


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Навчально-науковий інститут деревообробних технологій і дизайну
Кафедра технологій деревинних композиційних матеріалів,
целюлози та паперу


УДК 674.093.26

Пояснювальна записка
до дипломної роботи магістра на тему:
**Вплив пропарювання на властивості
термічно ущільненого шпону**

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


Сень В.І.
(підпис)

Керівник: доцент каф. ТДКМ, к.т.н.


Салабай Р.Г.
(підпис)

Рецензент: проф. каф. ТМВД, проф. д.т.н.
(посада, вчене звання, науковий ступінь)


Тайга С.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Львів – 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Навчально-науковий інститут деревообробних технологій і дизайну
Кафедра технологій деревинних композиційних матеріалів, целюлози та паперу
Освітній 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” грудня 2025 року

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

Сеню Володимиру Ігоровичу

1. Тема роботи Вплив пропарювання на властивості термічно ущільненого шпону, керівник роботи доц. каф. ТДКМ Салабай Роман Григорович, к.т.н., доцент, затверджені наказом університету від “ 28 ” жовтня 2024 року № С-846
2. Термін подання студентом роботи 22.12.2025 р.
3. Вихідні дані до роботи Проаналізувати властивості деревини і деревинних матеріалів, дослідити вплив пропарювання і ущільнення шпону на його властивості та на властивості фанери, виготовленої з ущільненого та з попередньо пропареного і термічно ущільненого шпону.
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 25.07.2025 р.

Студент

(підпис)

Сень В.І.

Керівник роботи

(підпис)

Салабай Р.Г.

АНОТАЦІЯ

Дипломна робота магістра виконана на актуальну для виробництва тему “Вплив пропарювання на властивості термічно ущільненого шпону”. У роботі проаналізовано властивості деревини та деревинних матеріалів і використання породного складу сировини для виробництва шпону, а також методи і способи пропарювання деревини і режими термічного ущільнення деревини й досліджено вплив пропарювання на властивості термічно ущільненого шпону і вплив пропарювання та ущільнення шпону на властивості фанери, виготовленої з ущільненого та з попередньо пропареного і термічно ущільненого шпону.

Дипломна робота складається з трьох розділів:

1. Стан питання та завдання досліджень;
2. Методика експериментальних досліджень;
3. Обробка експериментальних даних.

У першому розділі проаналізовано: властивості деревини та деревинних матеріалів; використання породного складу сировини для виробництва шпону; методи і способи пропарювання деревини; режими термічного ущільнення деревини.

У другому розділі описано матеріали, використані в експериментальних дослідженнях, експериментальне обладнання та вимірювальна апаратура, методику підготовки дослідних зразків, наведено вибір змінних факторів і планування експериментів та описано методики визначення фізичних властивостей луценого шпону та спресування дослідних зразків і визначення фізико-механічних властивостей фанери.

У третьому розділі наведено отримані експериментальні дані досліджень, щодо впливу пропарювання на властивості термічно ущільненого шпону і впливу температури на властивості пропареного та не пропареного ущільненого шпону, а також щодо впливу пропарювання і термічного ущільнення шпону на властивості фанери, виготовленої з ущільненого та з попередньо пропареного і термічно ущільненого шпону, і зроблено обґрунтування результатів.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
Розділ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	6
1.1. Властивості деревини та деревинних матеріалів.....	6
1.2. Аналіз використання породного складу сировини для виробництва шпону	16
1.3. Аналіз методів і способів пропарювання деревини.....	21
1.4. Аналіз режимів термічного ущільнення деревини.....	28
1.5. Висновки і завдання досліджень.....	34
Розділ 2. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	35
2.1. Матеріали, використані в експериментальних дослідженнях.....	35
2.2. Експериментальне обладнання та вимірювальна апаратура.....	37
2.3. Методика досліджень підготовки і випробування дослідних зразків.....	40
2.3.1. Підготовка дослідних зразків.....	40
2.3.2. Вибір змінних факторів і планування експериментів.....	40
2.3.3. Методика визначення фізичних властивостей лущеного шпону.....	41
2.3.4. Методика визначення спресування дослідних зразків.....	42
2.3.5. Методика визначення фізико-механічних властивостей фанери.....	43
2.4. Статистична обробка результатів досліджень.....	47
Розділ 3. ОБРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ	50
3.1. Дослідження впливу температури на вологість пропареного та не пропареного ущільненого лущеного шпону.....	51
3.2. Дослідження впливу температури на щільність пропареного та не пропареного ущільненого лущеного шпону.....	51
3.3. Дослідження впливу температури на ступінь спресування пропареного та не пропареного ущільненого лущеного шпону.....	53
3.4. Дослідження впливу пропарювання і термічного ущільнення лущеного шпону на вологість та щільність фанери.....	53
3.5. Дослідження впливу пропарювання і термічного ущільнення лущеного шпону на водопоглинання фанери та набрякання за товщиною фанери	55
3.6. Дослідження впливу пропарювання і термічного ущільнення лущеного шпону на межу міцності фанери на зріз та межу міцності на статичний згин	57
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	62
ДОДАТКИ	65

ВСТУП

Актуальність теми. Деревина є найпоширенішим матеріалом, який застосовується в промисловості, побуті, транспорті та сільському господарстві завдяки своєму унікальному комплексу фізико-механічних властивостей. Це екологічно чистий, легкий в обробленні матеріал, який має властивість відновлюватись.

Але незважаючи на всі переваги, деревина має декілька особливостей будови, які обмежують сферу її технічного використання. Тому, на сьогоднішній день, є дуже актуальною проблема покращення її технічних та експлуатаційних властивостей.

Цінні породи деревини знаходять все більше використання у меблевій промисловості. Однак виникає питання про облагородження менш цінних порід деревини для надання їм більш якісних характеристик, а також раціонального використання деревини.

Модифікування деревини шляхом ущільнення дозволяє покращити якість готової продукції. В результаті модифікування отримують нові деревинні композиційні матеріали, властивості яких перевищують властивості високоякісної натуральної деревини.

Автоклавне пропарювання деревини дозволяє збільшити її пластичні властивості та покращити характеристики деревини в залежності від сфери її використання.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Властивості деревини та деревинних матеріалів

Деревина – давній конструкційний матеріал, яким людство почало користуватися вже на ранніх стадіях свого розвитку [1].

Для деревини основними і найбільш важливими є такі властивості:

1. Механічні: міцність, твердість, деформативність, ударна в'язкість, експлуатаційні та технологічні характеристики: зносостійкість, здатність утримувати кріплення, пружність, пластичність [2].

Міцність деревини – здатність чинити опір руйнуванню під дією механічних навантажень. Розрізняють міцність на стиск і розтяг за напрямками прикладання навантаження – вздовж і впоперек волокон; міцність на статичний згин тощо [2].

Твердість деревини – здатність деревини чинити опір проникненню в неї більш твердого тіла. Твердість деревини оцінюється за навантаженням, яке потрібно для вдавлювання в поверхню зразка металевої кульки діаметром 11,28 мм на глибину 5,64 мм (площа відбитка становить 1 см²).

Метод оцінки твердості називається тест Янка [3]. За твердістю торцевої поверхні деревину поділяють на три групи: м'яка з твердістю 35...50 МПа (вільха, сосна); тверда – 50...100 МПа (береза, дуб); дуже тверда – понад 100 МПа (кизил, самшит).

Зносостійкість – здатність деревини чинити опір зношуванню, тобто поступовому руйнуванню її поверхневих зон при терті. Зношення бокових поверхонь більше, ніж торцевих; зношення вологої деревини більше, ніж сухої [2].

Своєрідною властивістю деревини є здатність утримувати цвяхи, шурупи, клямри тощо. Волокна деревини при входженні цих металічних елементів у деревину частково перерізаються, зминаються і загинаються. Розклинена частина тіла деревини тисне на бокову поверхню металічного елемента, утримуючи його.

Технологічні властивості деревини – це такі, які мають безпосереднє значення при її обробленні [5]. Деревина легко обробляється різальним інструментом (стругання, пиляння), добре шліфується і опоряджується лакофарбовими матеріалами. При цьому прозорі лакофарбові матеріали додатково проявляють (підсилюють) кольорову текстуру деревини, підвищують її декоративні властивості.

Сучасна технологія виробництва меблів і виробів з деревини немислима без такої властивості, як склеювання деревини, що дає змогу облагороджувати поверхню малоцінних порід деревини (личкування), покращувати її механічну міцність, пов'язану з анізотропною будовою [4].

Деревина має унікальні пластичні властивості. При зволоженні і нагріванні її пластичні властивості настільки зростають, що деревина легко піддається згину, набуваючи криволінійної форми, яка зберігається після висушування, на цьому принципі базується виробництво гнутих меблів.

Деревина має пластичні властивості і в сухому стані, що використовується у виробництві гнутоклеєних заготовок для меблів із шпону. У процесі гнуття деревина не тільки згинається, а й спресовується, що сприяє підвищенню її міцності.

Завдяки пористій будові деревина здатна просочуватися рідинами, які можуть змінювати її колір чи підвищувати фізико - механічні властивості, якщо, наприклад, просочившись у деревину, рідина переходить у твердий стан [4].

2. Фізичні: запах, зовнішній вигляд (текстура, блиск, колір), вологість, набрякання, всихання, жолоблення, водопоглинання, гігроскопічність, пористість та щільність; теплові (теплопровідність); звукові (акустичний опір, звукопроникність), електричні (діелектричні властивості, електропровідність, та електрична міцність) [2].

Запах залежить від вмісту в деревині смол і дубильних речовин. Свіжозрубана деревина має більш сильний запах, а по мірі висихання деревини і випаровування вологи і ефірних смол запах слабшає.

Текстура – малюнок, що утворюється при розпилюванні деревини. Площина розпилювання перетинає річні кільця та серцевинні промені деревини, що утворилися в різний час, в результаті утворюється характерний візерунок ліній, за яким і відрізняють деревину від інших матеріалів [2].

Блиск – це здатність деревини направлено відображати світловий потік. Найбільший блиск мають гладкі дзеркальні поверхні, так як вони дають спрямоване відображення. Як правило, блиск деревини оцінюється по білизні: чим більше білизна деревини, тим вище показник блиску. Відблиски і відсвіти дають ще й серцевинні промені на радіальних розрізах [5].

Колір – своєрідний індикатор, який показує якість, вік і стан деревини. Якісна і здорова деревина має рівномірний колір без плям і інших вкраплень. Якщо в деревині присутні вкраплення і плями, це свідчить про її загнивання. Колір деревини може змінюватися також під впливом атмосферних умов [2].

Розрізняють абсолютну і відносну вологість деревини.

Абсолютна вологість деревини – це відношення маси вологи, що міститься в деревині до маси абсолютно сухої деревини, виражене у відсотках [2]. Якщо зразок 300 г після сушіння став важити 200 г, то його абсолютна вологість $(300-200)/200*100\% = 50\%$.

Відносна вологість деревини – це відношення маси вологи, що міститься в деревині до маси сирої (вологої) деревини, виражене у відсотках. Якщо зразок 300 г після сушіння став важити 200 г, то його відносна вологість $(300-200)/300*100\% = 33\%$.

Вологість деревини визначається наступним чином: вимірюється маса зразка вологого матеріалу, далі зразок висушується в сушарці за температури 100-105 °С, потім відбувається повторне зважування, але вже сухого матеріалу. Різниця між масою вологого й сухого матеріалу і визначає кількість води (вологи), що міститься в зразку.

Для практичних цілей важливою є відносна вологість деревини, так як саме вона показує ступінь придатності деревини до тієї чи іншої технологічної операції [2]. (Наприклад, для склеювання оптимальна деревина з відносною

вологістю 4-6 %, всихання деревини розпочинається при відносній вологості менше 30 %, розвиток грибкових уражень деревини відбувається при відносній вологості від 22 % до 80 %).

Деревину за вологістю поділяють на такі категорії [2]:

- сира – 23 % і більше
- напівсуха – 18-23 %
- повітряно-суха – 12-18 %
- суха – 8-12 %.

Чим більша вологість деревини, тим складніше її використовувати у виробництві. Сира деревина гірше склеюється; якщо при виробництві будь-яких виробів використовувалася волога деревина, то в міру її висихання у виробі можуть з'являтися тріщини і щілини між деталями. Для запобігання цього необхідно обов'язково проводити попереднє сушіння деревини [2].

Набрякання деревини проявляється при знаходженні матеріалів в умовах підвищеної вологості повітря тривалий час.

