

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Навчально-науковий інститут деревообробних технологій і дизайну

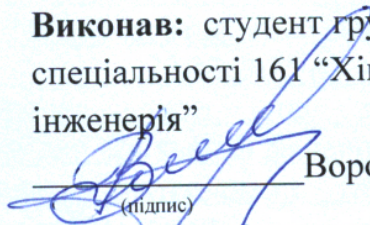
Кафедра технологій деревинних композиційних матеріалів,
целюлози та паперу

Пояснювальна записка

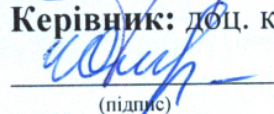
до дипломної роботи магістра на тему:

**“Дослідження властивостей фанери армованої
тканими матеріалами”**

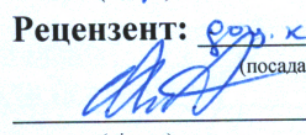
Виконав: студент групи ТДКМ(м)-61
спеціальності 161 “Хімічні технології та
інженерія”


Воробйов В.О.
(підпис)

Керівник: доц. каф. ТДКМ, к.т.н.


Бринь О.І.
(підпис)

Рецензент: доц. каф. ТЗНЕСБЖД
(посада, вчене звання, науковий ступінь)

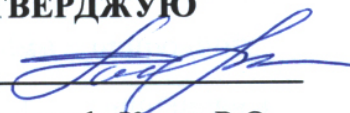

Соколовський І.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Навчально-науковий інститут деревообробних технологій і дизайну
Кафедра технологій деревинних композиційних матеріалів, целюлози та паперу
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія
Освітня програма Технології деревинних композиційних матеріалів і
модифікування деревини

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри 
д.т.н., проф. Козак Р.О.

“22” листопада 2025 року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Воробйову Василю Олеговичу

1. Тема роботи Дослідження властивостей фанери, армованої тканими матеріалами

керівник роботи доц. кафедри ТДКМ Бринь Олеся Ігорівна, к.т.н.,
затверджені наказом університету від “22” жовтня 2024 року № С-846

2. Термін подання студентом роботи 22.12.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: Проаналізувати види армованої фанери. Проаналізувати види тканих матеріалів для армування фанери. Дослідити фізичні властивості фанери, армованої тканими матеріалами. Дослідити механічні властивості фанери, армованої тканими матеріалами.

4. Зміст пояснювальної записки (розділи, які потрібно розробити)

Вступ

1. Аналітичний огляд літератури

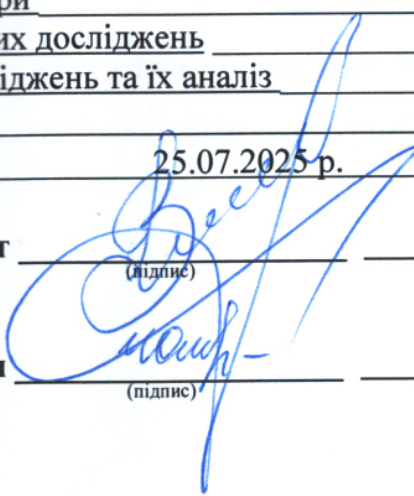
2. Методика експериментальних досліджень

3. Результати проведених досліджень та їх аналіз

Висновки

5. Дата видачі завдання 25.07.2025 р.

Студент  Воробйов В.О.

Керівник роботи  Бринь О.І.

АНОТАЦІЯ

У роботі досліджено вплив різних видів армувальних матеріалів на фізико-механічні властивості фанери. Розглянуто сучасний стан виробництва фанери, її класифікацію, основні види сировини та клейових систем, а також вимоги нормативних документів до якості та експлуатаційних характеристик матеріалу.

У ході експериментальних досліджень виготовлено п'ятишарові зразки фанери з березового шпону з використанням карбамідоформальдегідної смоли марки А. Армування здійснювалося тканими матеріалами природного, неорганічного та синтетичного походження, з одно- та двошаровим розміщенням армуючих прошарків. Визначено вплив армування на межу міцності фанери під час статичного згинання, розтягу перпендикулярно до пласта та міцність на зріз.

За результатами досліджень встановлено, що використання окремих видів армувальних матеріалів по-різному впливає на міцність фанери. Зокрема, армування скловолокном та лляними матеріалами сприяє підвищенню міцності при згинанні, тоді як застосування базальтових та деяких текстильних відходів може призводити до зниження показників міцності внаслідок підвищеної гігроскопічності армуючих матеріалів та нерівномірного розподілу клею.

Отримані результати можуть бути використані для оптимізації технології виготовлення армованої фанери та розширення сфер її застосування у будівництві, меблевому виробництві та інших галузях.

Ключові слова: фанера, армування, фізико-механічні властивості, карбамідоформальдегідна смола, текстильні матеріали, міцність.

Зміст

Вступ	5
Розділ 1. Аналітичний огляд літератури	6
1.1. Армована фанера та її застосування.....	6
1.2. Види армування.....	9
1.3. Класифікація матеріалів для армування фанери.....	12
Розділ 2. Методика експериментальних досліджень	18
2.1. Матеріали виготовлення фанери.....	18
2.2. Обладнання та прилади.....	20
2.2.1. Лабораторний посуд, вимірювальні прилади, та обладнання.....	20
2.3. Виготовлення армованої фанери тканими матеріалами.....	21
2.4. Дослідження фізико-механічних властивостей армованої та контрольної фанери.....	27
2.4.1. Планування експерименту та обрання змінних факторів.....	27
2.4.2. Випробування і визначення фізичних властивостей фанери.....	29
2.4.3. Визначення щільності фанери.....	29
2.4.4. Визначення спресування фанери.....	30
2.4.5. Визначення водопоглинання та набрякання за товщиною.....	31
2.4.6. Випробування і визначення механічних властивостей фанери.....	32
2.4.7. Межа міцності фанери на статичний згин та модуль пружності.....	35
2.5. Статистична обробка даних результатів досліджень.....	37
Розділ 3. Результати проведених досліджень та їх аналіз	40
3.1. Вплив тканих матеріалів на межу міцності під час статичного згинання.....	40
3.2. Вплив армованих матеріалів на межу міцності під час розтягу перпендикулярно пласті зразка.....	41
3.3. Вплив армуючих матеріалів на водопоглинання фанери.....	42
3.4. Вплив армуючого матеріалу на набрякання армованої фанери за товщиною.....	43
3.5. Вплив армуючих матеріалів на водопоглинання фанери.....	46
3.6. Вплив армувальних матеріалів на межу міцності фанери на згин.....	46
Список використаних джерел.....	51
Висновок.....	53

ВСТУП

Фанера, один з найстаріших матеріалів на основі деревини, що постійно використовується в історії людства [1 2], вважається на пізній стадії зрілості або занепаду життєвого циклу продукту [3] з очікуваним глобальним річним темпом зростання від 2,23% до 7,8% на найближчі роки [4 5].

Незважаючи на негативний прогноз останніх десятиліть, фанера є безумовно найбільш споживчим матеріалом на основі деревини з річним світовим виробництвом від 160 до 180 мільйонів м³.

Армована фанера — це високоефективний композитний матеріал, який поєднує фанеру та армуючий матеріал (найчастіше скловолокно) для створення міцної та легкої панелі, відомої як армована скловолокном фанера або FRP-панель. Це робить матеріал набагато міцнішим, стійкішим до вологи та зносу, ніж звичайна фанера, завдяки чому він широко використовується в будівництві та суднобудуванні.

Мета роботи – дослідження властивостей фанери, армованої тканими матеріалами.

Для реалізації заданої мети потрібно вирішити наступні завдання:

- проаналізувати види армованої фанери;
- проаналізувати види тканих матеріалів для армування фанери;
- дослідити фізичні властивості фанери, армованої тканими матеріалами;
- дослідити механічні властивості фанери, армованої тканими матеріалами.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Армована фанера та її застосування

Першоджерела, де згадуються тонкі дерев'яні листи, з'єднані для підвищення міцності, сягають часів Стародавнього Єгипту та Китаю. Там ці тонкі дерев'яні пластини знаходили застосування у виготовленні меблів, декоративних елементів, а також у конструкціях невеликих суден. На той час обробка деревини здійснювалася виключно вручну, а для склеювання застосовувалися натуральні смоли та крохмаль. Істинний прорив у сфері виробництва фанери відбувся у ХІХ столітті завдяки винаходу верстатів, призначених для механічного лущення шпону — ультратонких шарів деревини. Це дало змогу створювати великоформатні та високоякісні листи фанери, суттєво розширивши її сферу застосування..

До настання ХХ століття фанера вже активно використовувалася у будівництві, авіаційній галузі та меблярстві. З'явилися інноваційні клейові суміші на основі синтетичних смол, що значно покращило показники водостійкості та загальної міцності матеріалу.

Сьогодні процес виробництва перетворився на високотехнологічний етап із залученням автоматизованих ліній, скрупольозного контролю якості та застосуванням екологічно безпечних клейових систем. Сучасні технології дають змогу виготовляти фанеру з різноманітними властивостями : від вологостійкої та вогнезахисної до специфічних марок, необхідних для авіабудування та суднобудування .Крім того , активно інтерпретуються методи повторного використання деревних залишків та цифрові засоби контролю, що робить процес виробництва більш екологічно відповідальним та економічно вигідним.

Для створення якісної фанери критично важливим є використання відповідної сировини . Основу матеріалу складають деревина та клейові склади , при цьому обов'язково враховуються екологічні стандарти задля забезпечення безпеки як у процесі виробництва, так і під час експлуатації.

Головні деревні породи , придатні для виготовлення фанери:

- береза — вирізняється високою міцністю та зносостійкістю, часто використовується для фанери меблевого та авіаційного призначення;

- хвойні породи (сосна,ялина,модрина) —мають меншу вагу, застосовуються у будівельній сфері та для виготовлення більш бюджетних варіантів фанери;

- комбінована деревина—являє собою суміш листяних та хвойних порід , забезпечуючи оптимальне співвідношення вартості та експлуатаційних характеристик.

Другий ключовий компонент у процесі виготовлення фанери — це клейовий склад. Можуть застосовуватися:

- ПВА та інші клейові розчини на водній основі — придатні для використання всередині приміщень, є безпечними та економічними;

- фенол-формальдегідні сполуки — надають матеріалу водостійкості та підвищеної міцності, використовуються для зовнішньої фанери та у промислових цілях;

- екологічно чисті клеї останнього покоління — мінімізують викиди шкідливих речовин і знаходять застосування у сучасному виробництві.

Екологічні вимоги, що висуваються до сировини для виробництва фанерних листів:

- застосування деревини, отриманої з сертифікованих лісових господарств , що ведуть діяльність стало;

- моніторинг та контроль що до вмісту формальдегіду та інших хімічних речовин у клейових сумішах; Вологість фанери — становить 5-15%, хоча виробники часто вказують 8-10% для готової продукції.

Фанера відрізняється за кількістю шарів і форматом:

довжина- 1250 ,1500 ,1525 , 2440

- ширина- 2250 , 1500 , 3050 , 1525 , 1220

- товщина - від 3 до 40 мм

- кількість шарів фанери може коливатися від 3 до 20 і більше — чим більше, тим міцніший лист;

- стандартні розміри — 1220×2440 мм, але доступні й інші формати.

Залежно від товщини виробів і змінюються їх механічні характеристики. Міцність на розрив перпендикулярно до шару плити в середньому становить 1,2-1,8 МПа.

Міцність під час згинання:(для зовнішніх шарів):

- при товщині плити від 3 до 6 мм вона повинна бути 60-85 МПа;

- при товщині від 9 до 12 мм вона повинна бути 55-75 МПа;

- при товщині від 15 до 18 мм вона повинна бути 50-70 МПа .

