 28, 29].

Отже, єдиної теорії, здатної пояснити всі можливі випадки адгезії, не

існує. Це значно ускладнює визначення шляхів синтезу нових клеючих матеріалів, розробку оптимальних режимів склеювання, передбачення міцності клейових з'єднань.

1.3. Процеси, які відбуваються під час склеювання пакета шпону

Формування клейового шару на поверхні деревини включає адгезійне закріплення клею на цій поверхні. Адгезія рідини пояснює взаємодію між рідкою та твердою фазою на межі їх контакту. Ця взаємодія простягається на коротку відстань в глибину рідини. Як рідина віддаляється від поверхні твердого тіла, адгезійна взаємодія слабшає, і вона стає менш сильною в порівнянні з когезійною силою, яка відповідає взаємодії між молекулами рідини.

Адгезія та змочування є двома аспектами одного явища, яке виникає при контакті рідини з твердим тілом. Змочування є результатом адгезії і відбувається на межі трьох фаз: твердої, рідкої і газоподібної. Ці фази взаємодіють між собою під час контактування, що призводить до змочування поверхні твердого тіла рідиною.

Так, поверхневий натяг - це сила, яка діє по дотичній до поверхні рідини і тягне до скорочення поверхні рідини до мінімальних розмірів, утворюючи краплю або сферу. Кут θ між дотичною до поверхні рідини та змоченою поверхнею твердого тіла називається крайовим кутом. Крайовий кут завжди відраховується від дотичної в напрямку до рідини. Іншими словами, це кут, під яким поверхня рідини нахилиється до тіла, яке вона змочує, такого як деревина чи інші матеріали [30].

На основі екстерементальних досліджень встановлено, що на змочуваність деревини клеями впливають такі фактори: умови виготовлення клею, його в'язкість і концентрація, поверхневий натяг, число рН, порода деревини і вологість, вміст в ній екстрактивних та інших речовин. Наприклад, фенолоформальдегідні смоли зазвичай містять визначену

кількість лугу, наявність якого зменшує поверхневий натяг.

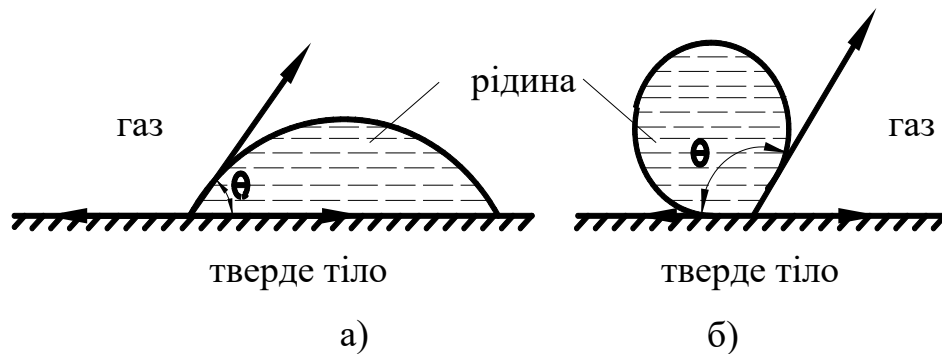


Рис.1.1. Крайовий кут у системі тверде тіло – рідина – газ:

а – рідина змочує поверхню; б – рідина не змочує поверхню [31].

З літературних джерел відомо, що в результаті зменшення поверхневої енергії системи адсорбційні явища в нормальних умовах протікають самовільно, тобто для того, щоб рідина задовільно змочувала тверде тіло, вона повинна зменшувати його поверхневу енергію [32].

Значення кута змочування дає уявлення про те, наскільки добре рідина розподіляється і контактує з поверхнею деревини чи будь-якого іншого субстрату. Крайовий кут змочування може допомогти передбачити, чи відбудеться змочування в даній системі, а також передбачити характер взаємодії між клеєм та поверхнею, що впливає на адгезійну міцність клейового з'єднання.

Пресування пакета шпону можна поділити на певні етапи, тому розглянемо основні періоди. Перший період характеризується навантаженням пресованого пакета. При цьому деформація пакета визначається модулем пружності деревини шпону в холодному стані, оскільки нагрівання пакета ще не проходить. Повна деформація пакета в першому періоді практично відповідає його пружній деформації, оскільки в холодному стані при вказаних навантаженнях кінцева деформація пакета

практично відсутня.

Другий період характеризується прогріванням пакета. При цьому модуль пружності матеріала зменшується і загальна деформація пакета продовжує інтенсивно збільшуватися. Протягом другого періоду проходить різке зменшення величини пружної деформації і в пакеті починає розвиватись пластична деформація.

Третій період починається після закінчення прогрівання пакета. При цьому за незмінного тиску пресування як загальна, так і пластична деформація продовжують збільшуватися, а величина пружної деформації зменшується. Третій період визначається в основному пластичною текучістю матеріалу, тобто здатністю його деформуватися в даних умовах, за постійного навантаження [33, 34, 35].

Деревина є пружно-в'язким матеріалом. Під дією зовнішніх сил вона змінює розміри і форму, тобто деформується. Розрізняють деформації пружні, які практично зникають і пластичні, які не зникають після зняття тиску. В свою чергу, пластичні деформації є зворотними, завдяки зменшенню в'язкості міжміцелярної вологи у деревині, яка виконує роль змазування і є основною умовою зменшення внутрішнього тертя, що перешкоджає повному зникненню деформації [17, 36, 37].

В'язкість клею та шорсткість поверхні впливають на його проникнення і, отже, на міцність склеювання. Міцність склеювання протеїнового клею, зокрема на основі соєвого протеїну, зазвичай встановлюється через реформування хімічних зв'язків між протеїновими ланцюгами, які можуть бути розірвані під час денатурації. Затвердіння клею може відбуватися шляхом гарячого або холодного пресування. Гаряче пресування може сприяти швидшому затвердінню, прискорюючи процес реакції клею та полімеризації.

Протеїнові клеї, у тому числі клей на основі соєвого протеїну, мають певний рівень гнучкості і не є дуже жорсткими. Це дозволяє розподіляти деформацію в клейовій структурі, зменшуючи напруження між фазами. Це

може бути корисним у забезпеченні більшої стійкості склеювання в умовах, коли матеріали піддаються деформації або розтягуванню. Ці характеристики роблять протеїнові клеї привабливими для деяких застосувань, де потрібна певна гнучкість та можливість розподілу деформації, наприклад, у виробництві меблів або інших конструкцій, де важлива стійкість з'єднання при виникаючих деформаціях.

Крім того, під час гарячого склеювання відбувається формування хімічних зв'язків між клеєм та деревиною. Гідрофільні та гідрофобні групи бічного ланцюга у протеїнах можуть також впливати на адгезію до деревини. Однак, наявність реактивних груп, які не взаємодіють із деревиною, може обмежувати формування міцного зв'язку рис. 1.1.