Всихання – зміна розмірів при втраті вологи деревиною в результаті сушіння. Всихання відбувається природним чином. Прямим наслідком всихання є утворення тріщин [2].

Жолоблення відбувається в результаті нерівномірного сушіння деревини. Всихання деревини відбувається швидше в шарах більш віддалених від серцевини, тому якщо сушіння проводилося з порушенням технології, відбувається зміна форми деревини, вона жолобиться.

Викривлення під дією всихання різниться у різних напрямках. Уздовж волокон воно незначне і становить приблизно 0,1 %. Зміни розмірів впоперек волокон більш значні і можуть становити 5-8 % від початкових. Крім того, викривлення часто супроводжується появою тріщин в деревині, що сильно позначається на якості кінцевого продукту [2].

Жолоблення й утворення тріщин можна уникнути при дотриманні технології сушіння і при використанні певних технік під час складання виробів. Так, наприклад, в колодах на всю довжину матеріалу робляться поздовжні

розвантажувальні пропили, які знімають внутрішні напруження, які утворюються при всиханні.

Водопоглинання – здатність деревини завдяки пористій будові поглинати вологу. Водопоглинання відбувається при безпосередньому контакті деревини з водою. При цьому в деревині збільшується вміст як зв'язаної, так і вільної вологи.

Водопоглинання залежить від породи, початкової вологості, температури, форми і розмірів деревини. У порід з меншою щільністю водопоглинання більше, так як більший об'єм порожнин, які можуть бути заповнені вільною вологою. Навпаки, чим більша щільність, тим менше водопоглинання деревини [6].

Розтріскування – результат нерівномірного висихання зовнішніх і внутрішніх шарів деревини [2]. Процес випаровування вологи продовжується до тих пір, поки кількість вологи в деревині не досягне певної межі (рівноважної вологості), що залежить безпосередньо від температури і вологості навколишнього повітря.

Гігроскопічність – властивість матеріалу поглинати вологу з навколишнього середовища [2, 7]. Ця властивість залежить від вологості деревини. Суха деревина має більшу гігроскопічність, ніж волога. Для зменшення гігроскопічності матеріал покривають олійними фарбами, емаллями або лаками. Гігроскопічність безпосередньо залежить від іншої властивості деревини – пористості.

Пористість – відношення об'єму пор до загального об'єму деревини. Для деревини різних порід пористість має різне значення, але в середньому розбіжність її значень становить 30-80 % [2].

Щільність деревини – це відношення маси деревини до її об'єму [8]. Розрізняють питому і об'ємну щільність деревини.

Питома щільність – маса одиниці об'єму деревини без урахування порожнин і вологи. Питома щільність деревинної речовини не залежить від породи деревини і становить 1540 кг/м^3 .

Об'ємна щільність – це маса одиниці об'єму деревини в природному стані, тобто з урахуванням вологи і порожнин [2].

Через пористу будову деревина має низьку теплопровідність, завдяки чому вироби з деревини на дотик видаються «теплыми» [9].

Теплопровідність. На відміну від інших будівельних матеріалів, деревина є менш теплопровідною. Це дозволяє використовувати її для теплоізоляції приміщення.

Звукопроникність – здатність матеріалу проводити звукові хвилі. Якщо за теплопровідністю деревина – кращий матеріал, то за звукопроникністю деревина поступається іншим будівельним матеріалам. У зв'язку з цим при будівництві стін і дерев'яних перекриттів необхідно використовувати додаткові матеріали (засипки), які знижують показник звукопроникності [2].

Цінною властивістю деревини є здатність резонувати, тобто підсилювати звук без спотворення тону, що має дуже велике значення у виробництві дерев'яних музичних інструментів.

Електропровідність – здатність матеріалу проводити електричний струм. Дана властивість у деревини безпосередньо залежить від вологості деревини [2].

Деревина з найбільш високою міцністю і найменшою щільністю цінується у виробництві меблів, транспортних засобів тощо. Вартість деревини оцінюють одночасно за щільністю і міцністю. Для такої оцінки користуються коефіцієнтом якості, який являє собою відношення величини граничної міцності до щільності. Зіставлення різних матеріалів показує, що коефіцієнт якості деревини прирівнюється до сталі і значно вищий від полімерних матеріалів [9].

Властивість деревини не піддаватися руйнуванню через вплив біологічних факторів (грибки, бактерії, комахи) і хімічних речовин називають біологічною і хімічною стійкістю. За несприятливих умов експлуатації, до яких відноситься зміна температури і вологості середовища, деревина досить швидко руйнується. Однак деревина добре обробляється антисептиками, які забезпечують довгий термін зберігання її в найгірших умовах [9].

Деревина є анізотропним матеріалом, тобто матеріалом з неоднаковими властивостями за напрямками відносно волокон. Так, наприклад, всихання вздовж волокон менше, ніж впоперек волокон, а всихання в радіальному напрямку

менше, ніж в тангентальному. Різні також, залежно від напрямку волокон, значення показників вологопровідності, паропроникності, звукопровідності і деяких інших характеристик [2].

3. Хімічні властивості (характеристики органічних речовин).

Деревина за хімічною будовою складається з таких органічних речовин: целюлози, лігніну та геміцелюлози.

Целюлоза – природний полімер, полісахарид з довгою ланцюговою молекулою [10]. Формула целюлози $(C_6H_{10}O_5)_n$, де n – ступінь полімеризації, рівна 6000-14000. Це дуже стійка речовина, нерозчинна у воді і звичайних органічних розчинниках (спирті, ефірі, тощо), білого кольору. Пучки макромолекул целюлози — найтонші волокна, називаються мікрофібрилами. Вони утворюють целюлозний каркас стінки клітини. Мікрофібрили орієнтовані переважно вздовж довгої осі клітини, між ними знаходиться лігнін, геміцелюлоза, а також вода.

Целюлоза – основний компонент деревини. Її вміст в деревині хвойних порід (46...54%) більший, ніж в листяних (41...45%). Хімічні властивості целюлози визначаються будовою її макромолекули як полісахариду. Найбільший інтерес з властивостей целюлози мають реакції її деструкції (руйнування макромолекули під будь-якою дією) і реакції функціональних груп [11].

Лігнін – полімер ароматичної природи (поліфенол) складної будови; містить більше вуглецю і менше кисню, ніж целюлоза. Саме з цією речовиною пов'язаний процес одеревіння молоді клітинної стінки.

Лігнін хімічно нестійкий, легко окислюється, взаємодіє з хлором, розчиняється при нагріванні в лугах, водних розчинах сірчистої кислоти і її кислих солей [10].

У деревині хвойних порід міститься більше лігніну і менше геміцелюлози, ніж у деревині листяних. Хвойні породи містять більше гексозанів і менше пентозанів, ніж листяні [11].

Геміцелюлоза – група полісахаридів, в яку входять пентозани $(C_5H_8O_4)_n$ і гексозани $(C_6H_{10}O_5)_n$. Формула гексозанів на перший погляд ідентична формулі целюлози. Однак ступінь полімеризації у всіх геміцелюлоз набагато менший і складає 60-200. Це свідчить про більш короткі ланцюжки молекул і меншу стійкість цих речовин порівняно з целюлозою [10].

Вміст геміцелюлоз в деревині становить 17...43%. У листяних порід деревини геміцелюлоз приблизно в 1,5 раз більше, ніж у хвойних. Ланцюги геміцелюлоз можуть бути лінійними і розгалуженими. Вони значно коротші від ланцюгів целюлози (ступінь полімеризації приблизно дорівнює 100...200) [11].

Деревинні композиційні матеріали (ДКМ) – це матеріали, що отримуються шляхом оброблення натуральної деревини тиском при підвищених температурах, просочуванням хімічними речовинами, склеюванням тощо [12]. Тобто, це матеріали із деревини, під час оброблення якої змінюється її природна фізична структура і хімічний склад.

Більшість ДКМ – це композиції, вироби з яких мають певне поєднання експлуатаційних властивостей, наприклад, деревинностружкова плита, фанера тощо. У всіх випадках – це система різних матеріалів, кожна із складових якої має своє конкретне призначення у готовому виробі. Ні шпон, ні клей не можуть виконувати свої функції незалежно, а у фанері вони використовуються сумісно і повинні розглядатися як єдина композиція [12].

Фанера – це шарувата клеєна деревина, яка складається з склеєних між собою трьох і більше листів луценого шпону з взаємно перпендикулярним розташуванням волокон деревини в суміжних шарах [1].

Якість фанери і фанерної продукції характеризується в основному фізико-механічними властивостями, які регламентуються відповідними стандартами і технічними умовами та залежать від породи і властивостей деревини, з якої вони виготовлені. Окрім цього, на ці властивості впливають вид застосовуваного клею, режими склеювання, товщина шпону тощо.

Основні фізичні властивості фанери: щільність, водо-, вологопоглинання, вологість, теплоємність, теплопровідність, звукопровідність [1].

Щільність фанери залежить від товщини, кількості шарів шпону, породи деревини, способу і режиму склеювання. Вона на 18...25% більша, ніж щільність масивної деревини.

Ущільнення деревини шпону більше при гарячому сухому способі склеювання, ніж при холодному [1]. Тонка фанера під тиском ущільнюється більше, ніж товста. Чим тонший шпон, який застосовується для виготовлення фанери однакової товщини, тим більше вологи вноситься в пакет з клеєм і щільніша фанера.

Щільність фанери зменшується із збільшенням загальної товщини фанери, незважаючи на збільшення кількості шарів. Тобто пластичність шпону суттєвіше впливає на щільність фанери порівняно з наявністю в ній сухих речовин клею [1].

Вологість фанери залежить від технології її виготовлення та умов експлуатації і визначає практично всі фізико-механічні показники фанери.

Водопоглинання фанери, тобто здатність поглинати вологу з навколишнього повітря, залежить від відносної вологості і температури повітря. Фанеру зберігають при відносній вологості повітря 55-60% і температурі 20°C.

Водопоглинання і об'ємне набрякання фанери залежить від породи деревини. За однакової товщини фанера з більшою кількістю шарів має менше водопоглинання. Збільшення вологості зменшує механічні показники фанери. Для порівняння механічних властивостей різних видів фанери її вологість приймають 12% [1].

Теплопровідність фанери – важливий показник при її використанні та виборі. Вона залежить від вологісних характеристик фанери, так як вода в кілька разів швидше прогрівається, ніж деревина. Отже, суха фанера менш теплопровідна, ніж волога. При підвищенні вологості в приміщенні теплопровідність фанери, відповідно, зростає [13].

Теплопровідність фанери впливає на її міцність. При нормальній температурі (+10...30 °C) міцнісні властивості фанерного листа залишаються незмінними, але при підвищенні температури (понад +30 °C) міцність фанери різко знижується.

При зниженні температури нижче кімнатної еластичність і міцність фанери, навпаки, підвищується .

Механічні показники фанери залежать від щільності, вологості, способу виготовлення, породи деревини, виду клею, вад деревини тощо.

Основні механічні показники, які характеризують властивості продукції залежно від її призначення: межа міцності при розтягу, межа міцності при поперечному згині, межа міцності при сколюванні в сухому вигляді і після вимочування чи кип'ятіння, модуль пружності та ін. [1].

Показники щільності та міцності при розтягу шпону з деревини різних порід товщиною 1,5 мм наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Властивості лущеного шпону

Властивість	Порода деревини		
	Вільха	Береза	Сосна
Щільність, кг/м ³	470	590	430
Межа міцності при розтягу вздовж волокон, МПа	95	121	60

1.2. Аналіз використання породного складу сировини для виробництва шпону

Для виробництва шпону, з якого виготовляють фанеру, використовуються зазвичай листяні породи деревини.

Згідно з діючими стандартами [14, 15] для виготовлення лушеного шпону використовують такі породи деревини: листяні – вільха, береза, осика, ільм, тополя, липа; хвойні – сосна, модрина, кедр, ялина, ялиця.

Найбільше застосовується деревина берези, яка має високу механічну міцність (особливо при ударних навантаженнях), однорідну будову та колір, середню щільність і твердість, добре обробляється різанням. Інші листяні породи використовуються обмежено: вільха і липа – через незначні запаси, осика – внаслідок її низьких технічних властивостей [16].

Деревина хвойних порід відрізняється щільністю і міцністю ранньої і пізньої зон річних шарів. Шпон з хвойної деревини має велику шорсткість, нерівномірну товщину, зменшену міцність. Висока смолистість деревини і значна вологість заболонної і ядрової зони ускладнюють технологію сушіння хвойного шпону та склеювання фанери. Наявність у великій кількості таких природних вад, як сучки, у хвойної деревини, не дозволяє виготовляти продукцію високого сорту без додаткових операцій [16].