- при товщині від 21 до 30 мм вона повинна бути 45-65 МПа .

Для внутрішніх шарів зазвичай на 30-40% менше.

Якість поверхні фанери повинна відповідати нормам, що передбачає ДСТУ EN 636:2014 (або 2022) .

- Конструкція: за кількістю шарів фанери підрозділяється від 3 до 20 і більше — чим більше, тим міцніший лист;

Фанера буває марок – ФБФ, ФК.ФКМ, ФСФ, ФБ. Марки мають різні показники міцності на згин, стійкості до деформації, різну водостійкість та , схильність до жолоблення.

Згідно з чинним ГОСТ 30427-96 фанеру поділяють за сортами:

Елітна (Е,А) фанера не має дефектів, допустимі незначні зміни будови деревини.

I сорт (1,І,В) – 3 видимих вад деревини допустимі здорові цілісні сучки, світлі – діаметром до 15 мм, темні – до 6, а також з тріщинами до 0,5 мм. Допустима кількість видимих дефектів – до 5 на м².

II сорт (2,II,ВВ) – Допускаються здорові сучки, світлі без регламентації розміру, темні до 20 мм, отвори в місцях сучків, що не зрослися, до 6 мм,

зімкнуті та розкриті тріщини, довжина перших може досягати 200 мм, ширина других не повинна перевищувати 2 мм.

III сорт (3, III, CP) – Допускаються сучки, світлі та цільні, здорові – без обмежень за розміром, темні з тріщиною не ширше 1,5 мм, незрощені та випавші – до 6 мм, зімкнуті та розкриті тріщини. IV сорт (4, IV, C) – Допустиме латання одинарними та подвійними вставками, наявність вм'ятин і накладок, замазка дефектів до 60 мм. Кількість і розміри здорових сучків не регламентуються, допустимі також сучки, які зрослися, не зрослися, випали (діаметр отворів до 40 мм), розімкнуті тріщини шириною до 10 мм.

1.2. Види армування

Армування фанери волокнистими матеріалами – це процес створення деревоволокнистого композиту, де зовнішні поверхні або внутрішні шари фанери посилюються шарами, сітками або просоченням зі штучних або синтетичних волокон.

Мета такого армування – значно підвищити міцність, жорсткість, зносостійкість, водонепроникність та стійкість до розтріскування, особливо для застосування в агресивних або високо навантажених середовищах.

В індустріальному виробництві фанери, найбільш поширеним методом посилення за допомогою волокон є використання шарів, просочених смолою.

Технічно волокном називають видовжений об'єкт, який має відношенням довжини до його діаметра більше одиниці [9]. Волокна можуть бути безперервно або переривчасто вбудовані в матрицю, де вони можуть бути орієнтовані або випадково вирівняні, що призводить до високоефективних інженерних матеріалів [12]. Висока якість волокна характеризуються такими його показниками – малий діаметр, висока гнучкість і велике співвідношення довжини до діаметра.

Волокна, що використовуються для армування тканин, можна розділити відповідно до їх походження на два класи – синтетичні, а також натуральні [14]. Матеріали, які армовані натуральними волокнами можна назвати композитами з натуральних волокон (NFC). Вони характеризуються зниженою щільністю та зменшеним впливом на навколишнє середовище [15]. Композити з натуральних волокон поділяються за допомогою походження волокон на волокна рослинного, тваринного та мінерального походження [14]. Дослідження армування виробів на основі деревини тканинами, переважно на основі синтетичних волокон, з методом покращення механічних властивостей складають 1960-ті роки [16]. Останні дослідження щодо натурального волокна армування фанери поєднуються на використанні мінерального базальтового волокна]. У той час як застосування волокна в композитах на основі деревини зазвичай розташовується на поверхні через покращення міцності на розрив порівняно з нативною деревиною під навантаженням, що перешкоджає індукованому статичному вигину [17].

Основні види армування фанери волокнистими матеріалами

Армування паперовою плівкою на основі волокна

Це найпоширеніший метод посилення фанери, який, хоч і не використовує пряме скловолокно, але базується на волокнистому матеріалі – папері.

Смола, твердіючи під тиском, створює надзвичайно міцний, щільний і зносостійкий зовнішній шар, який захищає деревину від вологи, хімікатів та механічного стирання. Це надає фанері високу оборотність, наприклад, при використанні в опалубці. різновиди покриттів:

Гладке (ГЛ/ГЛ): Для опалубки, меблів, стін фургонів.

Сітчасте (С/ГЛ): Найбільш "армований" варіант у цій категорії. Рельєфна сітка створює високу стійкість до стирання та ковзання, що є критичним для підлог транспортних засобів та будівельних лісів.

Армування скловолокном

Це високоефективний метод, частіше застосовується для створення спеціалізованих конструкційних композитів на основі фанери.

Скловолокно накладається на поверхню фанери і просочується смолою, формуючи міцний, легкий і водонепроникний композитний шар. У суднобудуванні, наприклад, для корпусів яхт, фанера з деревини окуме комбінується з епоксидною смолою та скловолокном, створюючи матеріал, що за міцністю порівняний з вуглецевими композитами.

Скловолокно є високоміцним армуючим елементом, який забезпечує екстремальну водостійкість (використання в морській та авіаційній промисловості), високу міцність на розтяг та вигин, ефективно перерозподіляючи навантаження та захист від біологічного руйнування.

Армування вуглецевими (карбоновими) або базальтовими волокнами

Хоча менш поширені через високу вартість, ці матеріали можуть використовуватися для створення надлегких та надміцних конструкцій.

Вуглецеві та базальтові волокна мають вищий модуль пружності та міцність на розрив, ніж скловолокно. Їх застосування дозволяє отримати найлегші та найміцніші фанерні композити, які використовуються в авіації, спортивному обладнанні та високотехнологічному будівництві.

Волокнисте армування запобігання руйнування, адже волокна приймають на себе основне навантаження на розтягнення та вигин, запобігаючи поширенню тріщин і деформації самого дерев'яного шпону. А також сприяє захистом від середовища: щільний і непроникний волокнисто-смоляний композитний шар (як у ламінованій або склопластиковій фанері)

ізолює деревину від вологи, ультрафіолету, грибків та агресивних хімічних речовин, значно продовжуючи термін служби матеріалу.

1.3 Класифікація матеріалів для армування фанери

Введення високо-міцних армувальних елементів, таких як вуглецеві або арамідні волокна, виводить фанеру з категорії традиційних деревних плит у клас деревно-полімерних гібридних композитів. Для інженерних досліджень та розробок це має прямі наслідки. Стандартна фанера регулюється Технічними умовами ДСТУ EN 636. Проте, коли фанера посилюється високопродуктивними композитами, що можуть використовуватися навіть в аерокосмічній галузі, наявні будівельні норми та стандарти можуть виявитися недостатніми для оцінки кінцевого продукту. Це означає, що виробники інноваційних гібридних матеріалів повинні адаптувати технічні умови, застосовувані до композитів, або розробляти власні, високоспеціалізовані технічні умови, щоб забезпечити належну оцінку міцності та надійності матеріалу.

1 Для поверхневого армування

Поверхнєве армування є найпоширенішим методом для підвищення експлуатаційної довговічності фанери, особливо в умовах циклічного використання та впливу агресивних середовищ. Основним механізмом є покриття поверхні смоляними плівками, що виконують функцію гідроізоляції та захисту від стирання.

Фанера, відома як ламінована, покривається з однієї або обох сторін спеціалізованою плівкою.

Типи ламінуючих плівок

Фенольні плівки: Це найбільш затребуваний тип покриття, що ґрунтується на фенолформальдегідних смолах. Вони надають фанері підвищену водостійкість і критично важливу зносостійкість, що робить цей

матеріал стандартом для опалубних систем. Ламінована фанера з фенольним покриттям зазвичай має темно-коричневий колір.

Меламінові плівки: Також використовуються для покриття фанери. Вони можуть застосовуватися у випадках, коли потрібні особливі декоративні властивості або стійкість до певних хімічних впливів.

Ламінована фанера є доступною за вартістю і має гідні експлуатаційні характеристики. Якість покриття забезпечується виробниками світового рівня з Фінляндії, Німеччини, Польщі, Іспанії та України.

У таблиці 1.1 подано порівняльну характеристику плівок для ламінування.

Таблиця 1.1.

Порівняння технічних характеристик ламінуючих плівок

Тип плівки	Хімічна природа	Діапазон щільності, г/м ²	Ключові функціональні переваги	Типове застосування
Фенольна	Фенолформальдегідна смола	70 – 240 (вкл. 120, 145)	Висока водостійкість, зносостійкість, довговічність (до 50 циклів)	Багаторазова опалубка, транспортні підлоги
Меламінова	Меламінформальдегідна смола	Н/Д (залежить від виробника)	Стійкість до подряпин, декоративність, хімічна стійкість	Інтер'єрні панелі, меблі, підлоги

Технічні параметри та показники якості

Щільність покриття: Діапазон щільності захисної плівки може становити від 70 до 240 г/м³. Типові стандарти для фенольної плівки включають 120 г/м² та 145 г/м². Пряма залежність між більшою щільністю та вищою стійкістю до стирання робить цей параметр критичним.

Зносостійкість та циклічність: Для інженерних проєктів, таких як багаторазова опалубка, зносостійкість вимірюється в циклах використання. Ламінована фанера високої якості, наприклад, березового виробництва, може забезпечувати довговічність застосування до 50 циклів.

Вибір фанери з вищою щільністю плівки (наприклад, 145 г/м² порівняно з 120 г/м²) є не лише показником кращої якості, а й вирішальним економічним фактором. Хоча початкова вартість може бути вищою, збільшення кількості циклів використання (до 50 циклів) без необхідності заміни матеріалу призводить до значного зниження загальної вартості володіння (ТСО) і зменшення операційних витрат на будівництві.

Ламінована фанера ФСФ (фенолформальдегідна) завдяки підвищеній водостійкості активно використовується в опалубних системах, суднобудуванні та автомобілебудуванні (обшивка кузовів, підлогові покриття).

Нормативні вимоги до цього матеріалу встановлюються стандартами, такими як ДСТУ EN 636:2014 та ДСТУ EN 635-2:2022 (класифікація за зовнішнім виглядом поверхні). Для забезпечення екологічної безпеки, клас емісії формальдегіду повинен відповідати стандарту E1

2. Для структурного армування

Структурне армування передбачає інтеграцію високоміцних волокон у структуру фанери, створюючи гібридний композит, що радикально підвищує питому міцність та жорсткість матеріалу, що особливо актуально для застосувань з обмеженням ваги.

Ці волокна, як правило, неорганічного або синтетичного органічного походження.

Вуглецеве волокно: Композитні матеріали на основі вуглецевого волокна відомі своєю легкою вагою та високою міцністю. Волокно використовується у вигляді тканин або, що більш технологічно, у формі односпрямованих стрічок.

Наприклад, вуглецева стрічка щільністю 80 г/м² з орієнтацією волокон 0°. Використання односпрямованої орієнтації (0°) дозволяє перейти від традиційної фанери як квазіізотропного матеріалу до спеціалізованого анізотропного композиту. Це дозволяє інженерам максимізувати жорсткість і міцність уздовж основної осі навантаження, наприклад, при виготовленні елементів конструкції, де критичним є опір згину в одному напрямку, що оптимізує вагу конструкції.

Скловолокно: Часто використовується як більш економічна альтернатива або в комбінації з вуглецем. Прикладом є склотканина щільністю 385 г/м².