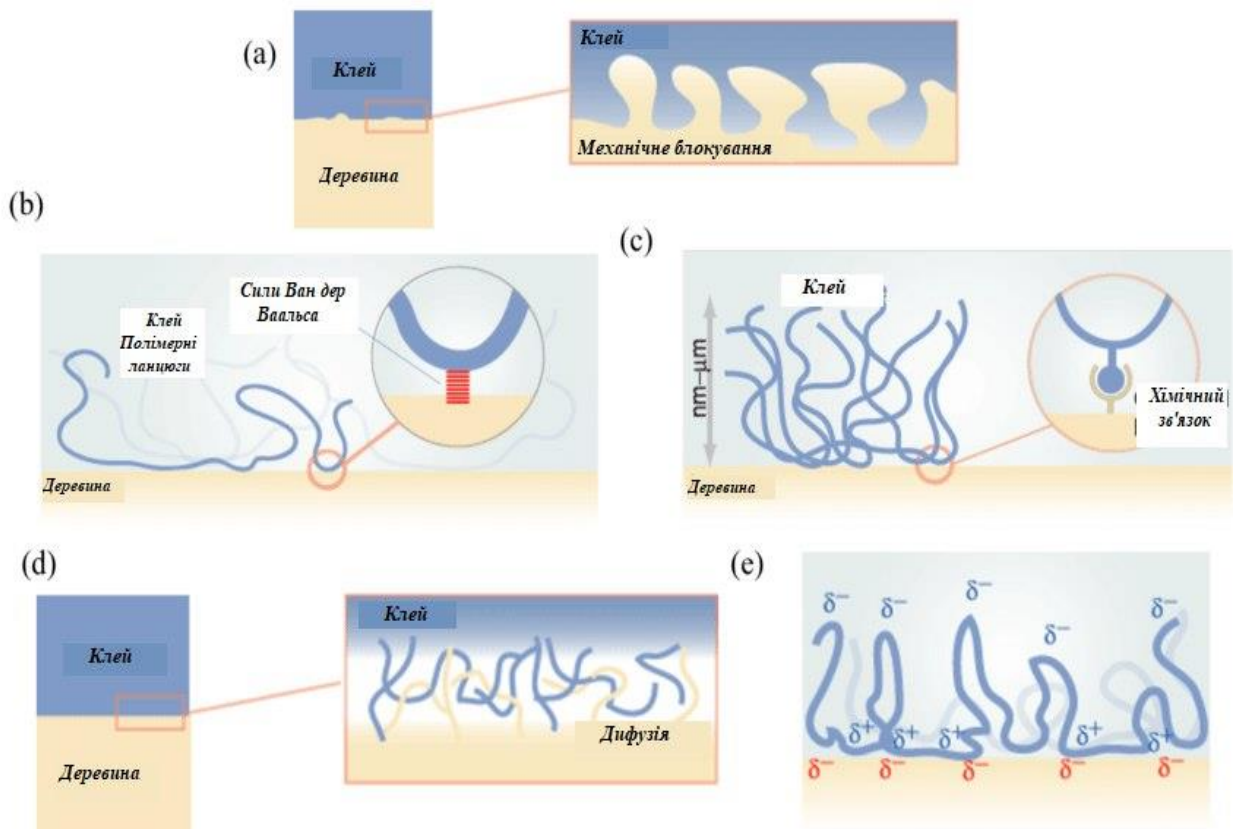


Рисунок 1.1. Прогнозування формування клейового з'єднання [35]

Тому, щоб покращити адгезію, ці групи можуть піддаватися розчепленню або модифікації, щоб створити більше активних центрів для взаємодії з поверхнею деревини (рис.1.2).

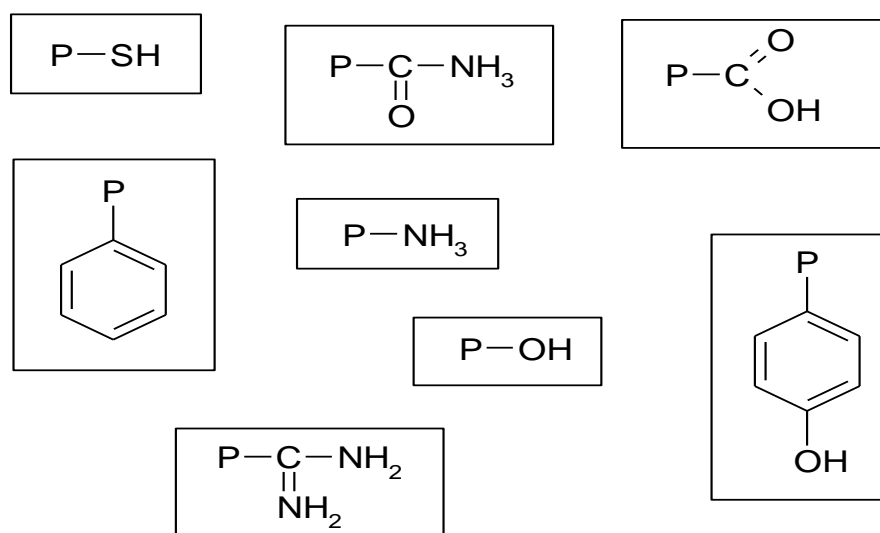


Рисунок 1.2. Функціональні групи соєвого протеїну

Можна прогнозувати, що завдяки даним функціональним групам буде відбуватися взаємодія із гідроксильними групами деревини, а відповідно їх рекомендується застосовувати для склеювання поверхонь із деревини



Рисунок 1.3. Схематичне зображення взаємодії соєвого протеїну та деревини

Процес розчеплення або модифікування реактивних груп у соєвих протеїнах може допомогти покращити їхню здатність до адгезії з

деревиною, що в свою чергу може позитивно вплинути на міцність адгезійних зв'язків у клейових складах.

Термічна обробка фанери під час гарячого пресування покращує водостійкість клею за рахунок покращення щільності зшивання клейового шару у фанері. Крім того, за високої температури відбувається денатурація білків у соєвих протеїнах відбувається через модифікаційні процеси. Тому важливим є розглянути аспекти термічної обробки соєвих протеїнів.

1.4. Вплив температури на клеї на основі соєвого протеїну

Впродовж багатьох років було розроблено декілька методів термічного модифікування соєвих протеїнів, тобто термічна обробка дисперсії соєвих протеїнів, термічна обробка порошку соєвого протеїну та термічна обробка зразків, що склеюються [34, 35].

Термічна обробка протеїн - найпоширеніший процес денатурації протеїнів. Швидкість денатурації протеїну зростає зі збільшенням температури. [36] швидкість денатурації протеїну зростає зі збільшенням температури. Під час денатурації протеїну його молекулярна структура змінюється під впливом високих температур, зміни рН, солей або інших зовнішніх факторів. Це може призвести до розкриття гідрофобних або -SH (сульфгідрильних) груп, які раніше були розміщені в амінокислотних ланцюгах протеїну.

Відкриті сульфгідрильні групи або гідрофобні бічні ланцюги можуть реагувати між молекулами протеїну через різні механізми, такі як реакція обміну -SH (за участю сульфгідрильних груп) або гідрофобна взаємодія. Це може призводити до формування нових хімічних зв'язків між протеїновими молекулами, таких як дисульфідні мости (-SS-), або створювати гідрофобні зв'язки між гідрофобними регіонами протеїну.

У випадку використання протеїну для клею, денатурація протеїну може бути важливим етапом у процесі затвердіння клею. Відкриті сульфгідрильні

групи можуть реагувати з іншими молекулами протеїну або допомагати утворювати зв'язки між ними, що важливо для утворення міцного з'єднання між матеріалами під час склеювання.

Проте, одним з головних наслідків термічної модифікації білка є зниження його розчинності. Денатурований білок може втрачати здатність розчинятися у різних розчинниках або втрачати свою функціональність через зміну структури.

Термічне модифікування соєвого протеїнового ізоляту у воді за температури 50°C покращила склеюючу здатність порівняно з немодифікованими. Це дослідження вказує на важливість оптимальної температури попереднього нагрівання для досягнення максимальної міцності склеювання на основі протеїнів. Вказані результати показують, що попереднє нагрівання до 80°C призвело до досягнення максимальної міцності склеювання, оскільки це сприяло певному рівню денатурації протеїнів, що було корисним для утворення потрібних хімічних зв'язків та структур для склеювання [32,35, 37].

Однак сильне попереднє нагрівання до понад 110°C призвело до повної денатурації протеїнів, що спричинило зниження міцності склеювання. При цій високій температурі відбувається інтенсивна деструкція протеїнової структури, що може призвести до втрати функціональності та здатності білка взаємодіяти з поверхнею матеріалу для склеювання.

Таким чином, вибір температури попереднього нагрівання відіграє важливу роль у забезпеченні максимальної міцності склеювання на основі протеїнів, і вона може варіювати в залежності від конкретних типів протеїнів та умов процесу склеювання. Модифікований етанолом соєвий протеїн показав максимальну міцність склеювання за температури попереднього нагрівання 80°C, тоді як на зшитому соєвому протеїновому ізоляті (модифікованому глутаральдегідом) не спостерігався ефект помірного попереднього нагрівання [37].

Термічна обробка соєвого протеїну ізоляту за температури 50°C у

поєднанні із лужною попередньою обробкою, наприклад, NaOH призводить до зміни рН середовища до 11 покращувала міцність склеювання порівняно із протеїном, який термічно модифікований за температури 50°C.