Якість деревини лісоматеріалів повинна відповідати 1 та 2 сорту. Допустимий мінімальний діаметр сировини листяних порід – 16 см, сировини хвойних порід – 18 см. Фанерну сировину заготовляють у чурбаках довжиною 1,3; 1,6; 1,91; 2,23; 2,54 м і в кряжах, довжина яких кратна довжині чурбаків. При довжині чурбака 1,91 м і більше мінімально допустимий діаметр сировини листяних порід – 18 см, хвойних – 20 см [16].

Довгий час вважалося, що для виготовлення лушеного шпону придатні тільки листяні породи: переважно береза, вільха, бук і частково ясен і осика [17].

З розвитком фанерної промисловості і збільшенням попиту на шпон та фанеру кількість порід, застосовуваних для виробництва, збільшувалася. В зв'язку із зменшенням сировинних запасів, введенням у виробництво

синтетичних клеїв і широким поширенням облагороджування та обробки фанери шляхом шліфування, полагодження, фарбування, покриття плівками та паперовими пластиками почали використовувати як сировину для фанери деревину хвойних порід: сосни, кедр і, частково, модрина, ялини і ялиці, а також листяних порід, таких як липа і тополя [17].

Все це підтверджує, що при певних економічних умовах як сировина для фанерної промисловості придатні багато деревинних порід, які задовольняють умови виробництва.

На технологію застосування тієї чи іншої деревинної породи у фанерному виробництві впливає анатомічна будова деревини. До однієї з перших особливостей будови, яка має велике значення, слід віднести утворення річного шару, яке відбувається у кожній породі по-різному.

У деяких листяних порід, наприклад дуба, ясена, річний шар не однорідний, тому що утворення весняної його частини в них починається з крупних судин, а літня частина нарастає вузькими судинами [17].

В берези, вільхи, клена, осики, липи та інших листяних порід обидві частини річного шару нарастають у вигляді вузьких судин, що забезпечує однорідність будови і щільність деревини.

У хвойних порід деревина у весняний час відкладається у вигляді широкополосних клітин (трахеїд), а літом – у вигляді сплюснутих в радіальному напрямку клітин, в 3-4 рази менших, ніж весняні. Відповідно, основну масу деревини хвойних порід складають трахеїди, які у весняній частині річного шару є широкими тонкостінними клітинами, а в літній – вузькими з потовщеними стінками. Тому весняна частина рихла, а літня щільна і, відповідно, більш міцна [17]. Тобто, деревина хвойних порід має неоднакову міцність по річному кільцю і при луценні це буде сприяти розриванню шпону і нерівномірності його по товщині.

Іншою суттєвою особливістю деревини хвойних порід є наявність в ній смоляних ходів, які впливають на виробничий режим. Найбільш багаті смолою сосна, кедр і модрина. Із хвойних порід особливу групу складають ялина і ялиця.

У ялини смоляні ходи незначні, в ялиці вони відсутні. Деревина ялини і ялиці не має ядра, найбільш розвинута зона річного шару – весняна [17].

Другим важливим фактором для фанерного виробництва, пов'язаним з анатомічною будовою деревини, є наявність в ній заболоні (молодої, більш вологої деревини з ще живими клітинами) і ядра, що містить менше вологи і складається з відмерлих клітин. Більша частина листяних порід, що застосовується у фанерному виробництві, відноситься до заболонних, до порід з великим ядром відноситься дуб [17].

Третій фактор – серцевинні промені, які надаючи деревині красу малюнку (текстури), поступаються за міцністю масивній деревині і не допускаються у вищих сортах фанери спеціального призначення.

Між анатомічною будовою деревини і її фізико-механічними властивостями існує певний зв'язок.

До фізичних властивостей насамперед відноситься об'ємна вага, яка залежить від кількості паренхіми і будови річного шару.

Іншою важливою властивістю є відносна щільність деревини, яка характеризує ступінь рівномірності розміщення частин деревини в даному об'ємі [17]. Вона визначається будовою річного шару і розподілом в ній судин. Це має велике значення для фанерного виробництва, тому що дає можливість отримувати тонкі і довгі листи шпону без розривання і викрошування волокон.

За ступенем відносної щільності деревинні породи, що застосовуються у фанерному виробництві, можна розділити приблизно так: найбільшу відносну щільність мають осика, береза, липа, вільха; середню – бук, клен; найменшу – дуб, ясен [17].

Основними факторами, що утворюють красиву текстуру поверхні зрізу є серцевинні промені і неоднорідність весняної і літньої частин річного шару. Чим ширші серцевинні промені, тим гарніший малюнок.

Одноманітний малюнок мають породи з вузькими серцевинними променями, тонкими волокнами і рівномірно розміщеними судинами. Звідси

впливає, що деревина високої відносної щільності має рівномірну текстуру, а деревина найменшої відносної щільності – нерівномірну [17].

За ступенем твердості деревинні породи, що застосовуються у фанерному виробництві, розташовуються в такому порядку: дуже м'які – липа, осика і тополя; м'які – береза, вільха; тверді – клен, ясен, дуб, бук.

Деревинні породи, що застосовуються в найбільшій кількості у виробництві фанери, – береза, вільха, липа і частково осика, – характеризуються певними технічними якостями [17]. Деревина цих порід легко лушиться, має рівномірну щільність та однорідність будови, що забезпечує можливість отримання без розривів великих і тонких листів шпону.

Колір деревини однотонний, специфічного запаху немає. Це забезпечує широкі можливості її застосування.

Деревинні породи іншої групи – дуб, ясен, неоднорідні за структурою, мають велику кількість серцевинних променів, які гублять малюнок при луценні і надають красу при струганні.

Тому група цих порід застосовується в основному у виробництві струганого шпону. Бук займає проміжкове положення між обома групами, використовується як при луценні, так і при струганні [17].

Виходячи з особливостей анатомічної будови деревини, яка найбільше впливає на здатність деревини лушиться, у фанерному виробництві в основному використовуються такі породи як береза та вільха.

Рівномірна структура, середня твердість, високий опір розриву впоперек волокон та розриву і зламу вздовж волокон деревини берези дозволяє отримати луценням гладкий, без задирання, дуже тонкий (і товстий) шпон.

Деревина вільхи за твердістю та іншими фізико-механічними показниками поступається березі, але завдяки тому, що добре ріжеться, не змінює свою форму, добре шліфується, імітується під цінні породи також досить поширено використовується у фанерній промисловості [17]. В таблиці 1.2. наведено порівняльну характеристику деревини різних порід для виготовлення фанери.

Характеристика порід деревини для виготовлення фанери [18, 19,20]

Порода деревини	Характеристика поверхні деревини		Об'ємна вага свіжо-зрізаної деревини, кг/м ³	Базисна щільність, кг/м ³
	Колір	Текстура		
Вільха	Світло-коричневий з рожевим відтінком	Однорідної структури, річні шари видно на всіх розрізах, на поперечному вони трохи звивисті й добре помітні	810	430
Береза	Білого кольору з рожевим відтінком	Однорідної структури, річні шари виражені слабо, але після змочування водою стають більш помітними	870	520
Осика	Білого кольору із зеленкуватим відтінком	Однорідної структури, річні шари товсті, жовтувато-білого кольору, на поперечному розрізі на вигляд як чітко окреслені правильні кола	760	410
Липа	Білий колір із легким рожевим відтінком	Однорідної структури, річні шари товсті, ледь помітні на поперечному та радіальному розрізах, але їх чітко видно на тангенціальному розрізі	760	400
Сосна	Жовтувато-білий, ядро бурочервоне	Неоднорідна структура з яскраво вираженими річними шарами. Значна кількість крупних сучків	820	415

Таким чином можна сказати, що практично всі види листяних і окремі види хвойних порід можуть застосовуватись для виготовлення лушеного шпону, адже за своїми характеристиками вони є подібні. Однак властивості отримуваної фанери, залежно від вибраної сировини будуть різні.

1.3. Аналіз методів і способів пропарювання деревини

В деревообробці існує багато різних методів обробки деревини, які дозволяють надати деревині потрібних властивостей, підготувати її до подальшого використання у якості сировини.

Одним з прикладів такої обробки є метод пропарювання пиломатеріалів [21]. В результаті пропарювання:

- деревина набуває більш рівномірне забарвлення, стає більш темнішою;
- поліпшуються фізичні властивості деревини за рахунок того, що після пропарювання зменшується її щільність і набрякання;
- знижується рівень внутрішньої вологи у деревині.

Для пропарювання використовується свіжозрізана або нещодавно зрізана деревина, вологість пропарюваної деревини повинна бути вище точки насичення волокон (що становить близько 25-28%). Інакше в результаті можна отримати матеріал нерівномірно плямистого забарвлення [21].

Початкова вологість матеріалу повинна бути від 60 до 80%, товщина – від 40 до 70 мм.

Для пропарювання використовується спеціальне обладнання – горизонтальні парильні котли [21].

Залежно від способу укладання сировини, котел може мати круглий або прямокутний перетин. Система манометрів і термометрів дозволяє підтримувати під контролем температуру і тиск, яким піддається деревина всередині котла. Завантажувальні отвори котла закриваються щільно, роблячи простір усередині нього повністю герметичним. Під час роботи простір всередині котла не повинен сполучатися із зовнішньою атмосферою.

Деревина пропарюється вологою парою під тиском 0,4 або 0,5 МПа і температурі 110 °С [21]. У нижньому ярусі котла розташований резервуар з водою, через яку пропускають пару для додаткової насиченості.

Колір деревини розпочинає змінюватися після того, як її температура досягне однакового значення з температурою насиченої пари. Після цього

процес зміни кольору буде потроху йти на спад, але колір продовжить змінюватися – вглиб волокон деревини.

Тривалість циклу пропарювання може відрізнятись, це залежить від виду оброблюваного матеріалу. Наприклад, бук піддається пропарюванню протягом 30 годин, вільха та береза – 10-12 годин, тополя й сосна – 12-15 годин [21].

У роботі [22] досліджено вплив теплової обробки на фізико-механічні властивості деревини бука. Зміни, які проходять з деревиною при пропарюванні, є результатом складних хімічних та фізико-хімічних процесів і явищ. Ці зміни можуть бути частково зворотними, а частково незворотними. Все залежить від тривалості пропарювання і температури середовища (пари).

Щільність є однією з найважливіших властивостей деревини, від якої залежать і інші показники. При пропарюванні букової деревини її щільність зменшується.

Як показали дослідження В. Gonet [23] та Е. Kubinsky [24], величина всихання пропареної букової деревини при $P = 0,1$ МПа протягом 16 годин в радіальному напрямку зменшилась на 2%, а в тангентальному напрямку – на 8%. Дещо більшою є величина набрякання в роботі Е і L. Plath [25], відповідно 3% і 12%.

Гігроскопічність пропареної деревини в порівнянні з не пропареною майже не змінюється. Найбільша різниця спостерігається при відносній вологості середовища 60...80%, де величина сорбції на 2...3% менша, ніж у не пропареної [26].

При пропарюванні можуть змінюватись розміри матеріалу (через незворотні температурні розширення), але ці зміни є незначними: збільшується близько 1% в тангентальному і зменшується на 5% в радіальному напрямках по відношенню до відповідного розміру [22].

Для з'ясування характеру зміни показників міцності пропареної деревини в порівнянні з не пропареною деревиною обиралися показники статичної твердості (торцьової, тангентальної і радіальної) та межа міцності при стисканні впоперек волокон в тангентальному та радіальному напрямках [22]. Вологість

дослідних зразків при всіх випробуваннях доводилась до рівня 12%. Тривалість пропарювання становила 2, 4, 6, 9, 12, 24 години.

Дослідження показують, що пропарювання зменшує показники міцності деревини. При цьому на міцність значно впливають температура середовища та тривалість обробки.

Під час експериментальних досліджень зразу після пропарювання з деревини виготовлялись відповідні зразки за методикою [27] та проводили визначення змін якісних показників пропареної деревини в порівнянні з непропареною.

Встановлено, що після пропарювання змінюється природний колір деревини, гігроскопічність, щільність, величина всихання і набрякання, вологопровідність, а також показники міцності.

Апроксимація експериментальних даних дала можливість отримати емпіричні залежності, а саме: рівняння зміни щільності, статичної твердості (в торцевому, тангентальному та радіальному напрямках відносно волокон) та міцності деревини бука при стисканні в поперек волокон.