Арамідні волокна (Кевлар): Пара-арамідне волокно, відоме як Кевлар, забезпечує високий «страховий коефіцієнт» у критичних сферах. Його основні переваги включають стійкість до високих температур, стабільність, стійкість до старіння та вогнестійкість. Ці властивості роблять його ідеальним для армування фанерних панелей, де потрібна підвищена пожежна безпека.

Зростає інтерес до використання природних лігніноцелюлозних волокон, таких як джут і кокосове волокно, як економічно вигідної альтернативи синтетичному армуванню.

Джутові Волокна: Вони значно дешевші порівняно з традиційними армуючими волокнами. При перетворенні на композит із полімерною матрицею вони можуть набувати фізико-механічних властивостей деревини.

Виклики Гідрофільності: Головною технологічною перешкодою для джутових волокон є їхня висока гігроскопічність (поглинання вологи становить приблизно 12,5% при відносній вологості 65%). Ця особливість призводить до поганої змочуваності гідрофобною смолою та слабкого міжфазного зчеплення. Як наслідок, екологічні показники таких композитів є незадовільними через високий ризик розшарування у вологому середовищі.

У таблиці 1.2 подано характеристику армувальних волокнистих матеріалів.

Таблиця 1.2.

Характеристика армувальних волокнистих матеріалів

Тип Волокна	Природа	Ключові переваги	Технологічні виклики	Спеціалізоване застосування
Вуглецеве	Синтетичне, неорганічне	Висока питома міцність, легка вага, спрямована орієнтація (0°)	Висока вартість, складність інтеграції	Аерокосмічні та автомобільні панелі, високоміцна опалубка
Арамідне (Кевлар)	Синтетичне, органічне	Термостійкість, вогнестійкість, стабільність	Висока вартість, складність різання	Захисні панелі, елементи з підвищеними вимогами пожежної безпеки
Джутове/Кокосове	Природне, органічне	Низька вартість, екологічність	Висока гігроскопічність, необхідність хімічної гідрофобізації	Біокомпозити, будівельні перегородки

Також застосовується армування сітками .

Хоч вони і частіше асоціюються з підвищенням міцності бетону, штукатурки та систем утеплення фасадів , проте їхнє застосування може бути інтегровано і у фанерні системи, особливо при формуванні багат шарових підлогових або стінових конструкцій.

Металева сітка: Може бути тканною (оцинкована, з гнучким тонким дротом) або просічно-витяжною (з ромбоподібними осередками, виготовлена з тонкого металу). Металеві сітки часто застосовують там, де потрібно утримати великий обсяг розчину або забезпечити високу адгезію до важких покриттів.

Сітка зі склотканини та полімерна (пластик): запобігає відшаруванню, що є релевантним для зовнішнього покриття фанерних стінових панелей.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Матеріали виготовлення фанери

Для виготовлення зразків армованої фанери використовували шпон отриманий методом стругання . Товщина берези становила 1,3 мм , товщина та ширина зразка становила 30х30 см.

Вологість шпону 7% без гнилі та кори , карбамідоформальдегідна смола марки А фірми Polyprom (Україна) була використана як клей. Нанесення клею на шпон було встановлено 110 г / м².

Рецепт карбамідоформальдегідного клею наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1.

Рецепт карбамідоформальдегідного клею

Компонент клею	Кількість, мас.ч	
	Для зовнішнього шару	Для внутрішнього шару
Карбамідоформальдегідна смола	98	98
Хлористий амонію	1	1
Борошно	1	1

Карбамідоформальдегідна смола, яка використовується у цьому дослідженні, марки А, має значні переваги у порівнянні з іншими смолами у тому, що її отримують синтезом вихідних продуктів без утворення токсичних речовин у стічних водах. Клей на основі карбамідоформальдегідної смоли має низьку токсичність і високу міцність.

У таблиці 2.2 наведено характеристику смоли.

Таблиця 2.2.

Фізико - хімічні показники карбамід формальдегідної смоли марки А

Показник	Марка А
Зовнішній вигляд	Однорідна суспензія білого кольору без механічних включень
Густина при 20, г/см ³	1,28-1,30
Масова частка сухого залишку, %	Не менше 65,0 (при 120 °С)
Масова частка вільного формальдегіду, %	не більше 0,1
Умовна в'язкість по віскозиметру ВЗ-4 (сопло 4мм), с	70-100
Динамічна в'язкість по Брукфільду, МПа·с,	520±50
Концентрація водних іонів, рН	7,8±0,2
Час желатинізації при 100, с	не більше 57

Як затверджувач використовують розчин сульфату амонію. При температурі пресування він розкладається і утворює кислоти. Сульфат амонію поступово підвищує в'язкість клею і забезпечує потрібну життєздатність.

2.2. Обладнання та прилади

2.2.1 Лабораторний посуд, вимірювальні прилади, та обладнання

Для експериментальних досліджень використовувалося таке обладнання:

- лабораторний термометр з похибкою не більше 1 °С;
- круглодонна колба (об'єм 250 см³);
- воронка Бабо;
- пробірки;
- газовий пальник;
- мікрометр МК-25 0,01 для визначення товщини плівки;
- лінійка металева (ГОСТ 427-75);
- штангенциркуль (ГОСТ 166-80);
- мікрометр (ГОСТ 166-89) для визначення товщини шпону;
- ножиці;
- вологомір HMB-WS1;
- вага електронна AD 2000 (точність вимірювання 0,01 г);
- лабораторний гідравлічний прес фірми "Хомко";
- лабораторна випробувальна машина на зріз РМ – 05 (ГОСТ 28840);
- лабораторна випробувальна машина на згин та модуль пружності ВР 5 5HV;
- сушильна шафа SNOL 67/350;
- круглопилковий верстат;
- ексикатор;
- фільтрувальний папір;
- персональний комп'ютер для проведення статистичної обробки даних.

2.3 Виготовлення армованої фанери тканими матеріалами

Виготовлення фанери та дослідження її фізико-механічних властивостей виводилося в хімічній та технічній лабораторії Національного лісотехнічного університету України. Під час роботи використовувалося обладнання, яке належить цьому університету. Деревинну сировину та компоненти для приготування клейового розчину надало підприємство Модус.

Ткані матеріали були закуплені за власний рахунок у продавців на маркетплейсах Prom та OLX. Тканні матеріали використовувалися як натуральні (льон), неорганічні (базальтове волокно) та штучні (скловолокно). Тканина розрізалася на шматки приблизно розміром 300x300 мм.

Характеристика армуючих (тканих) матеріалів

Ляна тканина (рис.2.1).



Рис 2.1. Ляна тканина

Властивості льняної тканини:

Питома вага 300г/м².

Міцність вздовж волокон 85-100 кгс (830-980 Н).

впоперек волокон 60-80кгс (590-780 Н).

Товщина 0,55-0,65 мм.

Вологість: 12%.

Робоча температура +130 С⁰.

Температура руйнування +160 С⁰.

Температура горіння + 450 С⁰.

Скловолокно Т-10 (рис.2.2).

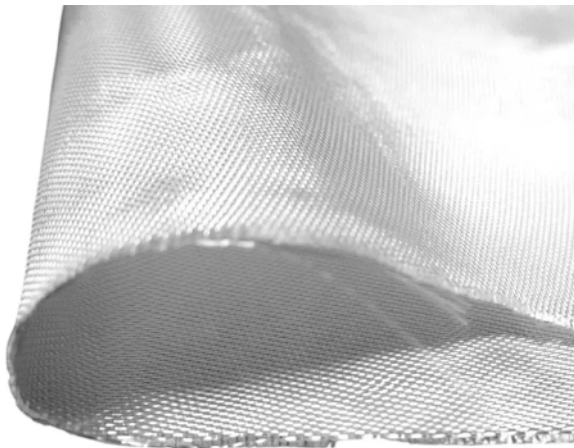


Рис 2.2. Скловолокно

Властивості скловолокна:

Товщина $0,23 \pm 0,03$ мм.

Питома вага 290 ± 15 г/м².

Міцність вздовж волокон 280 кгс (2744 Н).

З часом може деградувати в агресивному середовищі.

Базальтове волокно (рис.2.3).



Рис 2.3. Базальтове волокно

Властивості базальтового волокна:

Щільність 300 г/м².

Товщина 0,28-0,35 мм.

Розривне навантаження :

вздовж волокон 360-420кгс (3500-4100 Н).

впоперек волокон 280-320кгс (2700-3100 Н).

Модуль пружності: 90-110 ГПа.

Робочв температура від -260 до +700.

Воду не поглинає , не боїться кислот лугів , розчинників.

Виготовлення армованої фанери

Березовий шпон отриманий методом луцення не є випадковим. Адже береза (та вільха) характеризується високою однорідністю будови деревини, достатньою щільністю та міцністю при статичному згині вздовж волокон. Крім того, шпон листяних порід має дрібнопористу структуру, що сприяє рівномірному розподілу клейової суміші та глибокому проникненню зв'язуючого,. Попередня підготовка шпону включала контроль вологості, оскільки відхилення цього параметра може призвести до утворення парогазових пухирів під час гарячого пресування або не до пресування пакета.

Виготовляли п'ятишарові плити розмірами 300 × 300 мм без армучого матеріалу і з вмістом армучого матеріалу: натурального , неорганічного та штучного. Зразки були зроблені з вмістом одношарового та двошарового армування, а також без нього .Було зроблено по два зразка кожного армуючого. Армуючи матеріали додавали між першим та другим шаром (одинарне). а також між першим і другим та між четвертим та п'ятим(подвійне)

Процес виготовлення експериментальних зразків складався з наступних етапів:

1. зважування компонентів клею з точністю до 0,01г;
2. приготування робочого розчину клею;
3. нанесення розчину клею;
4. додавання армування між шарами шпону;
5. формування пакету рис.2.4.;
6. пресування рис.2.5.

Формування пакетів та пресування проводилося в умовах лабораторії кафедри.

Конструкція пакету складалася з 5 шарів шпону із взаємно перпендикулярним розташуванням волокон у суміжних листах. Армуючий матеріал вводився у кожен клейовий шар (показано в рис 2.4) за схемою:

Для двошарового армування

Шпон (поздовжній) – клейовий розчин – армування – клейовий розчин – шпон (поперечний) – клейовий розчин – шпон (поздовжній) – клейовий розчин – шпон (поперечний) – клейовий розчин – армування – клейовий розчин – шпон (поздовжній).

Для одношарового армування

Шпон (поздовжній) – клейовий розчин – армування – клейовий розчин – шпон (поперечний) – клейовий розчин – шпон (поздовжній) – клейовий розчин – шпон (поперечний) – клейовий розчин – шпон (поздовжній).

–Режими пресування:

Склеювання проводилося на гідравлічному пресі за наступними параметрами:

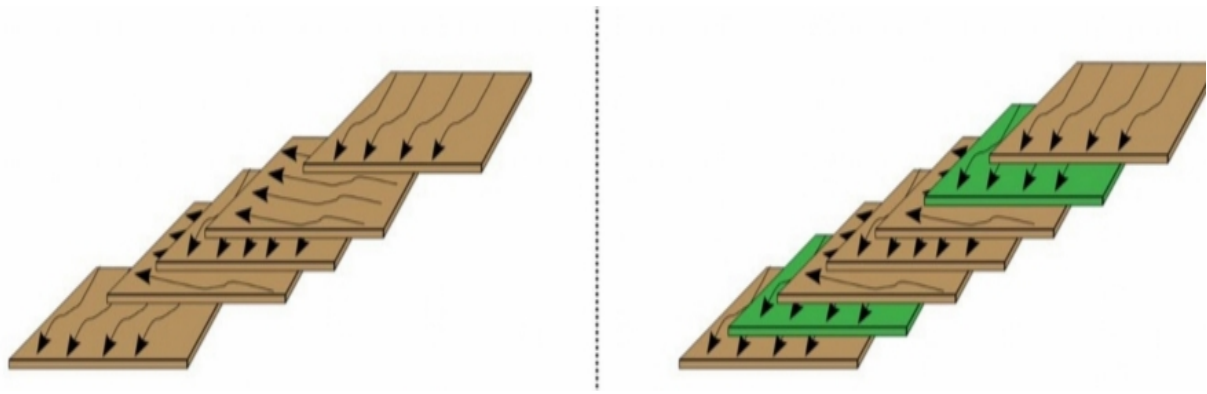
Температура плит пресу: 110 ± 5 °С.