Термічна обробка соєвого протеїнового ізоляту за температури 120°C у поєднанні із кислотною обробкою, наприклад, соляною кислотою (HCl) також покращує міцність склеювання [37].

Механічні показники міцності та водостійкості композитів термічно оброблених кислотами соєвих протеїнових ізолятів були додатково покращені шляхом зшивання із синтетичними смолами, а саме поліізоціанатом, епоксидним латексом та модифікованим поліамідом за рахунок утворення міцних хімічних зв'язків у протеїново-деревинних інтерфейсах. Модифікований поліамід був більш кращим зшивачем на основі міцності на розрив та водостійкості [38].

Запропоновано новий метод термічного модифікування соєвого протеїну ізоляту у вакуумній камері. Термічне модифікування у вакуумній камері при температурі 50°C у поєднанні з регулюванням рН дисперсії до 10 з NaOH та температурою підготовки дисперсії 50°C, значно покращила міцність на зріз виготовлених зразків. [38].

Термічна обробка склеєних зразків також вплинула на показники склеювання клею на основі соєвого протеїну [38, 39] Термічна обробка фанери після гарячого пресування покращила водостійкість клею за рахунок поліпшення щільності зшивання клейового шару у фанері.

Протеїни, які піддалися денатурації, утворюють комплекси із більшою молекулярною масою. Дані комплекси потім зшиваються зарахунок утворення ковалентних зв'язків їх функціональних груп, або зарахунок реакцій із додаванням зшиваючих компонентів. Порівняно із немодифікованими соєвими протеїнами, отримані структури значно зменшують когезійне порушення клейових зв'язків [27, 35].

Термічна обробка соєвого протеїнового ізоляту за температури 120°C у поєднанні з кислотною обробкою HCl (термічна кислотна обробка) також

покращує міцність склеювання. Механічні показники міцності та водостійкості композитів термічно оброблених кислотами соєвих протеїнових ізолятів були додатково покращені шляхом зшивання із синтетичними смолами, а саме поліізоціанатом, епоксидним латексом та модифікованим поліамідом.

Отже, зміна температури склеювання може призводити до зміни властивостей готової продукції, оскільки може відбуватися різний ступінь денатурації соєвого протеїну.

1.5. Висновки та завдання дослідження

Виробництво фанери та фанерних виробів є складним процесом, де багато факторів впливають на фізико-механічні характеристики готової продукції. Ці характеристики визначаються відповідно до стандартів і технічних вимог.

Фізико-механічні властивості фанери залежать від великої кількості факторів, зокрема і випадкових. Проведені дослідження і практика фанерного виробництва дозволили встановити основні технологічні фактори і діапазон їх змінювання. Основними технологічними факторами процесу склеювання фанери є: температура, тиск, тривалість склеювання і витрата клею. Керування цими технологічними параметрами може допомогти уникнути впливу випадкових факторів і забезпечити стабільність якості продукції фанери. Оптимізація цих параметрів дозволяє досягти високих фізико-механічних властивостей, міцності та надійності склеювання.

Термічне модифікування соєвого протеїнового ізоляту у воді за температури 50°C покращила склеюючу здатність порівняно з немодифікованими. Це дослідження вказує на важливість оптимальної температури попереднього нагрівання для досягнення максимальної міцності склеювання на основі протеїнів.

Температура буде впливати на денатурацію соєвого протеїну, а відповідно і на формування зв'язків між луцценим шпоном та клеєм на основі соєвого протеїну. Ці зміни в структурі протеїнів можуть впливати на клейові властивості, такі як адгезія, міцність з'єднання та водостійкість. Таким чином, дослідження параметрів пресування, таких як температура та тривалість склеювання є важливою для досягнення бажаних характеристик клейових композицій на основі соєвих протеїнів.

Отже, серед основних факторів, що впливають на якість фанери, можна виділити такі: сортність шпону (якість та характеристики вихідного матеріалу), склад клейової композиції (тип клею та його властивості), умови склеювання (температура, тиск, тривалість процесу), та інші.

Метою роботи було дослідити вплив параметрів пресування на властивості фанери на основі соєвого протеїну.

Відповідно, до поставленої мети потрібно вирішити наступні завдання:

- проаналізувати вплив режимних параметрів на формування клейових з'єднань;
- експериментальні дослідження впливу режимних параметрів на фізико-механічні показники склеювання;

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Міцність фанери – один з основних показників, що характеризує її якість, значного мірою залежить від режимів склеювання шпону. Однак, умови підготовки пакета шпону до склеювання (нанесення клею, складання пакета, підпресування) також мають велике значення для виробництва якісної продукції.

Технічні стандарти, такі як ДСТУ EN 314-1 та EN 314-2: 2003, мають велике значення для оцінки якості фанери, зокрема, її міцності на зріз. Доцільно визначити вплив різних параметрів, таких як температура, час склеювання на фізико-механічні властивості фанери. Це дозволяє підібрати раціональну температуру для склеювання, що забезпечить не лише відповідність стандартам.

2.1. Матеріали для експериментальних досліджень

Виконання експериментальних досліджень використовувались такі наступні матеріали:

- шпон лущений порода – береза, розмірами 300×300×1,5 мм, вологістю $6\pm 2\%$;

- соєвий протеїн;
- цитратна кислота;
- гідроксид натрію;
- дистильована вода.

Соєвий протеїн ізолят 92% (СПІ) – кремний порошок, який під час додавання води добре адсорбує молекули води, утворюючи однорідні суспензії. Розмір гранул орієнтовано становить 5-6 мкм. Її було отримано від комерційного постачальника.

Гідроксид натрію (NaOH) – біла, непрозора, гігроскопічна, кристалічна речовина. Вона добре розчинна у воді. При з'єднанні із водою виділяється велика кількість тепла. Проявляє сильні лужні властивості.

Значення рН 1%-го водного розчину становить 13. Гідроксид натрію є їдкою сполукою, при потраплянні на шкіру викликає омилення жирів та хімічні опіки, спричиняє корозію окремих металів. Речовина застосовується у виробництві численних продуктів, зокрема, поверхнево-активних речовин, паперу, косметики, лікарських засобів.

2.2. Обладнання для проведення експериментів

Під час проведення експериментів було використане наступне обладнання:

- електронні ваги BD2000 (точність 0,1 г.);
- електронні ваги AD2000 (точність 0,01 г.);
- хімічний стакан місткістю 0,8 л.;
- хімічний стакан місткістю 0,6 л.;
- хімічний стакан місткістю 0,25 л.;
- скляна паличка;
- шпатель для нанесення клею на листи шпону;
- штангенциркуль для вимірювання товщини пакету до і після підпресування;
- індикатор годинникового типу для вимірювання товщини пакету відразу після підпресування;
- секундомір для контролю за часом;
- прес для гарячого пресування ПРЕС 160-400-23 (ГОСТ 11997-75);
- розривна машина для визначення максимального руйнівного навантаження на зріз фанери по клеєвому шву;
- персональний комп'ютер для обробки отриманих результатів.

2.3. Методика планування досліджень виготовлення фанери

Планування експерименту

Вивчали вплив основних технологічних факторів на властивості фанери, виготовленої з шпону і клею на основі соєвого протеїну. Змінними факторами були прийняті:

- температура склеювання:
- тривалість склеювання:

Інші фактори були прийняті на рівнях, найпринятніших у виробництві фанери (тиск склеювання – 1,8 МПа; витрата клею 150г/м²). Виготовлялася тришарова фанера. Рівні та інтервали змінювання факторів наведено в табл.2.1.

У вибраному плані експерименту кожний фактор змінюється на двох рівнях: верхньому (+), нижньому (-). З метою спрощення запису умов експерименту і обробки експериментальних даних фактори записувались в нормалізованих позначеннях.

Таблиця 2.1

Рівні та інтервали змінювання факторів

Назва фактора	Позначення фактора		Рівень змінювання фактора		Інтервал змінювання фактора
	натуральне	нормалізоване	нижній (-1)	верхній (+1)	
Температура склеювання, °С	T	X_1	130	170	20
Тривалість склеювання, хв	t	X_2	4	8	2

Матриця планування в натуральних і нормалізованих значеннях факторів наведена в табл.2.2.