Підбір оптимального режиму пропарювання дає можливість покращити фізико-механічні властивості деревини і таким чином підвищити її споживчі якості. Внаслідок збільшення вологопровідності під час теплової обробки покращується також якість просочування дерев'яних будівельних конструкцій вогнезахисними засобами [22].

Пропарювання сухої деревини, тобто з низьким вмістом вологи, вимагає більш тривалого часу.

Гідротермічна обробка деревини здійснюється для підвищення її пластичних властивостей.

Пропарювання деревини, яке використовується у виробництві струганого шпону може проводитись у парильних камерах (ямах) [16].

Парильна камера, кінематична схема якої зображена на рис 1.1, – це залізобетонна камера 1 з кришкою 2, яка оснащена системою автоматичного регулювання процесу пропарювання.

Камера працює так: після завантаження камери брусами або ванчесами закривають кришку 2, вмикають регулятор 10.

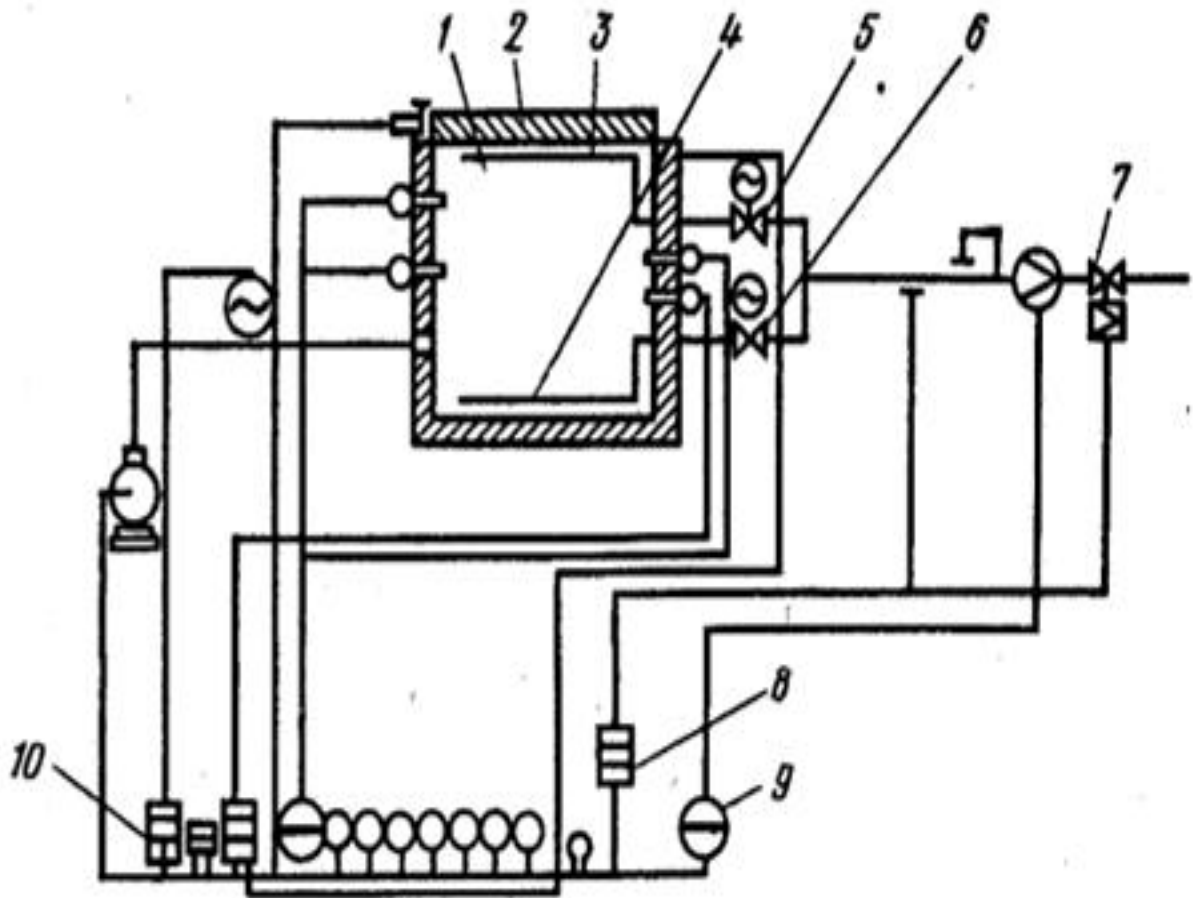


Рис 1.1. Кінематична схема парильної камери [16]

Пара через дросельну затулку 5 нижнього регістра 4 починає надходити у камеру 1. Коли температура у камері досягне значення заданого режимом, регулятор дає команду на закривання дросельної затулки на нижньому регістрі і одночасно відкривання затулки 6 на верхньому регістрі 3, який підтримує заданий ізотермічний режим.

Після закінчення заданого часу обробки регулятор подає команду на закривання верхнього регістра 3 і охолодження камери вмиканням вентилятора для відсмоктування пароповітряної суміші.

Витрату пари контролюють витратоміром 9, а тиск пари вимірюють манометром 8. Тривалість пропарювання у парильних камерах наведена у таблиці 1.3 [16].

Режими пропарювання деревини у парильних камерах [16]

Порода деревини	Температура пропарювання, °С	Тривалість пропарювання, год	
		Влітку	Взимку
Дуб, клен	80-90	10-12	15-16
Бук	90-100	24	36
Ясен, в'яз	90-100	40	60
Горіх	90-100	72-96	108-144
Чинара	90-100	60	80
Карагач	90-100	24	36
Червоне дерево	90-100	18	25

Проте, через велику трудомісткість і незручність операцій завантаження і розвантаження парильних ям, а також тривалі терміни обробки (20...30 год) для пропарювання брусів і ванчесів використовують переважно парильні автоклави.

Автоклав (рис 1.2) – це герметично замкнутий апарат для здійснення фізико-хімічних процесів під тиском, більшим від атмосферного, і при різних температурах [16]. У нижній частині автоклава розташована труба з отворами для подачі пари. Робоча температура в автоклаві – до 140°C. Температура нагрівання деревини залежить від породи і становить 30...70 °С.

Для досягнення потрібної температури і рівномірності її розподілу за об'ємом деревини необхідно призначити різну тривалість пропарювання залежно від їх товщини і породи, а також витримувати їх деякий час після автоклава у приміщенні цеху [16].

При пропарюванні треба поступово підвищувати тиск пари, а отже, і температуру пароводяної суміші у автоклаві на початку і зменшувати в кінці. Для кращого прогрівання деревини і виключення розтріскування заготовок окрім поступового піднімання і поступового зменшення тиску використовують переривчасті режими, зрошення заготовок водою та інші заходи [16].

Автоклавне пропарювання деревини має недолік, який у певних випадках може бути досить суттєвим. Поверхневі зони деревини зазнають дії підвищеної (до 130 °С) температури, внаслідок чого зменшується міцність і темніє деревина, що особливо помітно на сировині імпортованих декоративних порід. У цих випадках треба здійснювати обробку в автоклавах при тиску, близькому до атмосферного, або використовувати парильні ями [16].

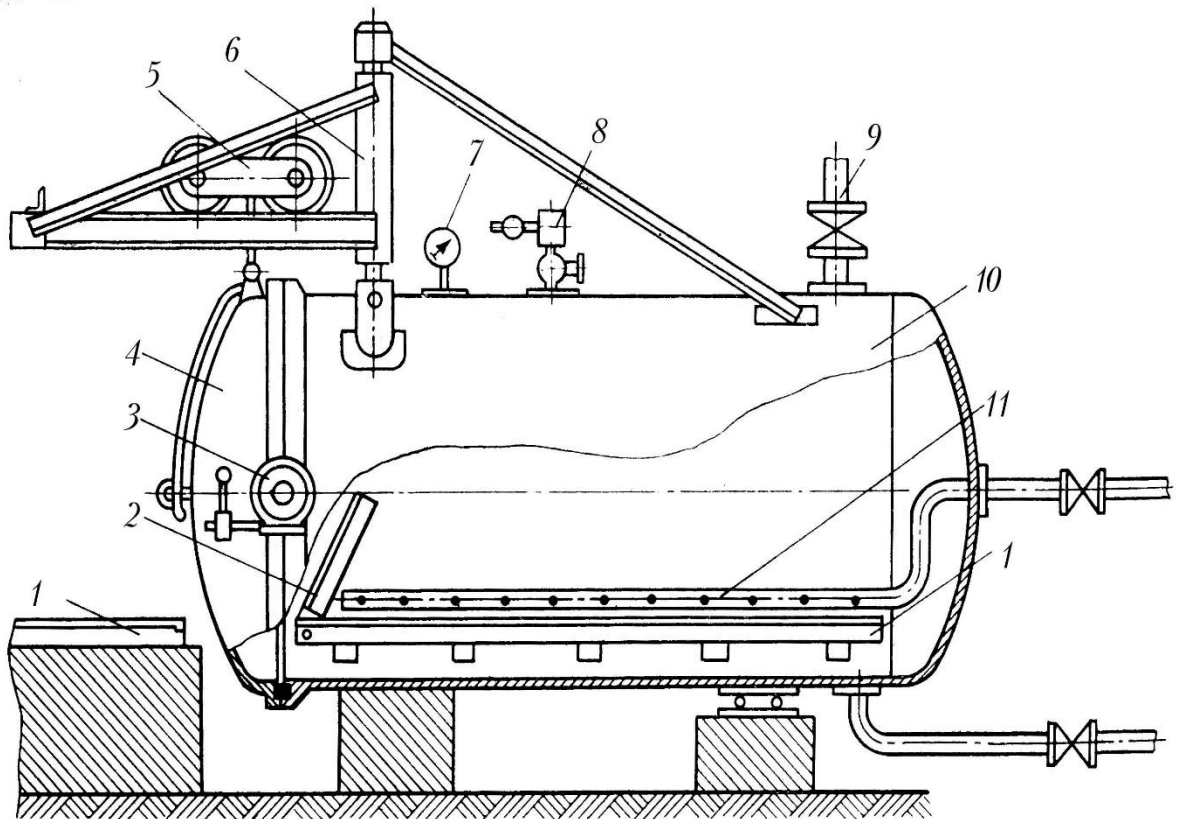


Рис 1.2. Схема парильного автоклава: 1 – стаціонарні рельси; 2 – відкидні рельси; 3 – запірний механізм; 4 – знімна кришка; 5 – каретка; 6 – поворотний кронштейн; 7 – манометр; 8 – запобіжний клапан; 9 – випускна труба; 10 – корпус автоклава; 11 – паророзподільна труба.

У таблиці 1.4. наведено режими пропарювання деревини за різних способів обробки.

Порівняльна характеристика режимів пропарювання деревини за різними породами та способами обробки [16, 21]

Порода деревини	Режим пропарювання деревини			
	Температура, °С	Тиск, МПа	Тривалість пропарювання, год	
Спосіб пропарювання деревини в парильних котлах				
Бук	110	0,4-0,5	30	
Вільха та береза	110	0,4-0,5	10-12	
Тополя та сосна	110	0,4-0,5	12-15	
Спосіб пропарювання деревини у парильній камері				
Листяні породи	80-100	-	влітку	взимку
			10-96	15-144
Спосіб пропарювання деревини в автоклаві				
Бук	До 140	0,1-0,25	2,25-3,33	
Дуб	До 140	0,1-0,25	3,25-4	

Проаналізувавши режими пропарювання деревини різних порід, за відомими способами, можна сказати що рекомендованими параметрами для пропарювання деревини вільхи та берези в автоклаві будуть такими:

- тиск: 0,1-0,12 МПа;
- температура: 100 – 105 °С;

Зважаючи на те, що товщина луценого шпону є значно меншою від товщини бруса або колоди, тривалість пропарювання буде відповідно – 30 хв.

1.4. Аналіз режимів термічного ущільнення деревини

Важливою умовою економічно вигідного використання деревини є збільшення терміну її експлуатації, захист від біологічного руйнування, горіння, дії води та хімічно агресивних середовищ, покращення фізико-механічних властивостей.

В останні роки досягнуті великі успіхи в вирішенні проблеми підвищення якості деревини шляхом її модифікування.

Модифікування деревини – це процес направленої зміни властивостей деревини стосовно умов експлуатації виробів з неї [28].

До модифікування деревини також відноситься пресування або термічне ущільнення деревини. На основі цього було зроблено багато експериментальних досліджень.