Питомий тиск пресування: 1,8 МПа.

Час витримки під тиском: 6 хвилин (з розрахунку 1 хв/мм товщини + 2 хв на прогрів).

Після вивантаження з пресу зразки кондиціонувалися протягом 24 годин перед розкромом.

При формуванні пакетів шпону здійснювали одно- і двошарове армування. Армувальну тканину розміщали під зовнішніми шарами шпону. (Рис 2.4-2.5)



а) без армування

б) двошарове армування

Рис 2.4 Приклад складання пакета та розміщення в ньому армування

Одношарове армування проводиться аналогічно до двошарового , тільки в цьому випадку армування здійснюється лише з однієї сторони.

Формування пакету в лабораторних умовах показано на рис. 2.5.



Рис 2.5. Формування пакету в лабораторних умовах

Після чого завантажували пакет шпону у гідравлічний прес ПГ 160-400 (рис.2.6).



Рис 2.5. Розміщення пакета в пресі

Пресування проводили за таких параметрів: температурі 110 °С і тиску 1,8 МПа.

Температуру для пресування зразків вибирали на основі оцінки температури затвердіння карбамідоформальдегідної смоли. Час для пресування було становлено 6 хвилин і додаткову 1 хвилину для спускання тиску. Після чого фанеру вивантажували з преса і провели технологічну витримку.

Фізико-механічні властивості фанери з додаванням армуючих матеріалів у вигляді тканини порівнювали із зразками фанери без армування (контрольними). Контрольні зразки фанери пресування за такими ж параметрами.

2.4 Дослідження фізико-механічних властивостей армованої та контрольної фанери

2.4.1 Планування експерименту та обрання змінних факторів та

Одержану фанеру розкроювали (рис.2.6) та визначали її фізико-механічні властивості.



Рис. 2.6 Розміри зразків

Після відстоювання готової п'яти шарової фанери розміром 300x300 мм 24 години, з кожної фанери вирізали зразки для визначення таких фізико-механічних показників

- вологості (EN 322);
- щільності (EN 323);
- водопоглинання (EN 317);
- набрякання за товщиною (EN 317);
- міцності на зріз (EN 314-1, EN 314-2);
- міцності на згин (EN 310);
- модуля пружності (EN 310).

2.4.2. Випробування і визначення фізичних властивостей фанери

Визначення вологості досліджуваної фанери

Визначення вологості досліджуваної фанери здійснювали вологоміром (рис.2.7).



Рис. 2.7. Вологомір для визначення вологості фанери

Визначення щільності фанери

Одним з етапів визначення щільності зразків армованої та контрольної фанери було зважування їх з точністю до 0,01 г з наступним етапом – вимірювання лінійних розмірів. Процес зображено на рисунку 2.8.

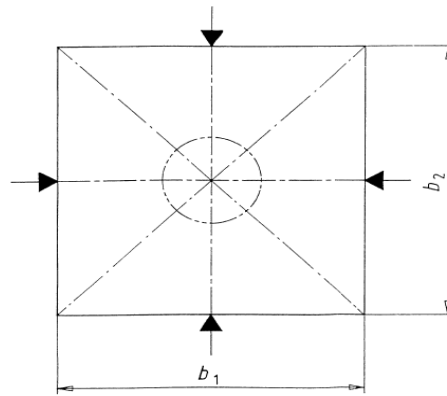


Рис. 2.8. – Визначення розмірів випробувальних зразків

Товщину фанерних зразків вимірювали з точністю до 0,01 мм в чотирьох точках. Як товщину беруть середнє арифметичне чотирьох вимірювань результатів. Довжину та ширину фанерних зразків вимірювали в поздовжньому і поперечному напрямках у двох місцях паралельно краям (точність 0,1 мм). Як довжину та ширину зразків беруть середнє арифметичне двох вимірювань.

Щільність розраховують за формулою (2.1) з точністю 1,0 кг/м³:

$$\rho_{\phi} = \frac{m}{l \cdot b \cdot S}, \quad (2.1)$$

- де m – маса зразка, кг ;
 b – ширина зразка, м ;
 l – довжина зразка, м ;
 S – товщина зразка, м.

Визначення спресування фанери

Спресування фанери проводили замірюванням товщини пакета шпону та товщини готової фанери. Товщину кожного листа шпону вимірювали у чотирьох точках із точністю до 0,01 мм, перед початком формування пакета шпону. Тоді визначали середнє арифметичне із чотирьох товщин листа шпону та шарів армування.

Спресування фанери C_{ϕ} (%) обчислювали за формулою:

$$C_{\phi} = \left(1 - \frac{S_{\phi}}{\sum_{n=1}^3 S_{ш} + S_{nl}} \right) \cdot 100, \quad (2.2)$$

де n – кількість шарів фанери, $n=3$;

S_{ϕ} – товщина фанери, мм;

$S_{ш}$ – товщина шпону, мм;

S_{nl} – товщина армування, мм.

Дослідження водопоглинання та набрякання за товщиною

Водопоглинання та набрякання за товщиною визначали на квадратних зразках 50 мм × 50 мм × S мм. Дослідження проводилося на зразках, які підлягали визначенню модуля пружності та границі міцності під час статичного згинання. Після визначення маси та товщини, зразки у вертикальному положенні занурювали у воду з рівнем рН 7 ± 1 і температурою (20 ± 1) °С. Температуру води підтримували протягом усього випробування. Зразки витримували у воді 24, 48, 72 та 120 годин. Після закінчення часу занурення зразки видаляли з води, надлишок води видаляли з поверхні за допомогою фільтрувального паперу та повторно визначали їх масу та товщину (рис.2.9).



Рис. 2.9. Приладдя для визначення водопоглинання зразків фанери: 1 – електронна вага; 2 – штангенциркуль

Розрахунок показника водопоглинання здійснювали з точністю 1 % за такою формулою:

$$\Delta W_{\text{вод}} = \frac{m - m_2}{m_2} \cdot 100, \quad (2.3)$$

де m_2 – маса зразка до зволоження, кг;

m – маса зразка після зволоження, кг.

Набрякання за товщиною розраховували з точністю до 1 % за формулою:

$$\Delta t_n = \frac{t - t_1}{t_1} \cdot 100, \quad (2.4)$$

де t_1 – товщина зразка до зволоження, мм;

t – товщина зразка після зволоження, мм.

2.4.3 Дослідження механічних властивостей армованої фанери

Дослідження міцності фанери на зріз

Дослідження міцності армованої і контрольної фанери на зріз здійснювали після закінчення 24 годин з моменту занурення зразків у воду на випробувальній машині Р-05.



Рис. 2.10. Випробувальна машина Р-05

Обов'язковою умовою відбору зразків для проведення випробувань була відсутність вад деревини у місці зрізу. Розкрій зразків для досліджень здійснювався так, щоб волокна шару проходили в напрямку між двома швами по всій довжині зразка. Розкрій здійснювали таким чином, щоб кожний шов можна було перевірити (рис. 2.11).

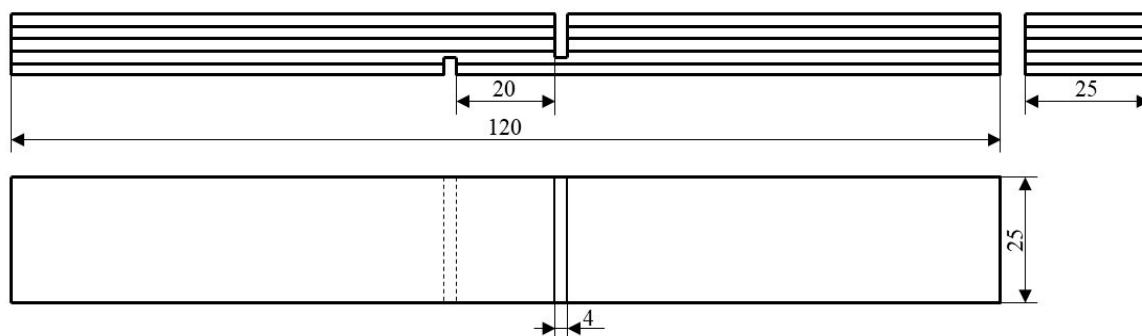




Рис. 2.11. Схематичне зображення зразка для випробування міцності на зріз фанери

На зразку здійснювали пропили, які доходили до середини шару. Далі встановлювали зразки у пристрій через затискні кулачки так, щоб навантаження машини випробувальної передавалося без сторонніх сил на ділянку розрізу (2.12).

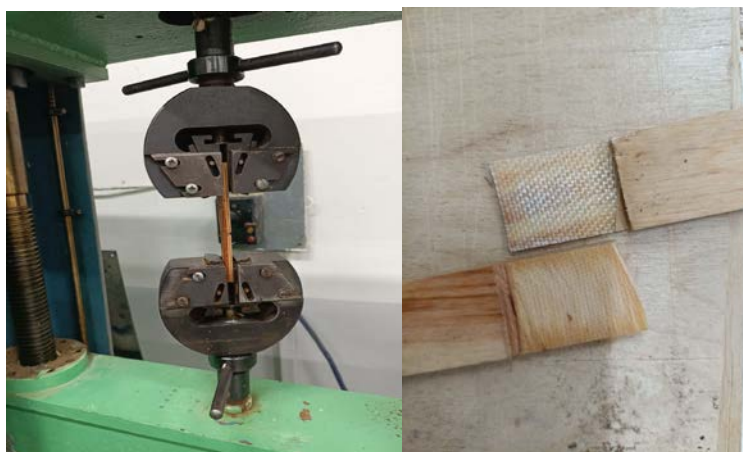


Рис. 2.12. Визначення міцності фанери на зріз: 1 – зразок фанери в момент випробування; 2 – зразки фанери після випробування

Навантаження прикладалося з постійною швидкістю таким чином, що руйнування відбувалося через (30 ± 10) с. Руйнування виявляється на деревині або на шарах клею в місці зрізу, тобто між надрізами. Якщо руйнування відбувається за межами цієї зони або після 50 % руйнування фанери на поверхневих шарах, цей результат випробування слід виключити і випробування слід повторити з довжиною розрізу 10 мм. Необхідно також видалити ті зразки, поломка яких була викликана дефектами, що знижують міцність.

Міцність на зріз кожного зразка для випробування (у МПа) обчислювали за формулою:

$$f_v = \frac{F}{l \cdot b}, \quad (2.5)$$

де F – сила руйнування зразка, Н;

l – довжина площі зрізу, мм;

b – ширина площі зрізу, мм.

Середнє арифметичне значення міцності на зріз треба обчислювати з точністю до 0,01 Н/мм².

Межа міцності фанери на статичний згин та модуль пружності

Зразки фанери виготовляли у формі прямокутної призми розміром $150 \times 50 \times S$ мм. Товщину та ширину зразків заміряли посередині довжини.