Таблиця 2.2

Матриця планування експериментів в натуральних і нормалізованих значеннях факторів

№	Значення факторів			
	Натуральні		Нормалізовані	
	$T, ^\circ\text{C}$	$t, \text{хв}$	x_1	x_2
1.	130	4	-1	-1
2.	130	6	-1	0
3.	130	8	-1	+1
4.	150	4	0	-1
5.	150	6	0	0
6.	150	8	0	+1
7.	170	4	+1	-1
8.	170	6	+1	0
9.	170	8	+1	+1

Діапазон температур склеювання бу вибраний із врахуванням виробничих умов виготовлення фанери.

2.4. Методика проведення експериментальних досліджень

Приготування клеїв вимагає механічного перемішування клеїв, що додаються у визначеній послідовності, до утворення однорідної композиції із наступною витримкою для досягнення потрібних параметрів.

Приготування досліджуваних клеїв починали з того, що розраховували необхідну кількість компонентів відповідно до рецепту. Вміст компонентів у грамах розраховували за формулою:

$$Q_{\text{ком}} = \frac{Q_{\text{кл}} \cdot q_{\text{ком}}}{\sum Q_i} \quad (2.1)$$

де $Q_{\text{ком}}$ – кількість компонента, який треба ввести в клей, г;

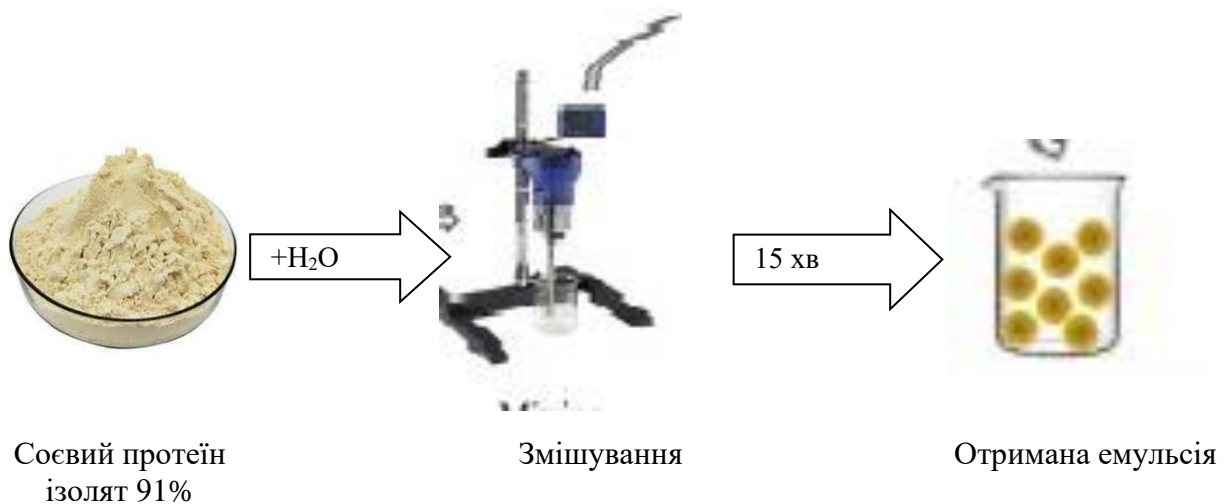
$Q_{\text{кл}}$ – кількість клею, яку треба приготувати, г;

$q_{\text{ком}}$ – кількість компонента в клеї за рецептом, мас.ч;

$\sum Q_i$ – сумарна кількість всіх компонентів клей за рецептом, мас.ч.

Потім відважували відповідну кількість компонента в посудину для приготування клею.

Приготування клеїв на основі соєвого протеїну відбувалося наступним чином: до соєвого протеїну ізоляту 91% додавали виміряну кількість дистильованої води. Далі перемішували до 15 хв, щоб утворилася однорідна суспензія. Співвідношення між соєвим протеїном ізолятом 91% та водою становило 1:5.



Із попередніх досліджень встановлено, що найвищі показники міцності фанери на зріз були із застосуванням клею на основі соєвого протеїну ізоляту 91%, який модифікований гідроксидом натрію, вміст якого становив 3 мас.ч.

Методика виготовлення фанери

Процес виготовлення зразків фанери складався з наступних етапів: приготування клею, підготовки шпону, нанесення клею на шпон, формування та пресування пакета.

Для дослідження використовували клеї, на основі соєвого протеїну за рецептурою, застосовувався лущений шпон породи береза розміром 300×300×1,5 мм. Вологість шпону становила 6±2%, добір шпону здійснювався за принципом найбільшої одноманітності без видимих дефектів.

Під час формування пакетів шпону напрямок волокон деревини в

суміжних шарах був взаємоперпендикулярним. Під час виконання дослідів кількість шарів шпону було три. Потім на два листи шпону шпателем наносився клей, витрата якого контролювалася ваговим методом. Зібрані пакети пресувалися на лабораторному пресі марки ПГ-160-400 рис.2.3.

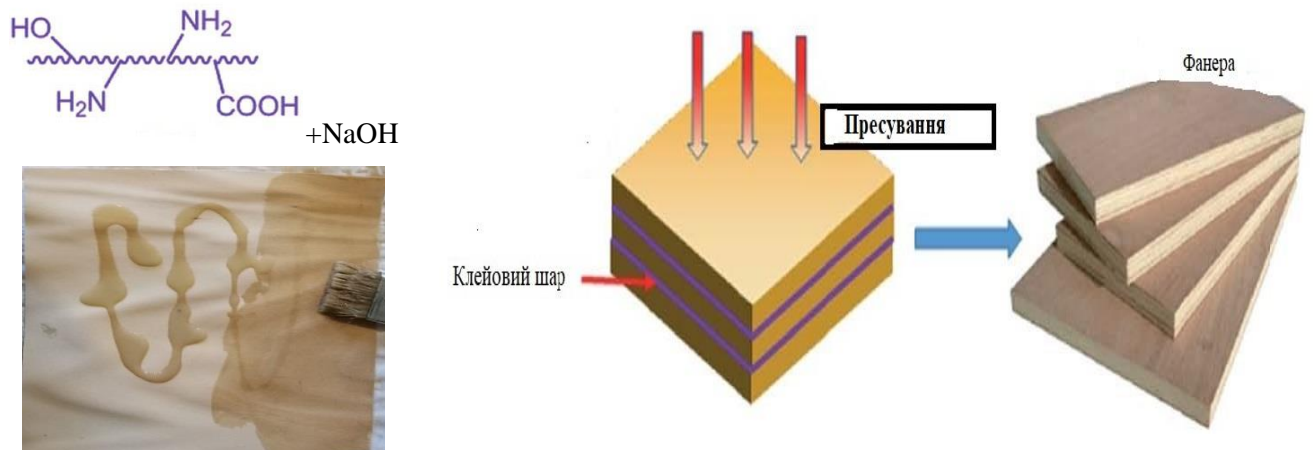


Рисунок 2.3. Процес виготовлення фанери



Рисунок 2.4. Пресування пакету в пресі марки ПГ-160-400

Під час гарячого склеювання тиску склеювання для березового шпону становлять 1,8-2,2 МПа, тому верхньою межею тиску було вибрано 1,8 МПа.

Кількість витраченого клею на одиницю площі визначалась з врахуванням стану поверхні, товщини шпону та прийнято витрату клею 150 г/м².

Контроль за вологістю луценого шпону та фанери здійснювали контактним методом за допомогою вологоміру марки НМВ-WS1 (рис 2.5.) в 5-ти точках (чотири вимірювання по периметру і одне вимірювання в центрі листа шпону) та визначалось середнє арифметичне значення.



Рис.2.5. Вологомір НМВ-WS1

2.5. Методика визначення властивостей фанери

Визначення межі міцності на зріз зразка фанери

Визначення межі міцності на зріз зразка фанери виконувалось згідно ДСТУ EN 314-1:2003, EN 314-2:2003. Зразки для випробування виготовлялися відповідно до рис. 2.6.