У роботі [29] описується метод просушування деревини. Донедавна просушування здійснювали методом витримування деревини в спеціальних печах за температури до 150 °С. Але в 1997 року у Фінляндії застосували новий метод просушування й назвали його «термообробка».

Власне кажучи, нововведенням з'явилося лише підвищення температури в термічних печах з попередніх 100-150 °С до 150-230 °С, що призвело до зменшення тривалості просушування й більш повного видалення вологи з деревини, а значить і до істотного зменшення її маси. Таким чином, нова технологія призвела до економії як часу виробництва модифікованих пиломатеріалів, так і витрат на транспортування [29].

Більше того, покращилися експлуатаційні властивості деревини. Термообробка призводить до майже повного вилучення вологи з деревини, що, у свою чергу, призводить до її ущільнення й зменшення пористості, а значить знижує здатність деревини до поглинання вологи з повітря. Така деревина практично не вимагає додаткової обробки водозахисними засобами.

Деревина, що пройшла термообробку, має мінімально можливу теплоємність для цього матеріалу, а значить має підвищені теплозахисні характеристики.

Термічна обробка також сприяє розщепленню характерних для деревини органічних речовин, зменшуючи ймовірність ураження деревини грибками й мікроорганізмами. Це робить оброблену таким способом деревину гігієнічно безпечною. Смола хвойної деревини також руйнується за допомогою часткового випаровування й кристалізації. При цьому характерний аромат не тільки не зникає, але й підсилюється згодом під впливом вологи [29].

Термообробка також надає деревині стійкий коричневий відтінок, причому не тільки на поверхні, але й по всьому об'ємі, у чому легко можна переконатися, зробивши поперечний зріз. Ушкодження й подряпини на такій деревині практично не помітні.

Сьогодні термооброблена деревина знаходить все більше практичне застосування в силу своїх унікальних і корисних властивостей. Її використовують в обробці приміщень із підвищеною вологістю (лазні, басейни, сауни), обшивають зовнішні стіни будинків, використовують для виробництва паркетних підлог, садових меблів, музичних інструментів й інших виробів, що мають тривалий термін експлуатації [29].

Перелік найважливіших властивостей термообробленої деревини [29]:

- додання деревині рівномірного забарвлення;
- кардинальне зменшення теплопровідності;
- підвищення міцності;
- збільшення гідрозахисних властивостей;
- захист від бактерій і грибків;
- стійкість до несприятливих впливів зовнішнього середовища;
- зменшення ймовірності деформації деревини згодом;
- ущільнення структури деревини на клітинному рівні.

Вплив термомеханічного ущільнення на шорсткість поверхні шпону досліджено у роботі [30].

Для дослідження було використано шпон 4 порід деревини: вільхи, берези, бука та сосни, розміром 300 x 300 x 1,5 мм, вологістю 5%. Листи шпону

ущільнювали при температурі 100, 150 та 200°C і тиску 4, 8 та 12 МПа. Час ущільнення становив 4 хв.

Дослідження показали, що температура і тиск ущільнення значно впливають на шорсткість поверхні шпону. Поверхня стала гладшою, а значення шорсткості зменшилось зі зростанням температури і тиску ущільнення. Найменші значення шорсткості поверхні були для зразків шпону сосни, потім вільхи, берези і бука. Ущільнені зразки мають підвищену якість поверхні.

Дані, які отримані в цьому дослідженні, можуть бути використані як інструмент контролю якості для подальших процесів, таких як обробка чи склеювання шпону з чотирьох порід деревини [30].

У роботі [31] було досліджено вплив короточасного термомеханічного ущільнення (температури і тиску пресування) на колір поверхні лущеного шпону, а також можливі кореляції між усіма визначеними колірними параметрами (L^* - яскравість; a^* – градація червоно - зелених тонів; b^* - градація жовто – синіх тонів; h – кут колірного тону; C^* – значення зміни кольору та ΔE – загальна зміна кольору).

Для дослідження використовували лущений шпон 4 порід: вільхи, бука, берези та сосни. Ущільнення проводили при температурі 100, 150 та 200 ° С і тиску 4, 8 та 12 МПа протягом 4 хв.

Результати порівнювалися з результатами не ущільненого шпону. Зміну кольору зразків оцінювали за допомогою системи колірних координат CIE $L^* a^* b^*$ та $L^* h^* C^*$ [31].

Отримані результати показали, що температура і тиск ущільнення впливають на зміну кольору зразків шпону, причому ефект температури ущільнення є більш очевидним, ніж тиск.

Після процесу ущільнення шпон темніє. Зміна кольору найбільш виражена при найвищій температурі ущільнення 200 °С і дуже мало помітна при температурі 100 і 150 °С для всіх досліджених порід деревини.

Загалом, зразки шпону вільхи та берези характеризуються найвищими значеннями загальної кольорової різниці, потім – зразки сосни та буку.

Результати цього дослідження вказують на те, що можна керувати поверхневим забарвленням шпону деревини під час процесу ущільнення на промисловій основі [31].

У роботі [32] проаналізовано вплив режимних параметрів пресування (тиск пресування, температура, тривалість п'єзотермічної обробки та витрата клею) на ступінь спресування фанери з березового та вільхового шпону.

Для проведення експериментальних досліджень виготовляли п'ятишарову фанеру з використанням вільхового та березового шпону. Розміри листів шпону $500 \times 500 \times 1,5$ мм, вологість 4-6%. Листи шпону склеювали клеєм на основі карбамідоформальдегідної смоли марки КФС-01-МУУ.

Як затверджувач до карбамідоформальдегідної смоли додавали технічний алюміній сульфат $Al_2(SO_4)_3$ у вигляді водного розчину кількістю 1,0% від маси смоли [32].

Пакети шпону формували за наступним варіантом комбінування: б-в-б-в-б (б – листи березового шпону, в – листи вільхового шпону).

При проведенні досліджень приймали: тиск пресування – 1,0; 1,4; 1,8 МПа; температуру пресування – 115, 130, 145°C; тривалість п'єзотермічної обробки – 6, 8, 10 хв; витрату клею – 120, 135, 150 г/м².

Отримані результати показали, що при збільшенні температури від 115 до 130°C спресування збільшується в середньому на 8-15%, тоді як в інтервалі температур 130-145°C інтенсивність зростання досягає порядку 33-40% [32].

Найінтенсивніше збільшення спресування пакета шпону (порядку 46-52%) відбувається при піднятті тиску від 1,4 до 1,8 МПа та температури від 115 до 130°C при витраті клею 120-135 г/м². Зі збільшенням температури пресування та витрати клею інтенсивність хоч і менша, однак величина спресування найбільша [32].

Аналіз показав, що значне збільшення спресування відбувається при тривалості пресування 6-8 хв. Тоді як зі збільшенням тривалості до 10 хв при тиску 1,0 та 1,4 МПа спресування зменшується: інтенсивніше при тиску 1,0 МПа, та з меншою інтенсивністю при 1,4 МПа.

Збільшення тривалості до 10 хв при тиску 1,8 МПа суттєво на величину спресування не впливає. Звідси випливає, що тиску пресування 1,0 та 1,4 МПа достатньо для забезпечення двохстороннього контакту між клейовим шаром та поверхнями, які склеюються. А тривалості пресування 10 хв при температурі 115°C є достатньо для закінчення фізико-хімічних перетворень у клейовому шарі. Внаслідок цього величина спресування зменшується [32].

Отже, як показують дослідження, раціональний режим пресування фанери, для пакета з березового та вільхового шпону з використанням карбамідоформальдегідного клею є: тиск 1,8 МПа; тривалість пресування 8-10 хв; температура – 130-145°C; витрата клею – 150 г/м². Чим більші тиск та температура пресування, тим більша буде величина спресування.

У роботі [33] розроблено режим пресування фанери, виготовленої на основі карбамідоформальдегідної смоли з використанням алюміній сульфату або амоній персульфату.

Для виконання досліджень використовували березовий лущений шпон товщиною 1,5 мм, вологістю 4-6 %, карбамідоформальдегідну смолу марки КФС-01-МУУ. Для затвердіння карбамідоформальдегідної смоли використовували алюміній сульфат $Al_2(SO_4)_3$ або амоній персульфат $(NH_4)_2S_2O_8$.

Склад клейових композицій становив, %: карбамідоформальдегідна смола – 100, алюміній сульфат – 1,0 або карбамідоформальдегідна смола – 100, амоній персульфат – 1,5 [33].

Встановлено, що утворення міцного комплексу полімер-деревина можливе не тільки внаслідок додавання затверджувача, але й під час створення відповідних умов пресування.

Температура та тривалість пресування істотно впливають на перебіг процесів, які відбуваються під час пресування фанери.

Фанера з підвищеними показниками фізико-механічних властивостей утворюється за умов, які забезпечують максимальну глибину затвердіння та хімічну взаємодію клею з деревиною [33]. У разі використання алюміній сульфату, такими умовами є: тиск – 1,8 МПа, температура – 115°C, тривалість –

5,7 хв, а в разі використання амоній персульфату, відповідно: тиск – 1,8 МПа, температура – 116°C, тривалість – 6,5 хв [33].

Проаналізувавши вище наведені способи обробки шпону, можна сказати, що оптимальним режимом ущільнення пропареного та не пропареного шпону буде:

- тиск 2 МПа;
- тривалість 3 хв (2 хв ущільнення + 1 хв. зменшення тиску);
- температура від 150 до 210 °С.

Режими склеювання шпону карбамідоформальдегідними клеями, які рекомендовані у технічній літературі, наведені в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5

Технологічні режими склеювання шпону карбамідоформальдегідними клеями [1]

Товщина фанери, мм	Кількість пакетів в одному проміжку	Режими склеювання шпону з деревини листяних порід				
		Кількість шарів фанери	Температура плит преса °С	Тиск при склеюванні, МПа	Тривалість склеювання, хв	Тривалість знімання тиску, хв
3	4	3	125-130	1,8-2,0	4,0...3,5	1,0
3	5	3	125-130	1,8-2,0	5,5...4,0	1,0
4	3	3	125-130	1,8-2,0	4,0...3,5	1,0
4	4	3	125-130	1,8-2,0	6,0...4,5	2,0
5	2	4-5	115-120	1,8-2,0	5,5...4,0	1,5
5	3	4-5	115-120	1,8-2,0	9,0...6,0	1,5

Якість фанери і фанерної продукції характеризується в оновному фізико-механічними властивостями, які регламентуються відповідними стандартами і технічними умовами. Також вона залежить від породи і властивостей деревини, з якої вони виготовлені. Окрім цього, на ці властивості впливають вид застосовуваного клею, товщина та режими склеювання [1].

1.5. Висновки і завдання досліджень

Враховуючи вище наведені режими пропарювання деревини, приймаємо рекомендованими параметрами для пропарювання деревини вільхи в автоклаві:

- тиск: 0,1-0,12 МПа;
- температура: 100 - 105 °С;
- тривалість: 30 хв.

Враховуючи вище наведені способи обробки шпону, приймаємо рекомендованим режимом ущільнення пропареного та не пропареного шпону:

- тиск: 2 МПа;
- тривалість: 3 хв (2 хв ущільнення + 1 хв. зменшення тиску);
- температура: від 150 до 210 °С.

Враховуючи вище наведені режими пресування фанери, приймаємо рекомендованим режимом склеювання фанери:

- тиск: 1,8 МПа;
- Температура: 130 °С;
- тривалість пресування одного пакету шпону: 3 хв.

Мета роботи – проаналізувати властивості ущільненого вільхового шпону та ущільненого з попереднім пропарюванням шпону за різних температур ущільнення, а також визначити властивості фанери з модифікованого шпону.

Для реалізації поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

1. Дослідити вплив пропарювання на фізичні властивості луценого шпону (вологість та щільність).

2. Дослідити вплив температури термічного ущільнення на властивості пропареного і не пропареного луценого шпону (вологість, щільність, величина спресування).

3. Визначити властивості фанери, виготовленої з ущільненого та з попередньо пропареного і термічно ущільненого вільхового шпону.

2. МЕТОДИКА ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Матеріали, використані в експериментальних дослідженнях

При виконанні досліджень використовувались такі матеріали:

- лущений шпон з вільхової породи;
- смола карбамідоформальдегідна.

Існує багато видів вільхи, але найчастіше зустрічаються 2 види: вільха сіра (біла) та вільха чорна (клейка). Вільха сіра більш світлолюбна і морозостійка, ніж вільха чорна, та й до ґрунтів вона менш вимоглива – виносить навіть заболочування [34].