Навантаження під час випробування зразків має бути спрямоване посередині довжини зразка перпендикулярно до його площини. Навантаження зразків здійснювалося рівномірно з постійною швидкістю. Швидкість має бути такою, щоб зразок руйнувався через (60 ± 30) с після початку навантаження. Максимальне навантаження P_{\max} вимірювали з похибкою не більше 1 % (рис. 2.13).



Рис. 2.13. Визначення межі міцності при статичному згині та модуля пружності: 1 – машина для випробування ВР 5 5HV; 2 – процес дослідження зразка

Межу міцності при статичному згині σ (МПа) розраховували за формулою:

$$\sigma_{зг} = \frac{3F_{max} \cdot l_1}{2b \cdot t^2}, \quad (2.6)$$

де F_{max} – максимальне навантаження, Н;

l_1 – відстань між опорами, мм;

b – ширина зразка, мм;

t – товщина зразка, мм.

Модуль пружності зразків, які досліджували, розраховували за формулою:

$$E_m = \frac{l_1^3 \cdot (F_2 - F_1)}{4b \cdot t^3 \cdot (a_2 - a_1)}, \quad (2.7)$$

де $(F_2 - F_1)$ – це приріст навантаження на прямій частині кривої навантаження-відхилення (рис. 2.14.), в N. Значення F_1 повинне становити приблизно 10 %, а F_2 - приблизно 40 % від максимального навантаження;

$(a_2 - a_1)$ – це приріст прогину посередині довжини зразка (відповідно до $F_2 - F_1$).

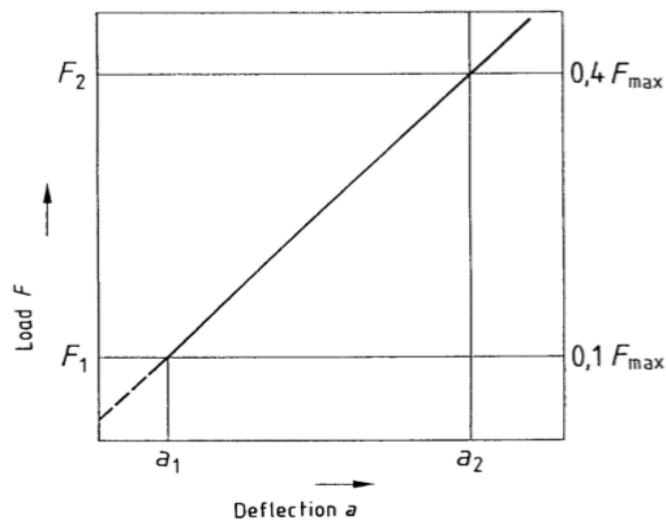


Рис. 2.14. Крива відповідності навантаження-прогин в діапазоні пружної деформації

За результатами випробування брали середнє арифметичне усіх одержаних показників, які отримали при випробуванні усіх зразків відповідного типу фанери.

2.5. Статистична обробка одержаних під час проведення експерименту результатів

Для запобігання помилок після завершення проведення досліджень здійснювали попередню статистичну обробку одержаних експериментальних даних.

Результат експериментального дослідження розглядається як статистичний набір випадкових величин. Під час статистичної обробки експериментальних даних визначено наступні основні статистичні параметри [47]:

Середнє арифметичне значення

Найбільш відомим і поширеним у повсякденній практиці варіаційно-статистичним елементом є середнє арифметичне, яке розраховують за формулою:

$$\bar{y} = \frac{(y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_n)}{n}, \quad (2.8)$$

де y_1, y_2, \dots, y_n – отримані результати досліджень;

n – число спостережень.

Вибіркова дисперсія та середньоквадратичне відхилення

Середнє арифметичне дає уявлення про середнє значення досліджуваної властивості, але не виражає його мінливості та межі коливань. Тому, крім нього, розраховують величини, що характеризують середню мінливість досліджуваної властивості середньоквадратичне відхилення та дисперсію. Їх розраховують за формулами:

$$S^2 = \frac{(y_1 - \bar{y})^2 + (y_2 - \bar{y})^2 + \dots + (y_n - \bar{y})^2}{n-1}, \quad (2.9)$$

де n – число дослідів, що дублюються в кожній серії;

y_i – значення в i -му досліді;

\bar{y} – середнє арифметичне значення.

Середньоквадратичне відхилення

$$S = \sqrt{S^2}, \quad (2.10)$$

Коефіцієнт варіації

Для оцінки змінюваності (варіації) випадкових величин використовують коефіцієнт варіації, який визначають за формулою:

$$V = \frac{S}{\bar{y}} \cdot 100 \%, \quad (2.11)$$

Даний коефіцієнт характеризує розсіювання випадкової величини відносно середнього значення вибірки, тобто є відносним розсіюванням.

Середньоквадратична похибка середнього значення

Визначивши середнє арифметичне для певної властивості, не можна впевнено стверджувати, що отриманий результат точно характеризує середню величину властивості у всіх інших випадках, що нами не досліджувалися. Тому визначають середньоквадратичну похибку середнього значення за формулою :

$$S_y = \pm \frac{S}{\sqrt{n}}, \quad (2.12)$$

Показник точності досліджу

Подібно до коефіцієнта варіації середня похибка може бути виражена у % до відповідного середнього арифметичного. Отримана величина називається показником точності досліджу (середнього значення) і визначається за формулою:

$$P = \pm \frac{S_y}{\bar{y}} \cdot 100 \% \quad (2.13)$$

Показник точності характеризує надійність результатів досліджень. Чим він менший, тим надійніші результати досліджень. При вивченні фізико-механічних властивостей деревини прийнято, що достатня надійність експериментів буде забезпечена тільки в тому випадку, коли показник точності не перевищує 5 %.

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХНІЙ АНАЛІЗ

Для дослідження змін експлуатаційних характеристик фанери, армованої різними армувальними матеріалами, сплановано та проведено класичний експеримент. Досліджували межу міцності на статичний згин, межу міцності на зріз, водопоглинання та набрякання через одну, дві, три та п'яти діб витримування в воді.

3.1. Визначення щільності зразків фанери (Рис 3.1).

Визначення щільності зразків фанери без армування, а також з одним та подвійним армуванням.

Показники щільності одержаної фанери наведено на рисунку 3.1.

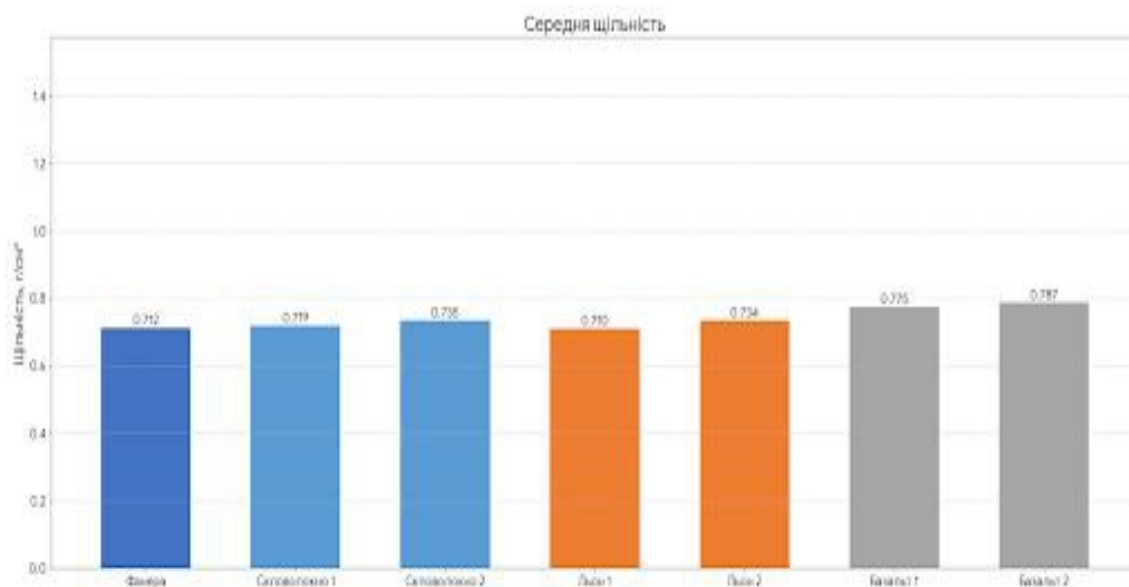


Рис 3.1 Щільність зразків фанери без армування а також з одним- та подвійним армуванням г/см³

Як бачимо базальт показав найбільшу щільність випробувальних зразків:

Одношаровим армуванням 0,801 г/см³.

Двошаровим армуванням 0,795 г/см³.

Це можна пояснити його походженням. В той же час лляні матеріали зі скловолнокном показали результати $\sim 0,75 \text{ г/см}^3$.

Фанера без армування в свою чергу показала найменші показники – $0,725 \text{ г/см}^3$.

Беручи до уваги дані показники, ми бачимо, що додане армування впливає на щільність фанери.

3.2. Визначення спресування фанери

Визначили на скільки відсотків зразки зменшилися після пресування від товщини зразка до завантаження в прес (рис 3.2).

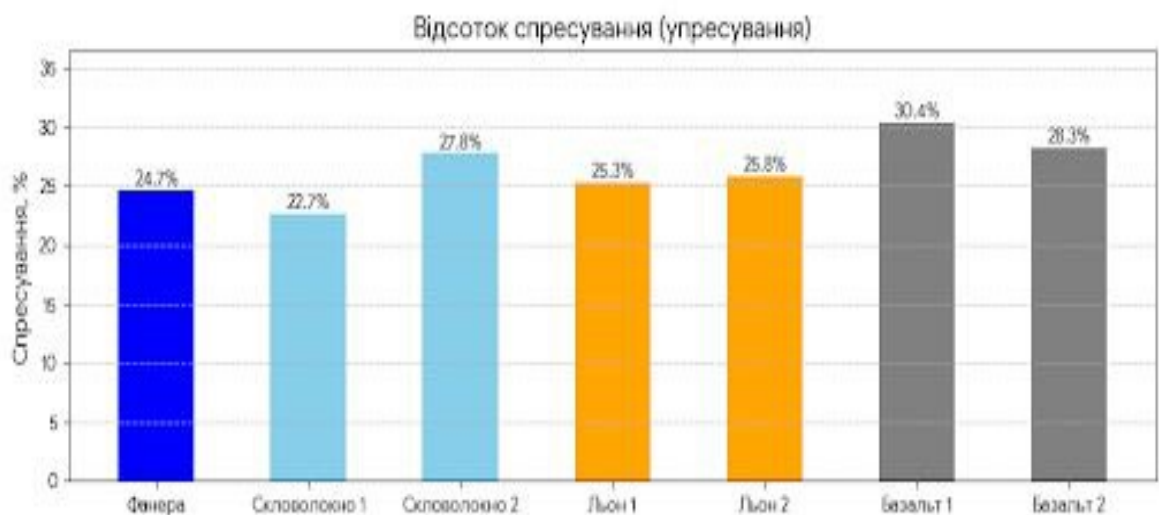


Рис 3.2 Спресування фанери у %

На рис. 3.2 чітко бачимо, що вид армуючого матеріалу значимо впливає на пресуванням гарячим способом.

Базальт після пресування вийшов найтоншим, це означає, що сам матеріал хоч в жорсткий сам по собі, проте його структура дозволяє глибоко вдавлюватися в шпон при тиску 1.8 МПа

Скловолокно показало себе гірше всіх лише (22,7 %). Матеріал показав себе як захист між шарами шпону опираючись стисканню преса.

Контрольний зразок фанери та лляний матеріал показали себе однаково добре (~25%). А це може означати, що лляний матеріал приймає форму разом з деревиною, не створюючи жодного опору.