Довжина площини зрізу – $l_1 = 25$ мм, ширина площини зрізу – $b_1 = 25$ мм, рівна ширині зразка для випробування, ширина пропилу – $b_2 = 4$ мм, мінімальна відстань між затискачами в пристрої для випробування $l_2 = 50$ мм. Відхилення від номінальних розмірів за довжиною і шириною зразка $\pm 0,5$ мм.

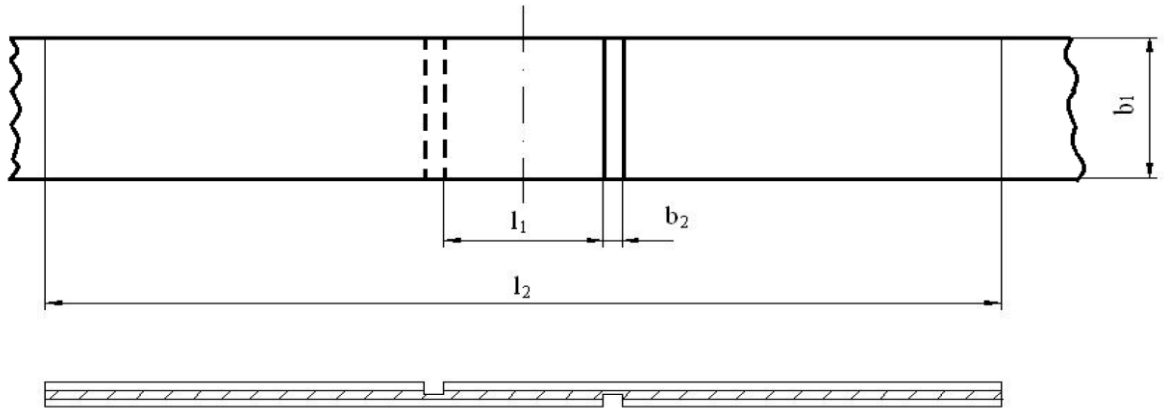


Рисунок 2.6. Зразок для випробувань міцності на зріз згідно ДСТУ EN 314-1:2003

Кожен зразок для випробування виготовляли таким чином, щоб напрямок волокон шару, що знаходиться між пропилами і який перевіряють на міцність, проходив поперек довжини зразка.

Перед випробуванням зразки фанери, яка виготовлена на основі соєвого протеїну витримували впродовж 24 год у воді за температури $20 \pm 3^\circ\text{C}$.

Після чого зразки закріплювали у спеціальних пристосуваннях (з рифленими затискними кулачками) розривної машини і піддавали випробуванню рис. 2.7.

Зразки встановлювали таким чином, щоб навантаження випробувальної машини Р-05 переносилось без поперечних зусиль через кінці зразків на площу зрізу. Зразок навантажували рівномірно з постійною швидкістю, щоб руйнування відбулося через 30 ± 10 с.



Рисунок 2.7. Загальний вигляд випробовувань

Сила руйнування визначається із точністю до 1 Н. Міцність фанери на зріз f_v (МПа) обчислювали за формулою:

$$f_v = \frac{F}{b \cdot l}, \quad (2.2)$$

де F – сила руйнування зразка, Н;

b – ширина площини зрізу, мм;

l – довжина площини зрізу, мм.

Під час випробовування зразків, руйнування виявлялось по деревині та по клейових швах у місці зрізу, також під час випробування не було руйнування поза зоною площини зрізу.

Визначення спресування

Ущільнення шпону під час його склеювання важливе з погляду фізико-механічних властивостей фанери і економіки її виробництва. Різницю між початковим і кінцевим розмірами склеюваного матеріалу, яка віднесе-на до його початкового розміру, прийнято називати спресуванням і вира-

жати у процентах.

Для визначення спресування застосовували метод заміряння товщини листів шпону та фанери, оскільки інші дві геометричні величини (довжина і ширина) залишаються незмінними.

Перед формуванням пакета електронним штангенциркулем вимірювали товщину кожного листа шпону у чотирьох точках по периметру із точністю до 0,01 мм.

Із виміряних чотирьох товщин листа шпону визначали середнє арифметичне, яке приймали за товщину листа шпону S_1 .

Далі обчислювали товщину пакета шпону (мм), що рівна сумі товщин листів шпону:

$$S_{\Pi} = S_1 + S_2 + S_3 \quad (2.3)$$

Товщину фанери S_{ϕ} вимірювали у чотирьох точках та розраховували середнє арифметичне.

Спресування C у (%) обчислювали за формулою:

$$C = \left(1 - \frac{S_{\phi}}{S_n} \right) \cdot 100 \quad (2.4)$$

де S_{Π} – товщина пакета шпону до склеювання, мм;

S_{ϕ} – товщина фанери, мм.

2.6. Статистична обробка даних

Метою проведення експерименту є визначення параметрів об'єкту досліджень, які змінюються внаслідок впливу певної кількості факторів, що призводить до нестабільності досліджуваних характеристик об'єкта, який досліджується. Тому значення результатів експериментальних досліджень розглядаються як статистична сукупність випадкових величин, яку наближено можна оцінити на основі статистичного аналізу результатів вибірки.

Для первинної обробки експериментальних даних вибірки потрібні такі

основні статистичні параметри: середнє арифметичне значення \bar{y} ; вибіркова дисперсія S^2 ; середнє квадратичне відхилення S ; коефіцієнт варіації V ; середня помилка середнього значення S_y ; показник точності дослідів P .

Точність та об'єктивність значення вимірювальної характеристики і правильність залежить від правильності обробки експериментальних даних.

Спочатку визначаємо середнє арифметичне значення \bar{Y} :

$$\bar{Y} = \frac{Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n}{n} \quad (2.5)$$

де $Y_1, Y_2 \dots Y_n$ - результати серії досліджень,

n - кількість дослідів.

Дисперсія вибірки S^2 :

$$S^2 = \frac{(Y_1 - \bar{Y})^2 + (Y_2 - \bar{Y})^2 + \dots + (Y_n - \bar{Y})^2}{n - 1} \quad (2.6)$$

Середнє квадратичне відхилення:

$$S = \sqrt{S^2} \quad (2.7)$$

Коефіцієнт варіації, що є оцінкою змінності значень вибірки або відносною похибкою даної характеристики.

$$v = \frac{S}{\bar{Y}} \cdot 100\% \quad (2.8)$$

Середня похибка значень:

$$S_y = \pm \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (2.9)$$

Показник точності:

$$P = \frac{S_y}{\bar{Y}} \cdot 100\% \quad (2.10)$$

Показник точності дослідів повинен бути $P < 5\%$.

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Метою досліджень було дослідити вплив параметрів режиму пресування (температури та тривалості) на властивості фанери, яка виготовлена за допомогою клею на основі соєвого протеїну ізоляту із додаванням такого модифікатора, як гідроксид натрію. Дану клейову композицію (100 мас.ч. суспензії соєвого протеїну ізоляту та 3 мас.ч.гідроксиду натрію) відібрано на підставі аналізу експериментів, які проводились у попередніх дослідженнях. Для проведення експериментальних досліджень розроблено методику, яка наведено в табл. 2.1. сталими параметрами пресування: тиск ($P=1,8\text{МПа}$), витрата клею ($q=150\text{ г/м}^2$).

3.1. Вплив температури та тривалості склеювання на міцність фанери на зріз

На основі проведених експериментальних досліджень було отримано значення міцності фанери зріз. Зразки перед випробуванням вимочувалися у воді температурою 20°C впродовж 24 год. На основі отриманих зачень було побудовано залежність міцності фанери на зріз від тривалості та температури склеювання. Дану залежність зображено на рисунку 3.1.

З рисунку 3.1 можна впливає, що при збільшенні температури склеювання від 130°C до 150°C міцність фанери на зріз зростає приблизно в 1,1 рази. Цей ефект можна пояснити тим, що при підвищенні температури відбувається покращення взаємодії між клеєм і деревиною. Це включає у себе збільшення реакційної здатності клею, покращення умов змочування та розтікання, що в результаті призводить до підвищення міцності склеювання.

Також це можна пояснити тим, що вища температура склеювання призводить до швидшого випаровування вологи, що сприяє більшій адгезії. Навпаки, при температурі 130°C клеї на основі соєвого протеїну ізоляту мали меншу текучість, і волога не могла швидко випаровуватися, перешкоджаючи ефективній адгезії.