Вільха – заболонна порода. У свіжозрубаної вільхи – деревина білого кольору, але тут же на очах вона стає рожевою, а потім малиною. Текстура вільхи виражена слабо. Річні шари, що мають на торці злегка звивисту межу, досить чітко помітні, але на тангентальному розрізі вони розпливчасті і майже не видно на радіальному зрізі. Рідко розташовані серцевинні промені на тангентальному розрізі помітні у вигляді довгих штрихів, на радіальному – злегка вигнутих, а на поперечному – у вигляді світлих смуг [34].

Деревина вільхи дуже легка, м'яка, при всиханні зменшується в об'ємі незначно і майже не тріскається. Вона легко і без особливих зусиль обробляється ріжучими інструментами. Порізки виходять чіткими, чистими, з гладкою, злегка бархатною поверхнею. Вільху застосовують для станкової та камерної скульптури, настінних різьблених панно і декоративного посуду. З вільхи різали, точили і довбали всіляке кухонне начиння: чашки, миски, ложки та ковші. Розпарена вільха йде на виготовлення гнутих меблів. Брусочки м'якої вільхи майстри здавна застосовували для лошіння виробів з деревини інших порід [34].

Вільхові кряжі добре піддаються луценню. Лущений шпон йде на виготовлення фанери. У сучасній меблевій промисловості деревину сірої і чорної вільхи обробляють аміаком (парами нашатирного спирту), а потім пресують. Навіть деревина сірої вільхи після такої обробки за технічними і декоративними властивостями набагато перевершує горіхову.

Піддана глибокому фарбуванню вільхова деревина набуває виразний малюнок текстури. Це досягається за рахунок того, що у річних шарів деревини різна щільність.

Деревина чорної вільхи стійка до впливу вологи, тому її застосовували завжди там, де контакт з водою неминучий [34].

Вільха вважається дуже цінною породою в меблевому виробництві. Властивості міцності вільхи перевершують властивості липи, а по зносостійкості її можна порівняти з березою [35].

Унікальна властивість вільхи, яка не є характерною іншим м'яким листяним породам – здатність зберігати твердість навіть після тривалого впливу води. Вільха – одна з небагатьох деревних порід, яка при відповідній обробці здатна стати альтернативою червоному дереву, зімітувавши його зовнішній вигляд [35].

Морена вільха – прекрасний матеріал для скульптурних, токарних і різьблених робіт [34].

Клей карбамідоформальдегідний. У виробництві фанери і фанерної продукції найбільше застосовують синтетичні клеючі речовини, основним компонентом яких є конденсаційна смола терморективного типу [1].

Карбамідоформальдегідні смоли мають такі переваги порівняно з іншими смолами: швидко затвердівають при нагріванні; швидкість їх желатинізації можна регулювати в значних межах; мають високу міцність склеювання і світле забарвлення; запаси сировини для виробництва карбамідоформальдегідних смол практично необмежені [36].

Щоб перетворити смолу в клей необхідно додати затверджувач, який має кислу природу і здатен зменшувати рН смоли і способу склеювання. При гарячому склеюванні як затверджувач застосовують в основному хлористий амоній NH_4Cl [1].

Взаємодіючи з вільним формальдегідом, який завжди міститься в карбамідоформальдегідних смолах, з утворенням солянокислого метиламіну і мурашиної кислоти, хлористий амоній спричинює поступове збільшення кислотності середовища навіть за кімнатної температури.

При досягненні визначеної кислотності середовища ($\text{pH} = 2,5 \dots 4,0$) відбувається желатинізація клею, а потім швидкий перехід у твердий стан. При збільшенні температури швидкість вказаних процесів зростає.

Кількість введеного в смолу затверджувача залежить від початкового значення pH і коливається від 0,4 до 1,5% маси смоли. Вводять затверджувач у вигляді водневого розчину 15...20% - ної концентрації або у вигляді порошка [1].

Для регулювання в'язкості і реологічних властивостей клейової композиції, зменшення адсорбції клею деревиною і проникнення його через зовнішні шари, збільшення еластичності клейового шару, зменшення внутрішніх напружень (спричинених усадкою клею) і для зменшення витрати смоли використовують різного роду наповнювачі і модифікуючі добавки [1].

Для проведення досліджень використовували смолу карбамідоформальдегідну, хлористий амоній та каолін. Витрата клею становила 110 г/м².

2.2. Експериментальне обладнання та вимірювальна апаратура

Для проведення експериментів використовувалось таке обладнання:

- товщиномір (рис. 2.1);
- лінійка дерев'яна;
- вага електронна, з точністю зважування до 0,01 г (рис 2.2);
- автоклав марки АГ-2 (рис 2.3);

Технічна характеристика автоклава

Автоклав горизонтальний АГ – 2 складається з генератора пари та самого автоклава (рис 2.3). Генератор пари являє собою герметичний резервуар місткістю 30 дм³, в якому вмонтовано три теплоелектричні нагрівачі потужністю 1800 Вт кожний. На парогенераторі встановлено водомірне скло, манометр, запобіжний клапан для захисту парогенератора від надлишкового тиску пари та трубки для подавання пари до автоклава. Автоклав представляє собою герметично закритий апарат об'ємом 100 дм³ з передньою кришкою, яка герметично закривається байпасним затвірним пристроєм. На автоклаві встановлено манометр для визначення тиску пари.

- гідравлічний прес для склеювання деревинних матеріалів;
- електронний вологомір (рис. 2.4);
- персональний комп'ютер для математичної обробки та оформлення результатів досліджень.



Рис 2.1. Товщиномір



Рис 2.1. Вага електронна



Рис 2.3. Автоклав



Рис 2.4. Вологомір електронний

2.3. Методика досліджень підготовки і випробування дослідних зразків

2.3.1. Підготовка дослідних зразків

Експериментальні дослідження проводилися у лабораторії кафедри ТДКМ НЛТУ України на лабораторному обладнанні кафедри.

Підготовка зразків полягала у визначенні їх маси, товщини зразків за допомогою товщиноміра, лінійних розмірів довжини та ширини зразків і вологості за допомогою вологоміра.

2.3.2. Вибір змінних факторів і планування експериментів

Для того, щоб визначити властивості ущільненого, а також пропареного та термічно ущільненого шпону використовувались змінні та сталі фактори.

Сталими факторами при проведенні експериментів були:

- порода деревини: вільха;
- товщина лущеного шпону: 1,5 мм;
- тиск ущільнення шпону: 2 МПа;
- тривалість ущільнення шпону: 3 хв;

Пропарювання зразків лущеного шпону відбувалося в автоклаві за температури 100 - 105 °С та при тиску 0,1 – 0,12 МПа і тривалістю – 30 хв.

Ущільнення зразків шпону, а також склеювання шпону здійснювали на лабораторному гідравлічному пресі (рис. 2.5).

Пресування пакетів шпону відбувалося за режимом:

- тиск: 1,8 МПа;
- температура: 130 °С;
- тривалість: 3 хв.;
- витрата клею 110 г/м².



Рис 2.5. Прес гідравлічний лабораторний

Змінними факторами при проведенні досліджень були: спосіб обробки шпону (ущільнення та ущільнення з попереднім пропарюванням) та температура ущільнення зразків шпону (150, 180, 210 °С).

2.3.3. Методика визначення фізичних властивостей лущеного шпону

Для проведення досліджень виготовлялися зразки шпону з вільхової породи деревини розміром 300 x 300 мм.

Під час проведення експерименту дотримувалися таких правил:

- у зразках не повинно бути вад;
- відхилення від номінальних розмірів по товщині в межах одного зразка не повинні бути більше $\pm 0,1$ мм;
- відхилення від номінальних розмірів зразків не повинні бути більше: $\pm 0,5$ мм – по довжині та ± 1 мм по довжині;
- допускається визначати вологість за зразках будь-яких розмірів масою не менше 3 г.

Визначення вологості. При визначенні вологості зразки зважували з точністю до 0,01 г. Зважені зразки висушували у сушильній шафі з природною циркуляцією повітря за 103 ± 2 °C до постійної маси. Висушування зразків вважали закінченим, якщо різниця між двома послідовними зважуваннями, зробленими через 2 години одне за одним, була не більшою 0,01 г. Після сушіння зразки охолоджували та зважували з тією ж точністю.

Вологість (W) у відсотках обчислювали з точністю до 0,1% за формулою:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100, \quad (2.1.)$$

де: m_1 – початкова маса зразка (до висушування), г;

m_2 – маса зразка, висушеного до постійної маси, г.

Визначення щільності. При визначенні щільності зразки зважували з похибкою не більше 0,01 г, потім визначають їх лінійні розміри. Товщину зразка вимірюють в чотирьох точках, з похибкою не більше 0,01 мм. За товщину зразка приймали середнє арифметичне результатів чотирьох вимірів.

Довжину та ширину зразка вимірювали в двох точках зразка з похибкою не більше 0,1 мм.

Щільність обчислюють з точністю до 1,0 кг/м³ за формулою:

$$\rho = \frac{m}{b \cdot l \cdot s}, \text{ кг/м}^3 \quad (2.2)$$

де: m – початкова маса зразка, г;

b – ширина зразка, м;

l – довжина зразка, м;

s – товщина зразка, м.

Статистичну обробку результатів випробувань проводять відповідно до вимог стандарту.

2.3.4. Методика визначення спресування дослідних зразків

Деревина є пружним матеріалом і завдяки своїм властивостям при стисненні вона деформується. Чим більша її вологість та температура, тим більша абсолютна величина деформації. Причиною цього є зменшення внутрішнього

тертя внаслідок зменшення в'язкості між міцелярної вологи, яка виконує роль змазування [1].

Спресування – це різниця між початковим і кінцевим розмірами досліджуваного зразка. При стисканні розмір зразка зменшується, однак після знімання зовнішнього тиску відбувається деяке відновлення розміру.

За допомогою товщиноміра вимірювали товщину кожного зразка шпону у чотирьох точках по периметру до і після термомеханічної обробки пропареного та не пропареного шпону із точністю до 0,01 мм. За товщину зразка приймали середнє арифметичне результатів чотирьох вимірів.

Спресування C (%) обчислювали за формулою:

$$C = (S_{\text{поч}} - S_{\text{кін}}) / S_{\text{поч}} \cdot 100, \quad (2.3)$$

де: $S_{\text{поч}}$ – товщина зразка до пропарювання та ущільнення;

$S_{\text{кін}}$ – товщина зразка після ущільнення.

2.3.5. Методика визначення фізико-механічних властивостей фанери

Для визначення вологості, щільності, водопоглинання фанери та її набрякання за товщиною застосовували таке обладнання та матеріали:

- вага з точністю зважування до 0,01 г;
- сушильна шафа з природною циркуляцією повітря, що забезпечувала постійну температуру 103 ± 2 °С;
- штангенциркуль з точністю вимірювання до 0,1 мм;
- товщино мір з точністю вимірювання до 0,01 мм;
- фанера, виготовлена з пропареного та ущільненого вільхового шпону за температури 150, 180, 210°С;
- фанера, виготовлена з ущільненого вільхового шпону за температури 150, 180, 210°С;
- фанера, виготовлена з не пропареного та не ущільненого вільхового шпону.

Визначення вологості. Зразки для визначення вологості можуть мати будь-яку форму, а площа зразків повинна бути не меншою 25 мм^2 .

При визначенні вологості зразки зважували з точністю до $0,01 \text{ г.}$ зважені зразки висушували у сушильній шафі з природною циркуляцією повітря при $103 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ до постійної маси. Сушіння зразків проводили в сушильній шафі СНОЛ 67/350 (рис. 2.6).

Висушування зразків вважали закінченим, якщо різниця між двома послідовними зважуваннями, зробленими через 2 години одне за одним, була не більшою $0,01 \text{ г.}$ Після сушіння зразки охолоджували та зважували з тією ж точністю.



Рис. 2.6. Сушильна шафа СНОЛ 67/350

Вологість (W) у відсотках обчислювали з точністю до $0,1\%$ за формулою (2.1).

Визначення щільності. При визначенні щільності зразки зважували та визначали їх лінійні розміри. Ширину і довжину зразка визначали за допомогою штангенциркуля (рис. 2.7.)