3.3. Вологість готової фанери

Вологість одержаної фанери подано на рис.3.3.

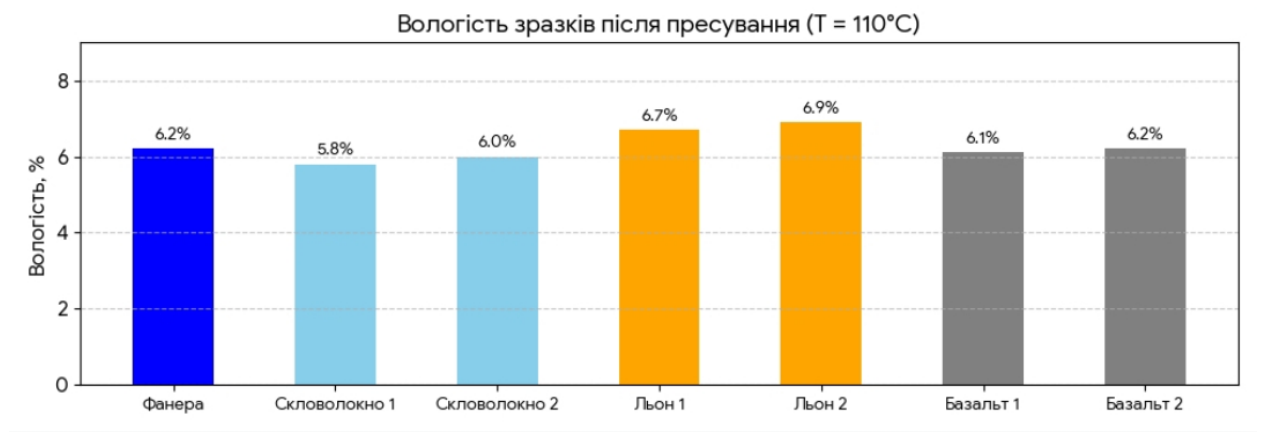


Рис 3.3. Вологість одержаної фанери

Беручи до уваги середню вологість шпону 7%, після гарячого пресування при 110 °С, то зразки показали наступні результати, а саме скловолокно втратило вологості більше всіх так як не тримає вологи. Лляний матеріал залишився вологим, бо являє собою натуральний матеріал, а він як ми знаємо втримує в собі вологу.

Контрольна фанера разом з базальтом показала результати, як і потребує цього процес.

3.4. Вплив армуючого матеріалу на набрякання армованої фанери за товщиною.

Експериментально досліджено, що показники набрякання фанери із лляним подвійним армуванням є вищими, ніж фанери, склеєної із

застосуванням скловолокна(рис. 3.4 та 3.7). Для фанери, армованої подвійним армуванням льоном, цей показник також вищий, оскільки лляна тканина є гідрофільною.

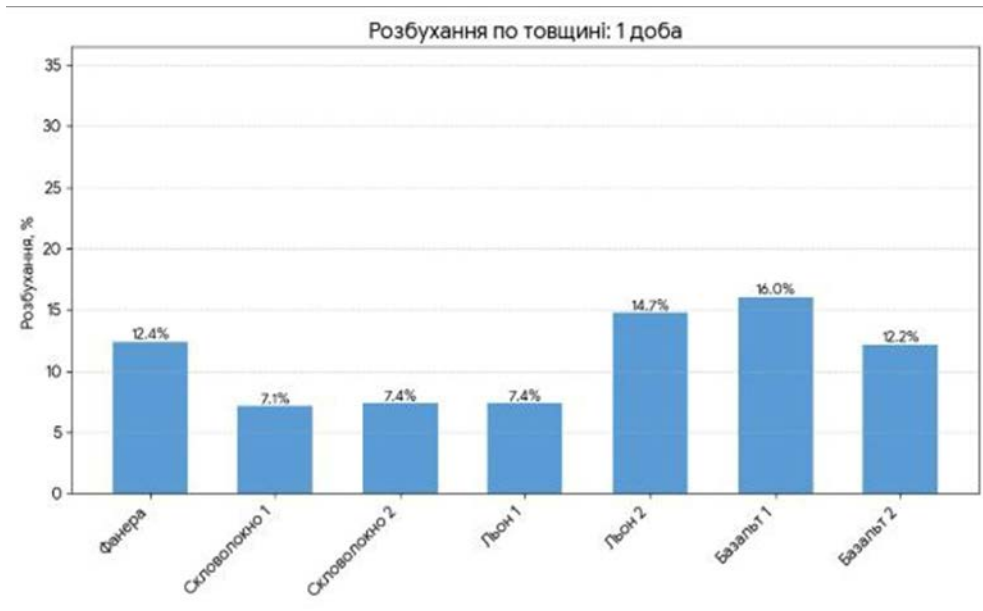


Рис 3.4. Набрякання за товщиною через 1 добу

За перші 24 години , як бачимо скловолокно показало себе стабільно в порівнянні з іншими зразками. В той час як базальт з одношаровим армуванням показало різкий скачок, а саме на 12,5 %. Це означає що скловолокна тканина ефективніше за інші зразки стримує поверхнєве набрякання шпону , тоді як базальт вказує на швидке насичення.

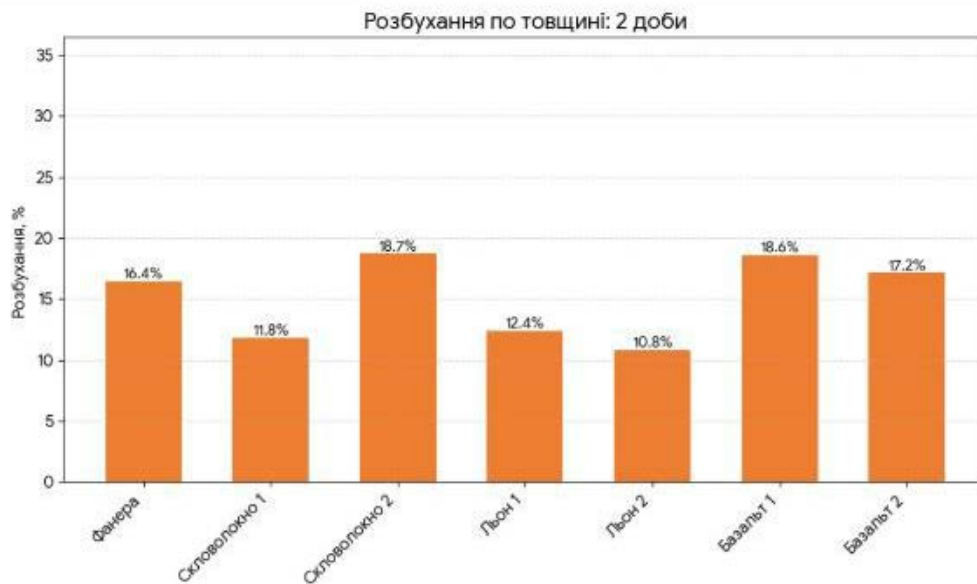


Рис 3.5. Набрякання за товщиною через 2 доби

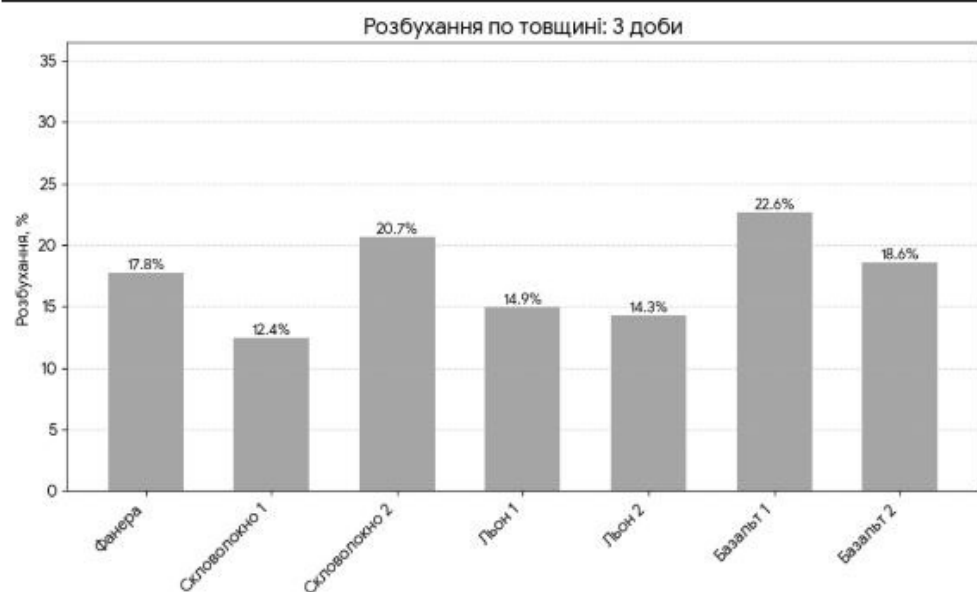


Рис 3.6. Набрякання за товщиною через 3 доби

На другу та третю добу ми спостерігаємо досить непогану поведінку. Результати показують, що подвійне армування льону, не дивлячись на те, що він активно поглинає воду, тобто набирає масу, товщина його не змінюється. Це добре видно на третю добу 11,7 %. Це означає, що він акумулює в собі воду не викликаючи розширення самої фанери. Контрольна фанера показує

рівномірно – лінійний приріст, що для фанери без армування звичайний показник .

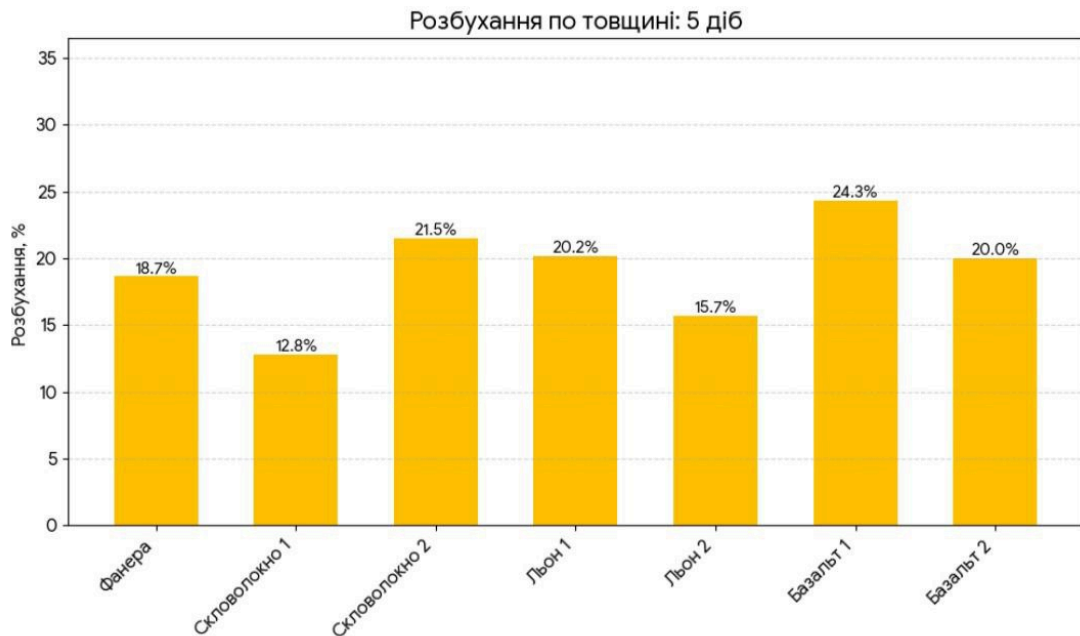


Рис 3.7. Набрякання за товщиною через 5 діб

Як бачимо на п'ятий день процес зупиняється майже для всіх зразків. Найменшу товщину показали подвійне армування льону (12,5 %) та зразок з одним армуванням скловолокна (13,6 %) . Причому обидва показники показали кращий результат за контрольний зразок. Також можемо спостерігати, що найбільше розбухання показали подвійно армований базальт та подвійно армоване скловолокно (приблизно 16-17 %) . У випадку з подвійно армованим скловолокном, це можна пояснити або особливостями самої склотканини , яка могла зробити мікрощілини, через які і потрапила волога або меншою щільністю самого пакета.