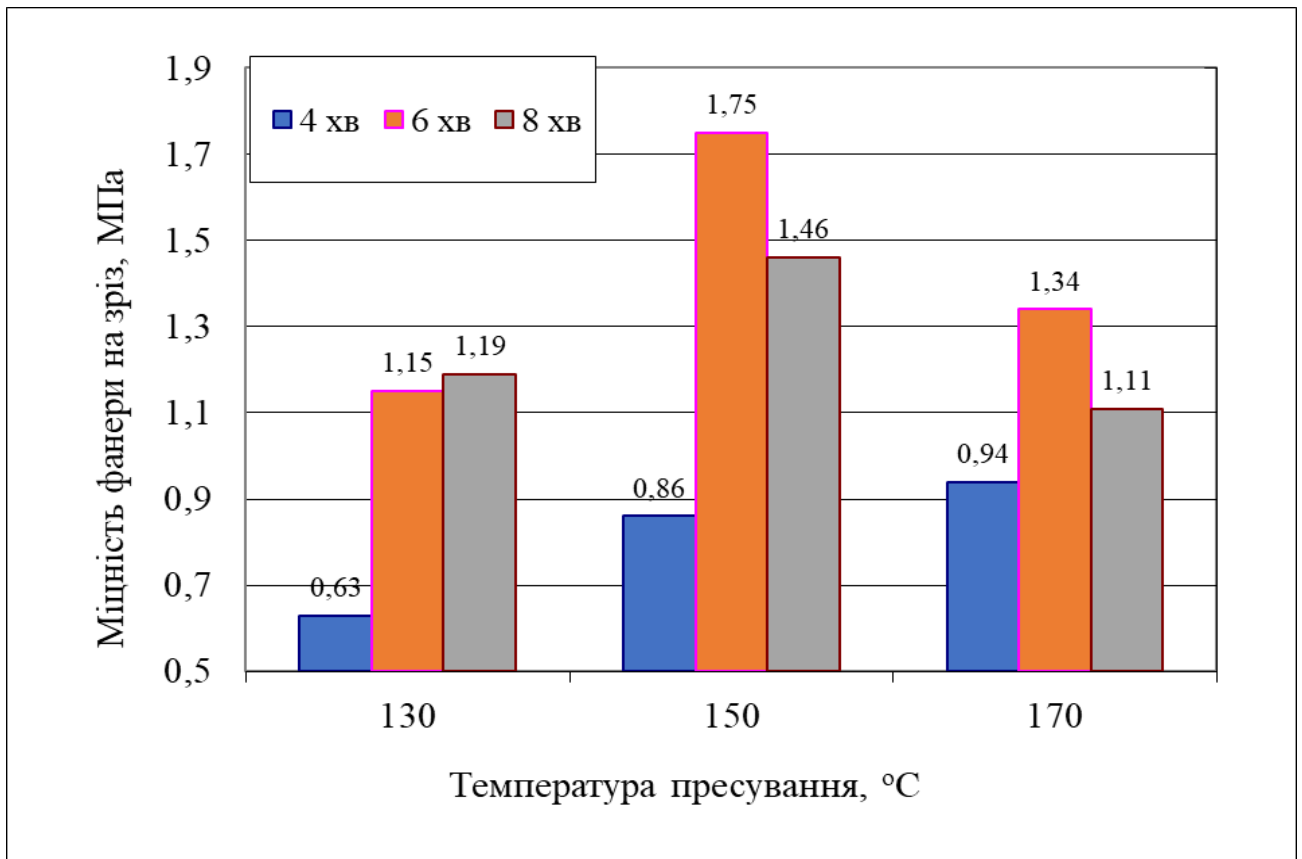


Рисунок 3.1. Залежність міцності фанери на зріз від температури та тривалості пресування

При нижчій температурі склеювання клею, в основу якого входить водяна суспензія соєвого протеїну потрібно було більше часу для видалення вологи та завершення процесу затвердіння та формування клейових з'єднань. Протягом усього часу нагрівання плитами пресу тепло передавалося ззовні всередину, і фанера поступово досягала температури пресування від поверхневого шару до основного шару.

Внутрішня температура фанери не відповідатиме температурі затвердіння клеїв, як це необхідно, якщо тривалість склеювання буде занадто малою. Тому із рисунку випливає, що тривалість, що при тривалості склеювання 4 хвилини, отримано найменші показники міцності фанери на зріз 0,63-0,86 МПа, що не відповідає вимогам стандарту. За температури 170°C та тривалості 4 хвилини значення міцності фанери на зріз дещо вищі та становлять 0,94 МПа. Можна вважати, що клей перебував в процесі

видалення вологи та не досягав фази затвердіння, тому міцність на зріз після витримки у воді 24 год була низькою.

Отже, дана тривалість склеювання (4 хв) не рекомендується для склеювання тришарового пакета шпону, оскільки, зменшується інтенсивність прогрівання пакета і, як наслідок, зменшується суттєво процес формування клейових з'єднань та інтенсивність вологоперенесення в середині пакета шпону, що буде призводити до надлишку вологи в центрі склеюваного пакета, а це, у свою чергу, буде руйнувати утворені клейові зв'язки.

Однак вміст твердої речовини в клеях на основі соєвого протеїну низький, тому вони містять велику кількість вологи. Оскільки випаровування вологи суттєво впливає на тривалість, тому необхідно подальші детальні дослідження.

Найвищі показники міцності фанери на зріз (1,75 МПа) спостерігалися за температури 150°C, оскільки за такої температури спостерігається поступове прогрівання пакета та виділення вологи. Крім того із літературних джерел відомо, що така температура є комфортною для розкриття глобул протеїну та вивільнення функціональних груп для кращої взаємодії між клеєм та деревиною. Вища температура може негативно впливати на протеїн, навіть його частково денатурувати.

Під час процесу затвердіння молекули соєвого протеїну можуть сплутуватися одна з одною, тим самим підвищуючи міцність зв'язку, а гідроксид натрію дає змогу підвищити водостійкість клейового шару. Свідченням цього є те, що зразки витримують вимочування впродовж 24 год у воді кімнатної температури. Тому даний клей може бути рекомендованим для виготовлення дитячих іграшок, меблів.

Отже, під час дослідження впливу температури та тривалості склеювання на міцність фанери на зріз, встановлено, що використання температури склеювання 130-170°C дає змогу отримати фанеру, міцність якої відповідає вимогам чинного стандарту.

3.2. Вплив температури та тривалості склеювання на спресування фанери

Процес спресування базується на властивості натуральної деревини деформуватися без руйнування під дією навантаження. Під впливом тиску відбувається деформація клітин деревини в радіальному та тангентальному напрямках, що призводить до збільшення кількості деревної речовини в одиниці об'єму [1].

Температура та тривалість склеювання впливатимуть як на міцність клейового з'єднання, так і на спресування пакета шпону. Після проведення експериментальних досліджень та обробки даних отримали наступні залежності спресування пакета шпону від досліджуваних факторів (рис. 3.2).