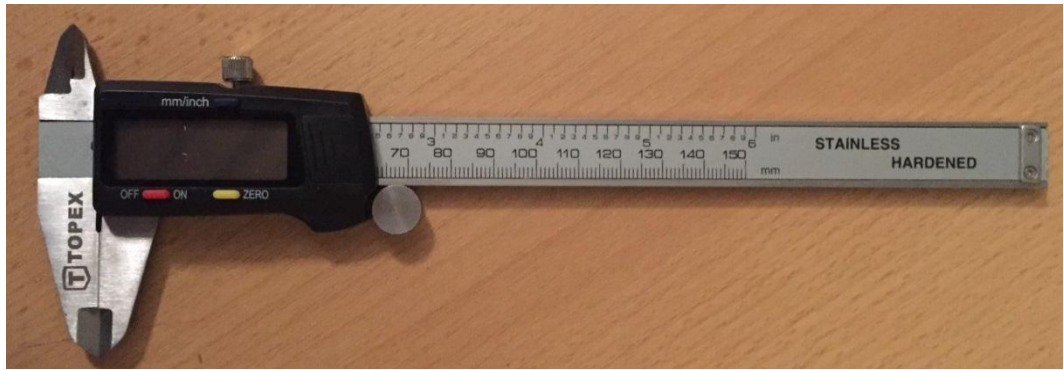


Рис. 2.7. Електронний штангенциркуль

Довжину та ширину зразка вимірювали в двох точках зразка з похибкою не більше 0,1 мм.

Щільність обчислювали з точністю до 1,0 кг/м³ за формулою (2.2).

Визначення водопоглинання та набрякання фанери за товщиною. При визначенні водопоглинання та набрякання фанери за товщиною зразки зважували з точністю до 0,01 г.

Для визначення набрякання за товщиною вимірювали товщину зразка до та після занурення у воду в тій самій точці.

Після зважування та вимірювання товщини, зразки занурювали у ємкість з водою спочатку на 2 години, а потім на 24 години. Температура води в ємкості - 20±2 °С. Після чого зразки витягували з води, осушували та зважували.

Водопоглинання ($\Delta W_{\text{вл}}$) і набрякання по товщині (ΔP) у відсотках обчислювали з точністю до 1% за формулами:

$$\Delta W_{\text{вл}} = \frac{m_1 - m}{m} \cdot 100 \%, \quad (2.4)$$

де: m_1 – маса зразка після зволоження, кг;

m – маса зразка до зволоження, кг.

$$\Delta P = \frac{S_1 - S}{S} \cdot 100 \%, \quad (2.5)$$

де: S_1 – товщина зразка після зволоження, мм;

S – товщина зразка до зволоження, мм.

Визначення межі міцності фанери на зріз.

Зразки для випробування не повинні мати в місці зрізу вад деревини.

Кожен зразок для випробування необхідно нарізати таким чином, щоб напрямок волокон шару, що знаходиться між обома швами, що його перевіряють, проходив поперек довжини зразка. Виготовлення зразків для випробування і розріз пилою треба робити так, щоб можна було перевірити кожен шов. У кожному випадку розрізи повинні закінчуватися усередині шару.

Витримували зразки у воді за температури $(20 \pm 3) ^\circ\text{C}$ протягом 24 годин.

Перевіряли на зріз на сирих зразках після видалення надлишків води з поверхні.

Зразки встановлювали у затискні кулачки таким чином, щоб навантаження випробувальної машини переносилося без поперечних зусиль через кінці зразків на площу зрізу.

Навантаження повинно подаватися з такою постійною швидкістю, щоб руйнування відбулося через (30 ± 10) с.

Руйнування повинне виявлятися на деревині або на швах у місці зрізу, тобто між розрізами. У разі якщо руйнування настає поза даною зоною або за 50% -ого руйнування фанери на поверхневих шарах, даний результат випробувань треба виключити і повторити випробування з довжиною зрізу 10 мм. Треба також вилучити ті зразки причиною руйнування яких стали вади, що знижують міцність.

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

$$f_v = \frac{F}{l \cdot b}, \quad (2.7)$$

де: F – сила руйнування зразка, Н;

l – довжина площі зрізу, мм;

b – ширина площі зрізу, мм.

Середнє арифметичне значення міцності на зріз обчислювали з точністю до 0,01 МПа.

Визначення межі міцності фанери на статичний згин.

Зразки фанери виготовляли у формі прямокутної призми розмірами:

- ширина b – 50 мм;
- довжина l_1 – 150 мм.

Випробування зразків проводили на розривній машині.

Згинаюче зусилля повинне бути спрямоване посередині довжини зразка перпендикулярно чи паралельно шарам, відповідно до вимог стандартів на продукцію.

Зразок навантажували рівномірно з постійною швидкістю навантаження. Швидкість повинна бути такою, щоб зразок руйнувався через (60 ± 30) с після початку навантаження. Максимальне навантаження P_{\max} вимірювали з похибкою не більше 1%.

Межу міцності на статичний згин ($\sigma_{зг}$) у МПа для кожного зразка обчислювали за формулою:

$$\sigma_{зг} = \frac{3 \cdot P_{\max} \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad (2.6)$$

де: P_{\max} – максимальне навантаження, Н;

l – відстань між опорами ;

b – ширина зразка, мм;

h – товщина зразка, мм.

За результат випробування кожного листа фанери приймали середнє арифметичне показників усіх зразків, вирізаних з цього листа.

2.4. Статистична обробка результатів досліджень

Точність та об'єктивність значення вимірюваної характеристики i , правильність результатів дослідження залежить від правильності обробки експериментальних даних. Тому, після завершення експериментів спочатку проводилася попередня статистична обробка експериментальних даних для прискорення подальших розрахунків і попередження помилок.

Результат експериментальних досліджень розглядається як статистична сукупність випадкових величин. Під час статистичної обробки експериментальних даних визначали такі основні статистичні параметри:

Середнє арифметичне значення

Найбільш відомим і поширеним у повсякденній практиці варіаційно-статистичним елементом є середнє арифметичне, яке розраховують за формулою [37, 38]:

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

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

n – число спостережень.

Вибіркова дисперсія та середньоквадратичне відхилення

Середнє арифметичне дає уявлення про середню величину досліджуваної властивості, однак не виражає його змінності і меж коливань. Тому в доповнення до нього розраховують величини, які характеризують середню змінність досліджуваної властивості – середньоквадратичне відхилення та дисперсію. Їх розраховують за формулами [37, 38]:

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

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, ми із впевненістю не можемо сказати, що отриманий результат точно характеризує середню величину властивості у всіх інших випадках, що нами не досліджувалися. Тому визначають середньоквадратичну похибку середнього значення за формулою [37, 38]:

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

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 [37, 38]:

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

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 %. Результати статистичної обробки дослідних даних наведені в додатках.

3. ОБРОБКА ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ

Основним завданням дослідження був аналіз властивостей не пропареного і попередньо пропареного й ущільненого вільхового шпону за різної температури ущільнення, а також властивостей фанери, виготовленої з модифікованого вільхового шпону.

Для експерименту використовувався вільховий лущений шпон, вологістю $8\pm 1\%$, товщиною $1,5\pm 0,1$ мм. Пропарювання зразків проводилося в автоклаві за тиску 0,1 (100 °C) – 0,12 МПа (105 °C) і тривалості 30 хвилин. Після пропарювання зразки ущільнювалися за температури 150, 180 та 210 °C; також ущільнювалися не пропарені зразки шпону. Фанеру виготовляли з пропареного-ущільненого та ущільненого шпону. Для порівняння виготовлялись також контрольні взірці фанери з не ущільненого шпону.

3.1. Дослідження впливу температури на вологість пропареного та не пропареного ущільненого лушеного шпону

Результати величини зміни вологості від температури ущільнення шпону наведені на рис 3.1.

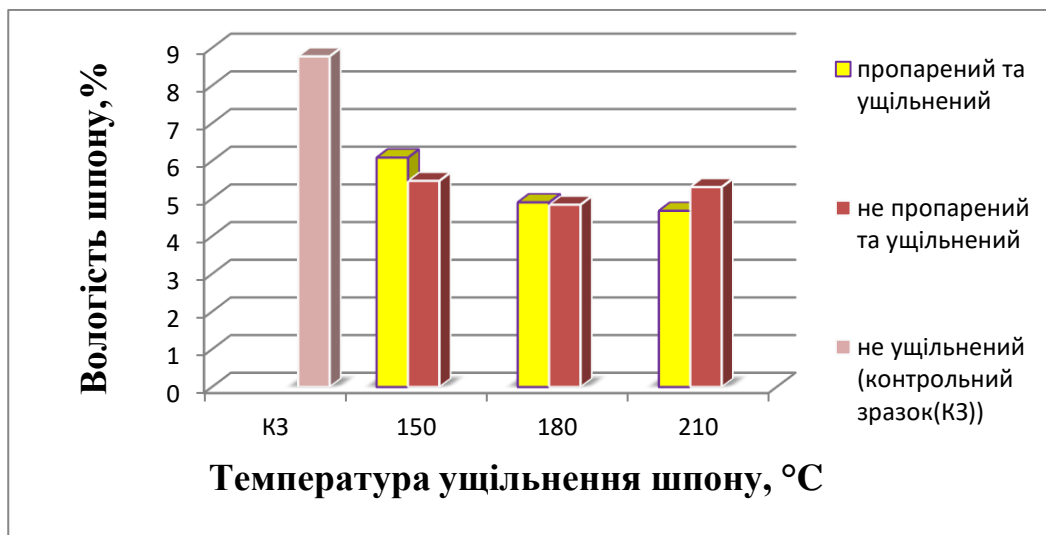


Рис. 3.1. Залежність вологості від температури ущільнення пропареного та не пропареного лушеного шпону.

Графік залежності показує що, під час збільшення температури ущільнення шпону вологість зменшується практично однаково для пропареного та не пропареного шпону. Найбільші значення зміни вологості є для пропареного шпону за температури 210 °С – на 53%. Це пояснюється тим, що пропарений шпон має більшу кількість вільної води, яка під дією температури зменшується.

3.2. Дослідження впливу температури на щільність пропареного та не пропареного ущільненого лушеного шпону

Результати залежності щільності від температури ущільнення шпону наведені на рис. 3.2. Середні значення щільності до та після пропарювання та термічного ущільнення наведені в таблиці 3.1.

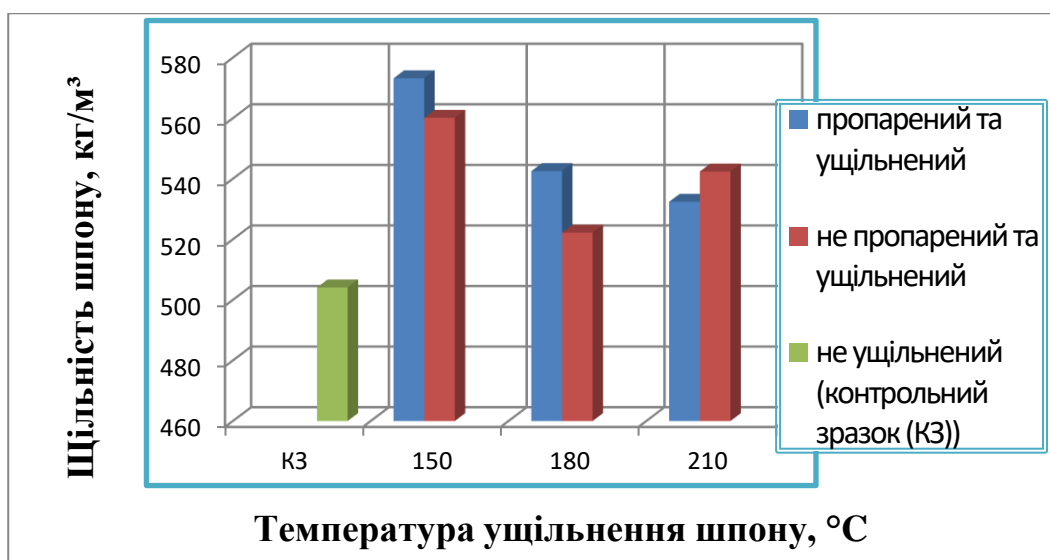


Рис. 3.2. Залежність величини щільності від температури ущільнення пропареного та не пропареного лушеного шпону

Таблиця 3.1

Середні значення щільності до та після ущільнення

Спосіб обробки	Температура, °C	Щільність зразків до обробки, кг/м ³	Щільність зразків після обробки, кг/м ³	Різниця, ±
Пропарений та термічно ущільнений	150	489,9	573,16	+83,3
	180	479,8	542,53	+62,7
	210	491,9	532,4	+40,5
Термічно ущільнений	150	466,7	560,1	+93,5
	180	465,4	522,21	+56,8
	210	496	542	+46,3
Контрольний взірець	-	504,1	-	-

Проаналізувавши графік залежності можна сказати, що при ущільненні шпон збільшує свою щільність від 3 до 12%. Пропарений шпон має більші пластичні властивості, ніж не пропарений, тому величина щільності для нього є більшою.