3.5. Вплив армуючих матеріалів на водопоглинання фанери.

Результати дослідження водопоглинання подано на рисунках 3.8 – 3.11.

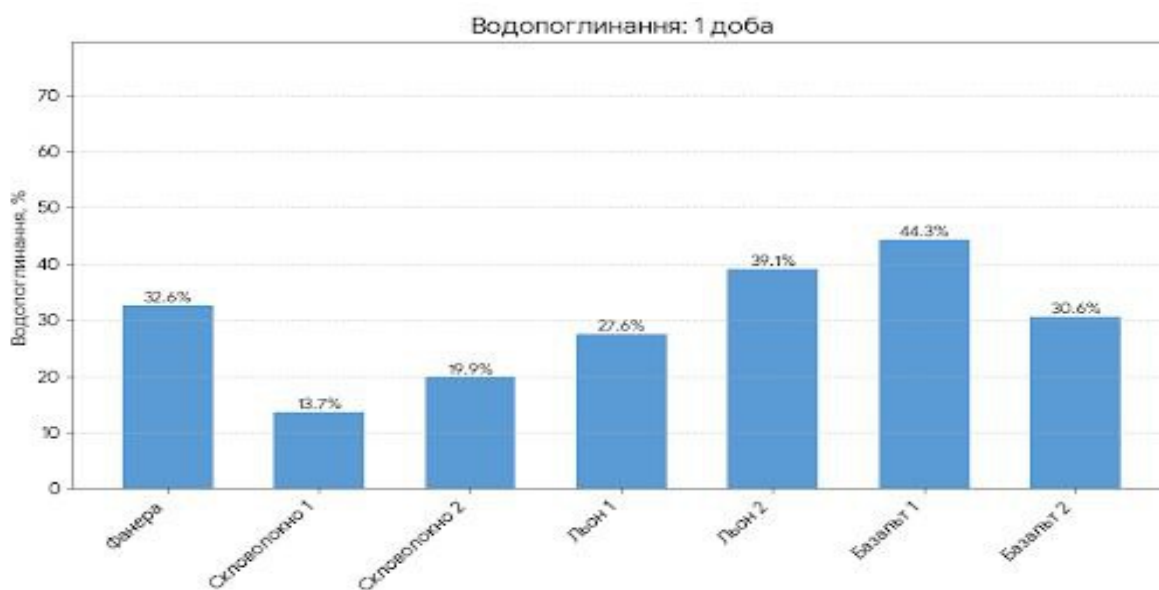


Рис 3.8. Водопоглинання через 1 добу

Вже з першого дня ми можемо бачити, що скловолокно повело себе як гідробар'єр. При тому, що базальт почав вбирати вологу як губка, вбравши вдвічі більше, ніж контрольний зразок.

Збільшене водопоглинання при застосуванні базальтового армування можна пояснити недостатньою адгезією між базальтом і клеєм. Внаслідок цього вода проникає у структуру фанери і поглинається нею.

Двошарове армування з лляною тканиною також показало підвищене водопоглинання. Це можна пояснити гідрофільністю лляних волокон.

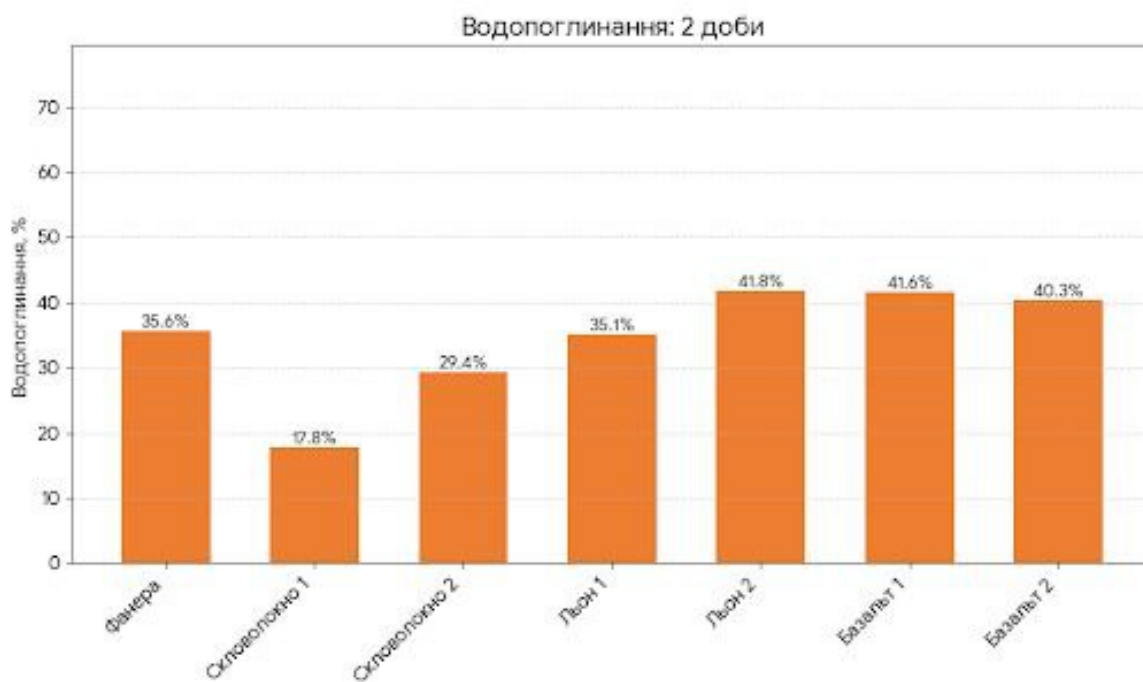


Рис 3.9. Водопоглинання через 2 доби

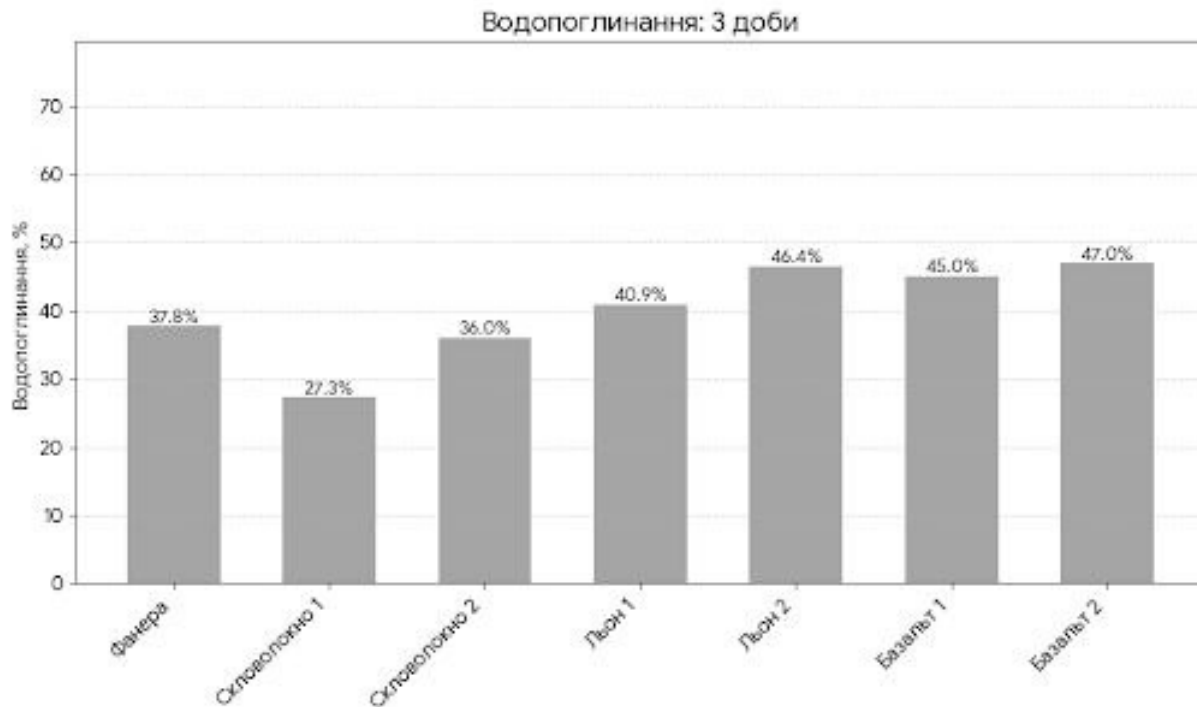


Рис 3.10. Водопоглинання через 3 доби

На другий та третій день ми бачимо, що скловолокно показує стабільність, при тому, що інші зразки продовжують набирати воду.

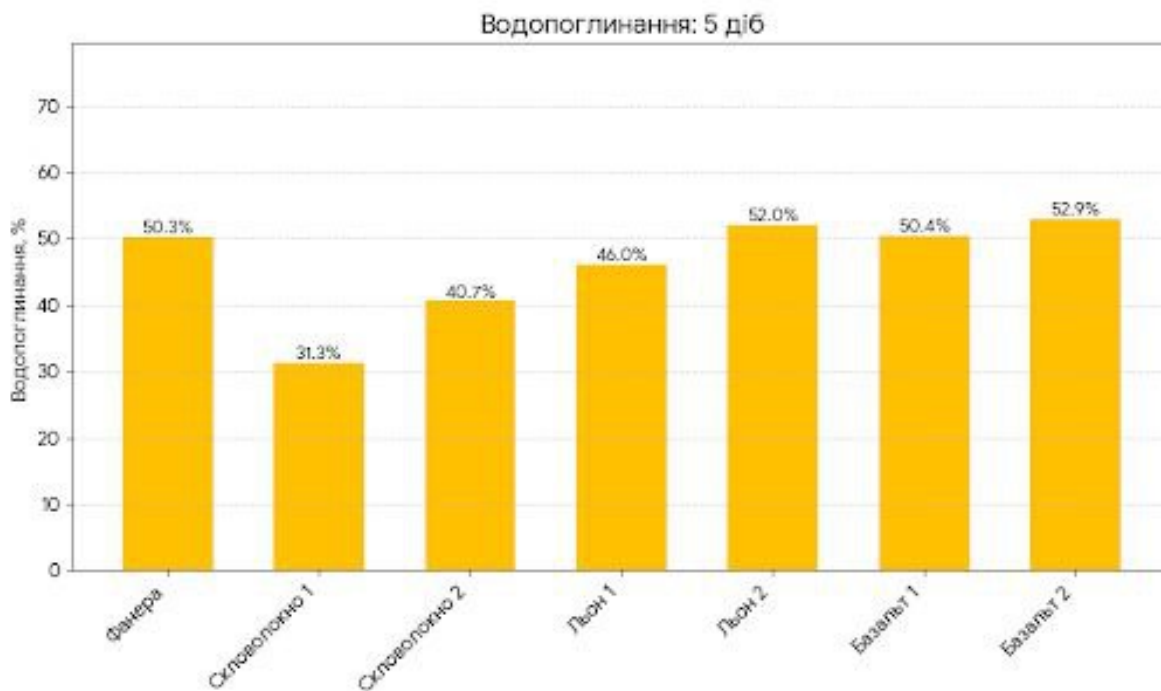


Рис 3.11. Водопоглинання через 5 діб

На п'ятий, останній день нашого експерименту з водопоглинання скловолокно показало себе лідером з водопоглинання в 31,3%. Зразки з подвійним армуванням льону та подвійним армуванням базальту показали найбільші значення серед всіх інших з показником в 52-53 %, що перевищили показники контрольного зразка з показником 50,3 % .