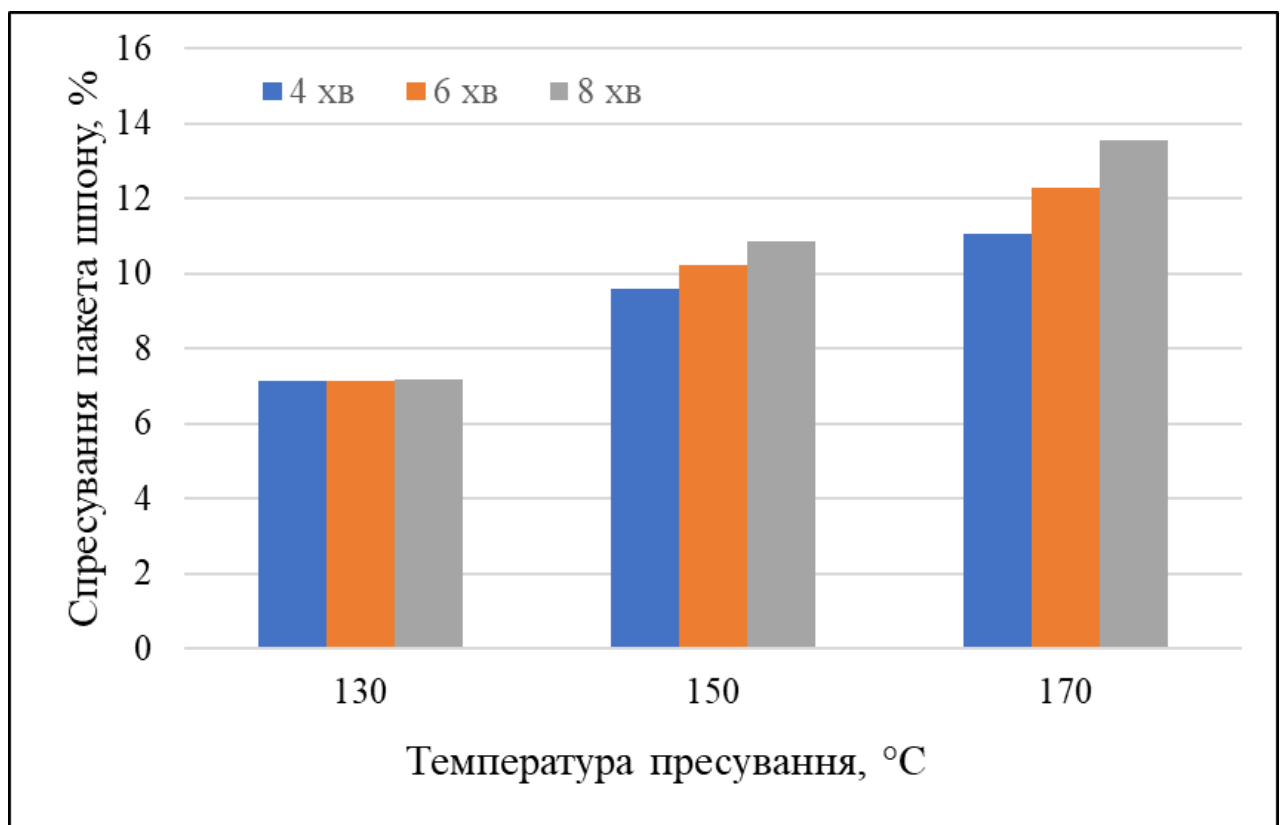


Рисунок 3.2. Залежність спресування пакета шпону від температури та тривалості пресування

Під час процесу прогрівання пакета, а саме зі збільшенням температури від 130 до 170°C, призводить до інтенсивного зростання залишкової

деформації. Водночас величина відновної деформації зменшується, навіть за постійного тиску склеювання – 1,8 МПа. Факторами, що впливають на прискорення або сповільнення цього процесу, є температура склеювання та вологість пакета шпону. Відомо, що під час нанесення клею на основі соєво-протеїнової суспензії на шпон, відбувається додаткове внесення надлишкової вологи, що може впливати на спресування.

З рисунку 3.2 видно, що вплив температури на деформативність деревини є значним, оскільки спостерігається збільшення ущільнення пакета шпону в середньому в 1,6 рази під час гарячого склеювання при зміні температури плит преса від 130°C до 170°C.

Оскільки, підвищення температури впливає на деревину, роблячи її більш м'якою та пластичною, що призводить до збільшення її деформації. Це обумовлено підвищенням пластичності лігніну та геміцелюлози, що в свою чергу сприяє значному ущільненню матеріалу.

3.3. Вплив температури та тривалості склеювання на вологість фанери

Кінцева вологість готової продукції є ключовим показником для оцінки її властивостей. В результаті проведення експериментальних досліджень та подальшої обробки даних отримали наступні результати, що наведено на рисунку 3.3.

Підвищення температури склеювання від 130 до 170°C призводить до зменшення вологості фанери у 1,3 рази.

Аналіз експериментальних даних дає можливість зробити висновки, що використання температури склеювання 130-170°C та діапазону тривалості від 4 до 8 хвилин дає змогу отримати фанеру вологістю 8,0-11,9%, що відповідає вимогам технологічних інструкцій з виготовлення фанери

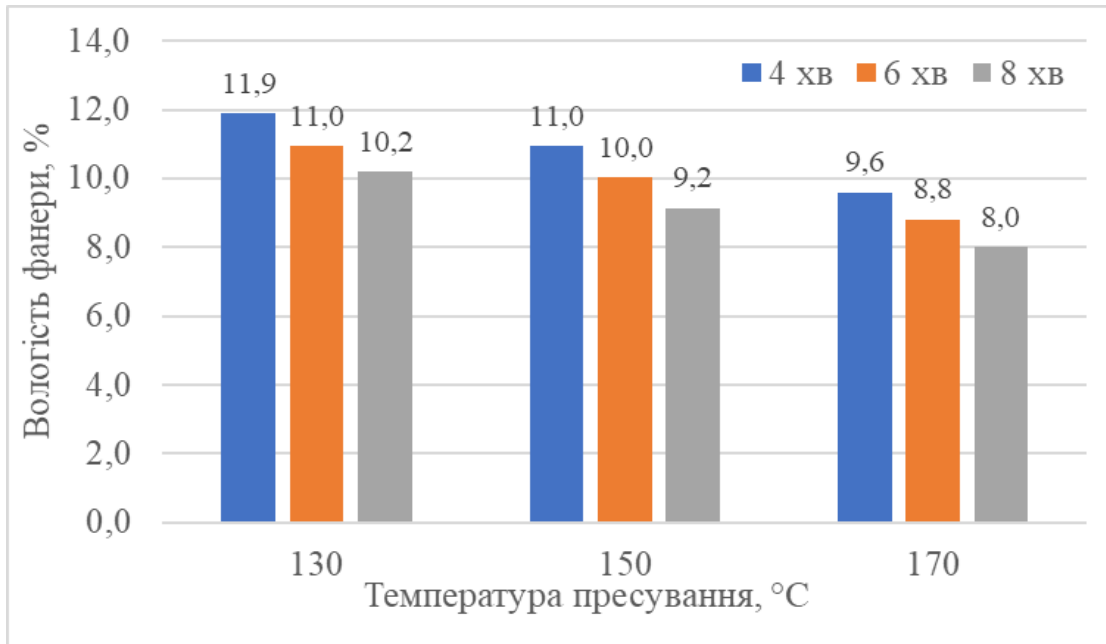


Рисунок 3.3. Залежність вологості фанери від температури та тривалості пресування

Із рисунку випливає, що із збільшенням температури та тривалості пресування вологість фанери зменшується. Надлишкова волога, що вводится із клеєм у пакет шпону під дією температури випаровується,

Отже вологість фанери відповідає технічним вимогам та стандарту.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Метою роботи було дослідити вплив параметрів пресування на властивості фанери виготовленої на основі соєвого протеїну. Із попередніх досліджень вибрано клей, що складався із суспензії соєвого протеїну – 100 мас.ч. та гідроксиду натрію – 3 мас.ч.).

Важливим є встановити параметри пресування, зокрема температуру та тривалість склеювання, оскільки для соєво-протеїнових клеїв немає чітко встановлених параметрів. Значення, які характеризують режим склеювання, є лише середніми значеннями реальних випадкових величин або залежностей.

Зміна параметрів може виникати через різноманітні фактори, такі як властивості матеріалів, якість поверхонь, хімічні особливості клею, температура та вологість середовища тощо. Наведені режими склеювання можуть бути раціональними лише в певних умовах, але не обов'язково підходити для всіх ситуацій або матеріалів. Навіть зміна хоча б одного з цих параметрів вимагатиме коригування режимів.

Під час дослідження впливу температури та тривалості склеювання на міцність фанери на зріз, встановлено, що використання температури склеювання 150-170°C дає змогу отримати фанеру, міцність якої відповідає вимогам чинного стандарту.

Вплив температури на деформативність деревини є значним, оскільки спостерігається збільшення ущільнення пакета шпону в середньому в 1,2 рази під час гарячого склеювання при зміні температури плит преса від 130°C до 170°C.

Аналіз експериментальних даних дає можливість зробити висновки, що використання температури склеювання 130-170°C та діапазону тривалості від 4 до 8 хвилин дає змогу отримати фанеру вологістю 8,0-11,9%, що відповідає вимогам технологічних інструкцій з виготовлення фанери.

Список використаної літератури

1. Бехта П.А. Технологія виробництва фанери: Навчальний посібник. – Київ: ІЗМН, 1996. – 280с.
2. Бехта П. А., Салдан Р.Й. Режимы склеивания малотоксичной фанеры на основе карбамидоформальдегидной смолы, модифицированной амоний персульфатом Научный вестник Нац. аграрн. ун-ту. 56 Лісовий Журнал, 1/2011.
3. Wellons J.D., Kraemer R.L., Sandol M.D., Jokerst R.W. Thickness loss in hot pressed plywood. Forest Products Journal, 1983 – v.33. – №1. – P. 27-34.
4. Buikis A., Cepitis S., The mathematical model of the plywood production. Proceedings of the 13th WSEAS International Conference on Applied Mathematics. – Spain, 2008.
5. Чубинский А.Н. Формирование клеевых соединений древесины . – Санкт-Петербург: СПб.: Издательство С.-Петербургского университета, 1992 – 164 с.
6. Sedliačik J. Procesy lepenia dreva plastov a kovov. – Zvolen: TU vo Zvolene, 2005. – 221 s.
7. Li et al. Effects of Hot-Pressing Parameters on Shear Strength of Plywood Bonded with Modified Soy Protein Adhesives. BioResources 2014. 9(4), 5858-5870.
8. Михайлов А.Н. Процессы, протекающие при склеивании. – Ленинград: ЛТА, 1965. – 88 с.
9. Михайлов А.Н. Роль давления при склеивании древесины / Михайлов А.Н. – Ленинград: ЛТА, 1966. – 38 с.
10. Richard P. W., Richard P. W., Xiuzhi Susan Sun Bio-Based Polymers and Composites. Publisher: Elsevier Science & Technology Books. Pub. Date: July 2005.
11. Bernard M. Collett A review of surface and interfacial adhesion in wood science and related fields / Bernard M. Collett // Wood Science and Technology. – 1972. – v.6 – P. 1-42.

12. Берлин А.А. Основы адгезии полимеров / А.А. Берлин, В.Е. Басин – Москва: Химия, 1974. – 358 с.
13. Dunn, L. B.; Hojilla, M. P. Foaming Properties of Soy Proteins and Their Use in Plywood. Adhesives. Abstract, in New Industrial Products Based on Soy Proteins, United Soybean. Board, Kansas City, MO; 1998.
14. Угрюмов С.А. Применение основных положений теории адгезии для повышения качества клееных материалов / С.А. Угрюмов // Современные наукоемкие инновационные технологии развития промышленности региона: тезисы докладов междунауч.-техн. конф. – Кострома : КГТУ, 2008. – С. 185-186.
15. Creighton TE. Proteins: structures and molecular properties. 2nd ed. New York (NY): W.H. Freeman; 1996.
16. Cheng E. Adhesion Mechanism of Soybean Protein Adhesives with Cellulosic Materials. Thesis, Kansas State University, Manhattan, KS; 2004
17. Mo X., Sun X Thermal and Mechanical Properties of Plastics Molded from Urea Modified Soy Protein Isolates. J. Am. Oil Chem. Soc. 2001, 78, 867-872p.
18. Hettiarachchy N. S. Amer. J., Kalapathy U., Myers D. J. Oil Chem. Soc. /, 1995, 72(12), 1461-1464p.
19. Wescott JM, Frihart CR, Traska AE. High-soy-containing water-durable adhesives. J. Adhes. Sci. Technol. 2006;20:859–873.
20. Tanford C. Protein denaturation. Adv. Protein Chem. 1968;23:121–282.
21. Lambuth, A. L. In Handbook of Adhesives, 2nd ed.; Skeist, I., Ed.; Van Nostrand Reinhold Company: New York, NY, 1977; pp 181–191.
22. Tanford C. Protein denaturation. Adv. Protein Chem. 1968;23:121–282.
23. Чубинский А.Н. Деформация пакета шпона из лиственницы при склеивании / Плиты и фанера: научн.-техн. реф.сб. – Москва: ВНИПИЭлеспром, 1976. – №11. – С. 12-13.

24. Wescott JM, Frihart CR, Traska AE. High-soy-containing water-durable adhesives. *J. Adhes. Sci. Technol.* 2006;20:859–873.
25. Frihart CR, Birkeland MJ. Soy properties and soy wood adhesives. In: Brentin RP, editor. *Soy-based chemicals and materials*. Washington (DC): American Chemical Society; 2014. p. 167–192.
26. Hamarneh AI, Heeres HJ, Broekhuis AA, et al. Use of soy proteins in polyketone-based wood adhesives. *Int. J. Adhes. Adhes.* 2010;30:626–635.
27. Bernard M. Collett A review of surface and interfacial adhesion in wood science and related fields / Bernard M. Collett // *Wood Science and Technology*. – 1972. – v.6 – P. 1-42.
28. Ковальчук Л. М. *Технология склеивания* / Ковальчук Л. М. – Москва: Лесная промышленность, 1973. – 208 с.
29. Chelak W. MDI High Moisture Content Bonding Mechanism, Parameters, and Benefits Using MDI in Composite Wood Products. / Chelak W. Newman W. H. // *Composite Materials Syrup.*, 1991, pp. 205-229.
30. Kumar R. / Adhesives and plastics based on soy protein products // Kumar R. Choudhary V, Mishra S, et al.. *Ind. Crops Prod.* 2002;16:155–172.
31. Li X. Production and characterization of high strength, thin-layered, pulp fiberboard using soy protein adhesives // Li X , Wang D, Ratto JA, et al. *J. Adhes. Sci. Technol.* 2013;27:2065–2074.
32. Frihart CR, Birkeland MJ. Soy properties and soy wood adhesives. In: Brentin RP, editor. *Soy-based chemicals and materials*. Washington (DC): American Chemical Society; 2014. p. 167–192.
33. Gui C, Liu X, Wu D, et al. Preparation of a new type of polyamidoamine and its application for soy flour-based adhesives. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 2013;90:265–272.
34. Doroteja Vnučec, Andreja Kutnar & Andreja Goršek (2017) Soy-based adhesives for wood-bonding – a review, *Journal of Adhesion Science and Technology*, 31:8, 910-931, DOI: 10.1080/01694243.2016.1237278
35. Cheng E. Adhesion Mechanism of Soybean Protein Adhesives with

Cellulosic Materials. Thesis, Kansas State University, Manhattan, KS; 2004.

36. Куликов В.А. Технология клееных материалов и плит / . Куликов В.А., Чубов А.Б. // Учебник для вузов. - Москва: Лесная промышленность, 1984. – 344с.

37. 13. Mo X., Sun X. Effects of Storage Time on Properties of Soybean Protein-based Plastics. Soy Derived Protein as Raw Material for Structural Wood Adhesives. Abstract, in New Industrial Products Based on Soy Proteins. /J. Polym. // Env. 2003, 11, 15-22.

38. Frihart CR, Birkeland MJ. Soy properties and soy wood adhesives. In: Brentin RP, editor. Soy-based chemicals and materials. Washington (DC): American Chemical Society; 2014. p. 167–192.

39. Creighton TE. Proteins: structures and molecular properties. 2nd ed. New York (NY): W.H. Freeman; 1996.

40. Пижурин А.А., Роземблит М.С. Исследование процессов деревообработки. – Москва: Лесная промышленность, 1984. – 232с.

41. Пилипчук М.І., Григор'єв А.С., Шостак В.В. Основи наукових досліджень: підруч. – К.: Знання, 2007. – 270 с.

42. ДСТУ EN 314-1: 2003. Фанера. Якість з'єднання. Частина 1. Методи випробування.

Д о д а т к и

Позначення, які використовували для проведення статистичної обробки результатів

n - число дослідів;

\bar{Y} - середнє арифметичне значення;

S^2 - вибіркова дисперсія;

S - середнє квадратичне відхилення;

v - коефіцієнт варіації;

S_y - середня похибка значення;

P - показник точності дослідy.