3.6. Вплив армувальних матеріалів на межу міцності фанери на згин.

Додавання армуючого матеріалу призводить до збільшення межі міцності фанери на статичний згин для подвійного армування скловолокном та армуванням лляним полотном як при одинарному, так і подвійному (рис.3.12).



Рис.3.12. Вплив армувальних матеріалів на міцність фанери під час статичного згинання

Вплив вмісту армованих матеріалів у фанері на її міцність на статичний згин подано на рисунку. На діаграмі видно зменшення міцності у порівнянні з контрольним зразком для фанери з вмістом такої тканини як базальт та збільшення міцності зі скловолокном та лляним матеріалами. Таке погіршення міцності можна пояснити тим, що фанера із армуванням з базальту має недостатню адгезію між базальтом і смолою.

3.7. Вплив армованих матеріалів на межу міцності на зріз фанери.

У випадку додавання армування межа міцності фанери на зріз зменшується, що і видно з рис.3.13.

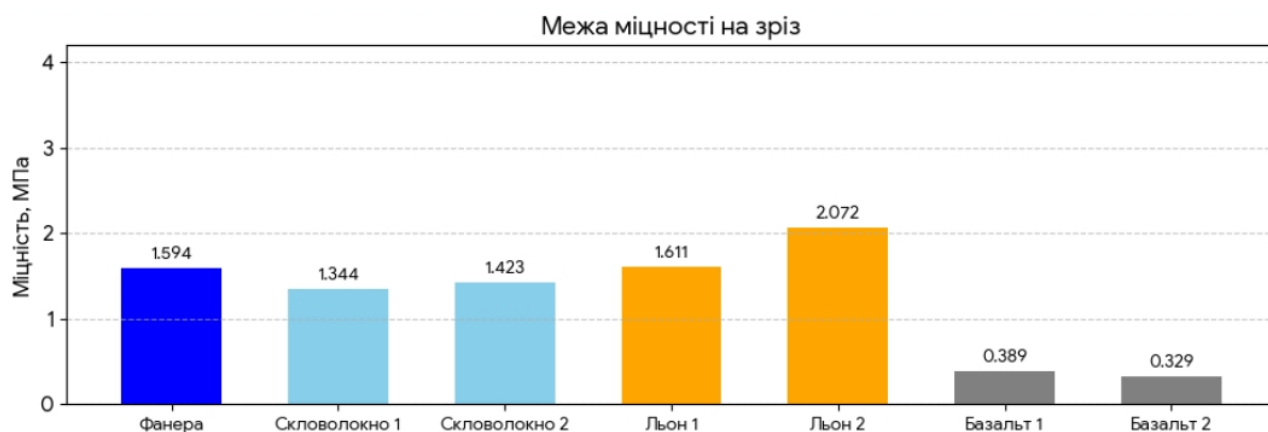


Рис. 3.13. Межа міцності фанери на зріз при армування різними матеріалами

Високі показники льону можна пояснити близькою природою деревини шпону та лляних волокон і як наслідок хороша адгезія між шпоном деревини/клей та натуральним рослинним волокном/клей. В той час скловолокно показало хорошу міцність нас зріз, але через відсутність приросту може вказувати на недостатню кількість клею для просочування волокна. Базальт показав погані результати через не сумісність базальтової тканини з клеєм або через відслоювання шарів, що призвело до того, що навантаження приймав не цілий пакет, а лише його частина.

ВИСНОВКИ

У даній роботі було виконане теоретична та експериментальне дослідження технології виготовлення фанери, армованої тканими матеріалами, а саме льоном, скловолоконом та базальтовою тканиною.

У зв'язку з поширеністю фанери, буде актуальним створення нових композиційних матеріалів з деревини, які могли б відповідати сучасним вимогам щодо вологості, міцності та екологічної безпеки, зберігаючи при цьому доступну вартість матеріалу.

У результаті експериментальних досліджень виготовлено п'ятишарові зразки фанери з березового шпону з використанням карбамідоформальдегідної смоли марки А.

В якості армуючих матеріалів було взято три зовсім різних за своїми характеристиками види матеріалів: синтетичне скловолоконно (як лідер вологостійкості), натуральне лляне волокно (екологічна альтернатива) та базальтове волокно (збільшення вогнетривкості).

Встановлено, що застосування армування істотно впливає на міцність фанери. Найбільше підвищення міцності при статичному згинанні спостерігається у зразків, армованих скловолоконом та лляними матеріалами, що зумовлено їх високою міцністю та доброю адгезією з клейовою системою. Водночас використання деяких армувальних матеріалів з підвищеною гігроскопічністю може призводити до зниження міцності фанери на зріз.

Дослідження на щільність та водопоглинання були проведені згідно стандартизованих методик і показали відмінності результатів дослідження зразків фанери. Показник щільності вказує на те, що армування підвищує щільність матеріалу. Найщільніші зразки виявилась фанери з базальтовим армуванням, що можна пояснити вагою самого матеріалу. Зразки з армуючим

волокном льону та скловолокна показали незначне зростання. Встановлено, що введення тканих армуючих матеріалів у структуру фанери істотно впливає на її щільність, спресування та вологісний стан після гарячого пресування. Найбільше зростання щільності спостерігається у зразках з базальтовим армуванням, що обумовлено високою питомою масою та жорсткістю цього матеріалу.

Пресування фанери показали, що вид армуючого матеріалу визначає характер деформації пакета шпону під час пресування. Лляна тканина практично не перешкоджає ущільненню пакета, тоді як скловолокно створює додатковий опір стисканню, а базальтове волокно, незважаючи на жорсткість, здатне глибоко вдавлюватися у шпон.

За результатами випробувань водопоглинання та набрякання за товщиною встановлено, що скловолокно проявляє найкращі гідробар'єрні властивості, забезпечуючи зниження водопоглинання порівняно з контрольними зразками. Лляне армування характеризується здатністю акумулювати вологу без істотного збільшення товщини фанери, що позитивно впливає на стабільність геометричних розмірів.

Базальтове армування, особливо при двошаровому розміщенні, призводить до підвищеного водопоглинання та набрякання, що може бути пов'язано з особливостями формування клейового шва та зниженням його суцільності.

Армування скловолокном та лляною тканиною сприяє підвищенню межі міцності фанери під час статичного згинання. Натомість використання базальтової тканини в умовах даної технології виготовлення призводить до зниження міцності, що пояснюється недостатньою адгезією армуючого матеріалу до карбамідоформальдегідної смоли.

Межа міцності на зріз зменшується при введенні армування, що свідчить про зміну механізму руйнування та нерівномірний розподіл напружень у клейових шарах.

Порівняльний аналіз одно- та двошарового армування показав, що збільшення кількості армуючих прошарків не завжди призводить до покращення властивостей фанери та потребує оптимізації рецептури клею й режимів пресування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Биков В. Є. Технологія деревинних композиційних матеріалів : навч. посіб. — Львів : НЛТУ України, 2016. — 320 с.
2. Орлов О. О., Кравець В. П. Фанера та деревинні плитні матеріали. — Київ : Основа, 2014. — 248 с.
3. Гомон С. С. Деревинні композиційні матеріали : навч. посіб. — Рівне : НУВГП, 2015. — 212 с.
4. Соловійов О. М. Технологія плитних матеріалів. — Харків : ХНАУ, 2012. — 289 с.
5. Козак М. Ю. Сучасні клеї для деревини. — Львів : Світ, 2017. — 198 с.
6. Ткачук В. І. Хімія і технологія полімерів. — Київ : Либідь, 2010. — 352 с.
7. Пелех Л. М. Основи деревообробного виробництва. — Львів : НЛТУ України, 2013. — 276 с.
8. Бондаренко О. В. Матеріалознавство деревини. — Київ : Освіта, 2011. — 240 с.
9. Кравченко В. П. Деревинні матеріали в будівництві. — Київ : Будівельник, 2016. — 305 с.
10. Орловський В. С. Технологія склеювання деревини. — Харків : Факт, 2009. — 184 с.
11. Rowell R. M. Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites. — Boca Raton : CRC Press, 2013. — 703 p.
12. Forest Products Laboratory. Wood Handbook: Wood as an Engineering Material. — Madison : USDA, 2010. — 508 p.
13. Frihart C. R., Hunt C. G. Adhesives with Wood Materials // Wood Handbook. — Madison : USDA, 2010. — P. 10-1-10-24.
14. Dunky M., Niemz P. Holzwerkstoffe und Leime. — Berlin : Springer, 2002. — 427 p.

15. Klyosov A. A. Wood-Plastic Composites. — Hoboken : Wiley, 2007. — 698 p.
16. Maloney T. M. Modern Particleboard & Dry-Process Fiberboard Manufacturing. — San Francisco : Miller Freeman, 1993. — 689 p.
17. Tsoumis G. Science and Technology of Wood. — New York : Van Nostrand Reinhold, 1991. — 494 p.
18. Youngquist J. A. Wood-Based Composites and Panel Products // Wood Handbook. — Madison : USDA, 2010.
19. Ashby M. F. Materials Selection in Mechanical Design. — Oxford : Butterworth-Heinemann, 2011. — 624 p.
20. Callister W. D. Materials Science and Engineering. — New York : Wiley, 2007. — 832 p.
21. Chawla K. K. Composite Materials: Science and Engineering. — New York : Springer, 2012. — 526 p.
22. Hull D., Clyne T. An Introduction to Composite Materials. — Cambridge : Cambridge Univ. Press, 2019. — 392 p.
23. Gibson R. F. Principles of Composite Material Mechanics. — Boca Raton : CRC Press, 2016. — 686 p.
24. Agarwal B. D., Broutman L. J. Analysis and Performance of Fiber Composites. — New York : Wiley, 1990. — 449 p.
25. Richardson M. O. W. Fibre Reinforced Polymers. — London : Elsevier, 2006. — 400 p
26. Pickering K. Properties and Performance of Natural-Fibre Composites. — Cambridge : Woodhead, 2008. — 608 p
27. Faruk O. et al. Biocomposites Reinforced with Natural Fibers // Progress in Polymer Science. — 2012. — Vol. 37.
28. Yan L., Chouw N. Natural Fibre Reinforced Composites // Composites Part B. — 2014.

29. Fiore V., Scalici T. Glass Fiber Reinforced Composites. — London : Springer, 2019.
30. Wambua P., Ivens J. Natural Fibres: Can They Replace Glass? // Composites Science and Technology. — 2003.
31. ГОСТ 3916.1–2018. Фанера загального призначення з листяних порід. Технічні умови.
32. ГОСТ 3916.2–2018. Фанера з хвойних порід. Технічні умови.
33. ДСТУ EN 314-1:2015. Фанера. Якість склеювання. Методи випробування.
34. ДСТУ EN 314-2:2015. Фанера. Вимоги.
35. ДСТУ EN 310:2016. Визначення модуля пружності та межі міцності при згинанні.
36. ДСТУ EN 319:2016. Визначення міцності при розтягу перпендикулярно до пласта.
37. ISO 12466-1:2007. Plywood — Bonding quality.
38. EN 636:2012. Plywood — Specifications.
39. Bekhta P., Niemz P. Effect of veneer densification on plywood properties // Holzforschung. — 2009.
40. Ayrimis N. Enhancement of plywood properties // Materials & Design. — 2010.