3.3. Дослідження впливу температури на ступінь спресування пропареного та не пропареного ущільненого лущеного шпону

Результати залежності величини спресування зразків за різної температури пресування пропареного ущільненого та не пропареного ущільненого лущеного шпону наведена на рис. 3.3.

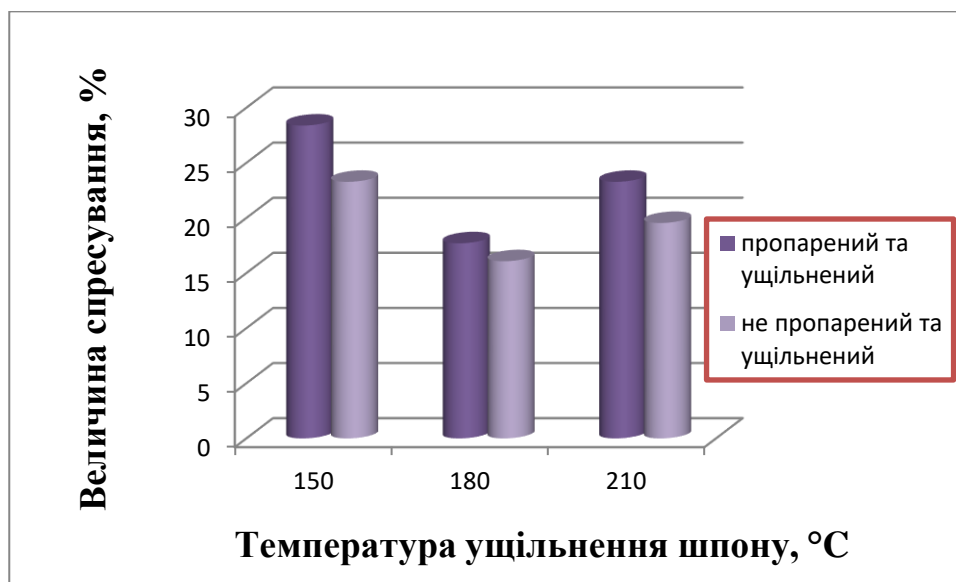


Рис. 3.3. Залежність величини спресування від температури ущільнення пропареного та не пропареного лущеного шпону

З графіку видно, що пропарений та ущільнений лушений шпон має більшу величину спресування ніж не пропарений, що також можна пояснити більшою пластичністю пропареного шпону.

3.4. Дослідження впливу пропарювання і термічного ущільнення лущеного шпону на вологість та щільність фанери

Якість фанери і фанерної продукції характеризується в основному фізико-механічними властивостями, які регламентуються відповідними стандартами і технічними умовами та залежать від породи і властивостей деревини, з якої вони виготовлені.

Показник вологості визначає практично всі фізико – механічні показники фанери. Від цього показника залежить якість фанери і тривалість експлуатації. Надмірна вологість сприяє утворенню внутрішніх напружень всередині фанери

і зменшує якість склеювання. Недостатня вологість сприяє розтріскуванню фанери і зменшує її експлуатаційні властивості. На рис. 3.4. наведено графік залежності вологості фанери від температури ущільнення лушеного шпону, який використаний для її виготовлення.

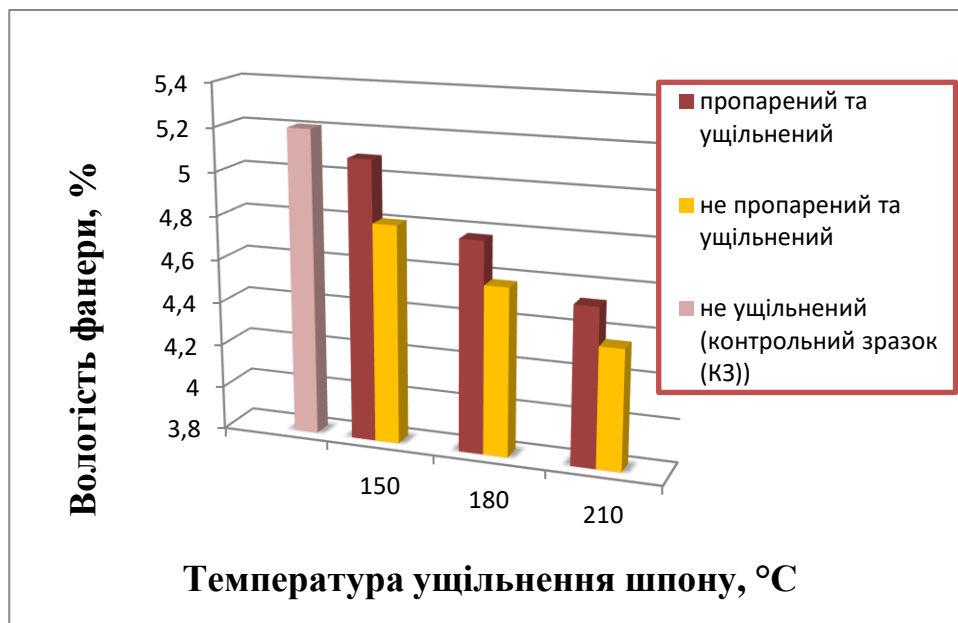


Рис. 3.4. Залежність вологості фанери від температури ущільнення лушеного шпону, який використаний для її виготовлення

Графік залежності (рис. 3.4) показує, що при збільшенні температури ущільнення для пропареного та не пропареного лушеного шпону – вологість фанери зменшується. Для не пропареного шпону зміна вологості є більшою ніж для пропареного, що пояснюється більшою початковою вологістю пропареного шпону.

Найбільша зміна вологості спостерігається для температури 210 °С – на 11-14 %.

Щільність виготовленої фанери в першу чергу залежить від товщини шпону, породи деревини та способу і режиму склеювання.

На рис. 3.5. наведено графік залежності щільності фанери від температури ущільнення шпону, який використаний для її виготовлення.

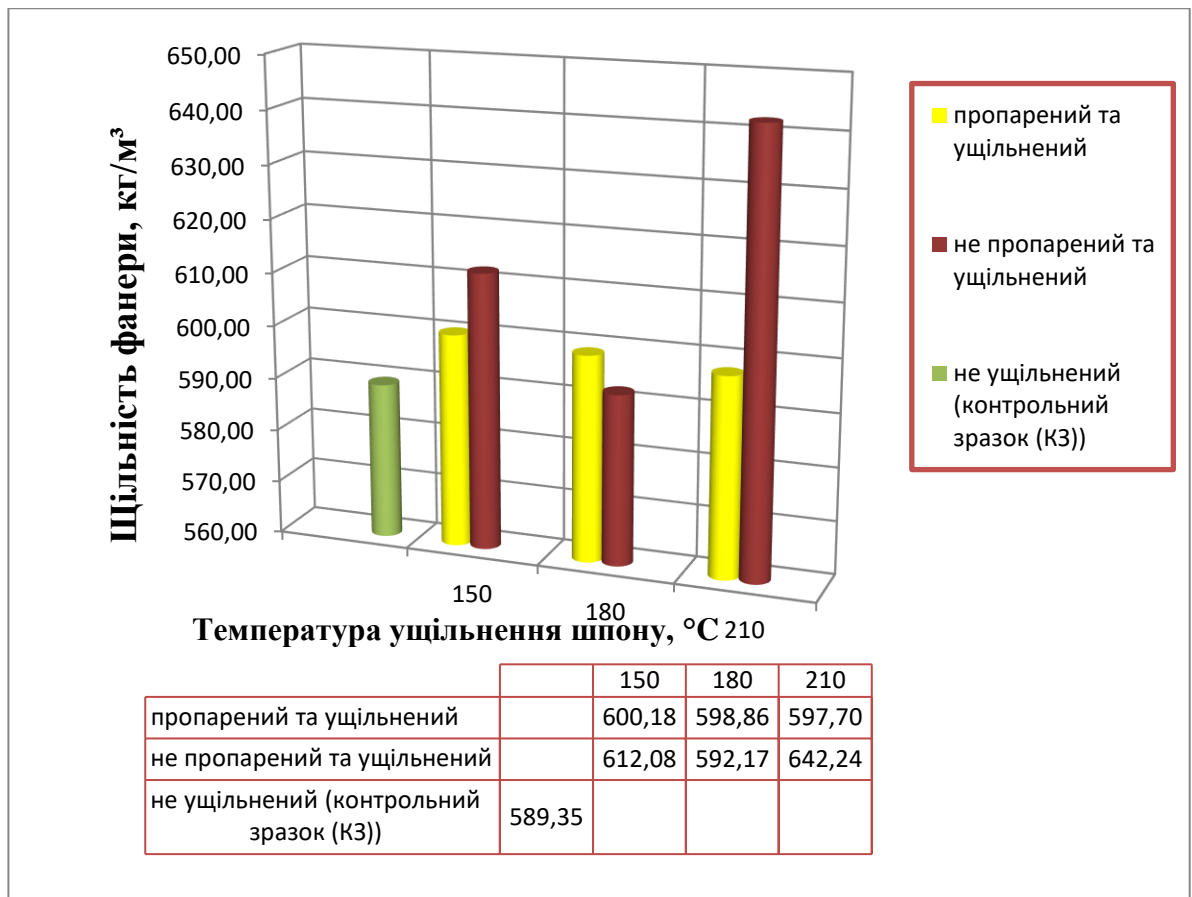


Рис. 3.5. Залежність щільності фанери від температури ущільнення лущеного шпону, який використаний для її виготовлення

З наведеного графіку (рис. 3.5) видно, що щільність фанери, виготовленої з пропарених та ущільнених зразків шпону за різних температур ущільнення є однаковою, а при використанні не пропарених та ущільнених зразків шпону спостерігається збільшення щільності фанери за температури ущільнення шпону 210 °С.

3.5. Дослідження впливу пропарювання і термічного ущільнення лущеного шпону на водопоглинання фанери та набрякання за товщиною фанери

Водопоглинання фанери характеризує здатність зразків поглинати воду, а *набрякання* за товщиною – властивість збільшувати свої розміри за товщиною фанери, після витримки у воді. Перед проведенням дослідження вимірювали масу та товщину зразків, а також після 24 год витримки у воді.

Результати дослідження наведені на рис. 3.6 та 3.7.

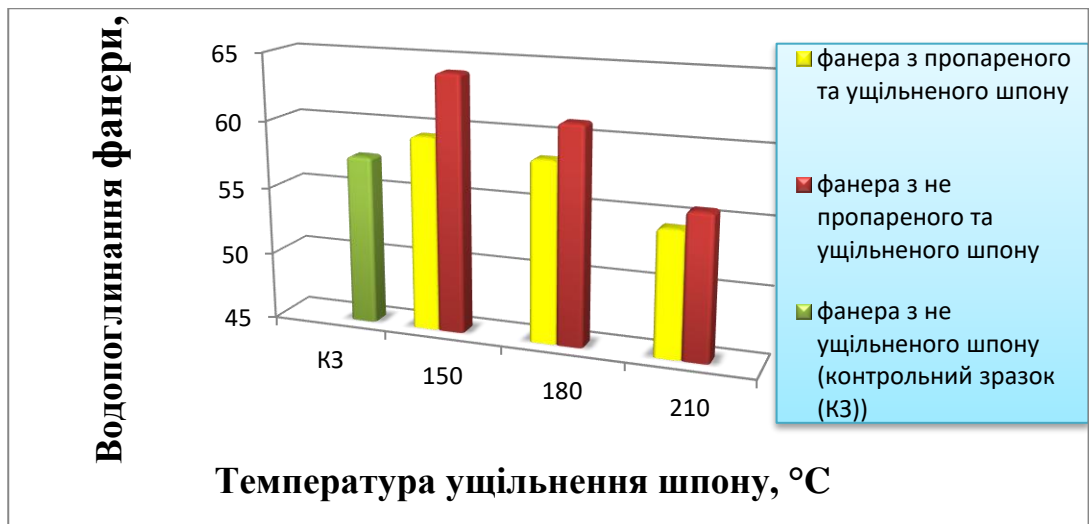


Рис. 3.6. Залежність величини водопоглинання від температури ущільнення шпону, який використаний для її виготовлення

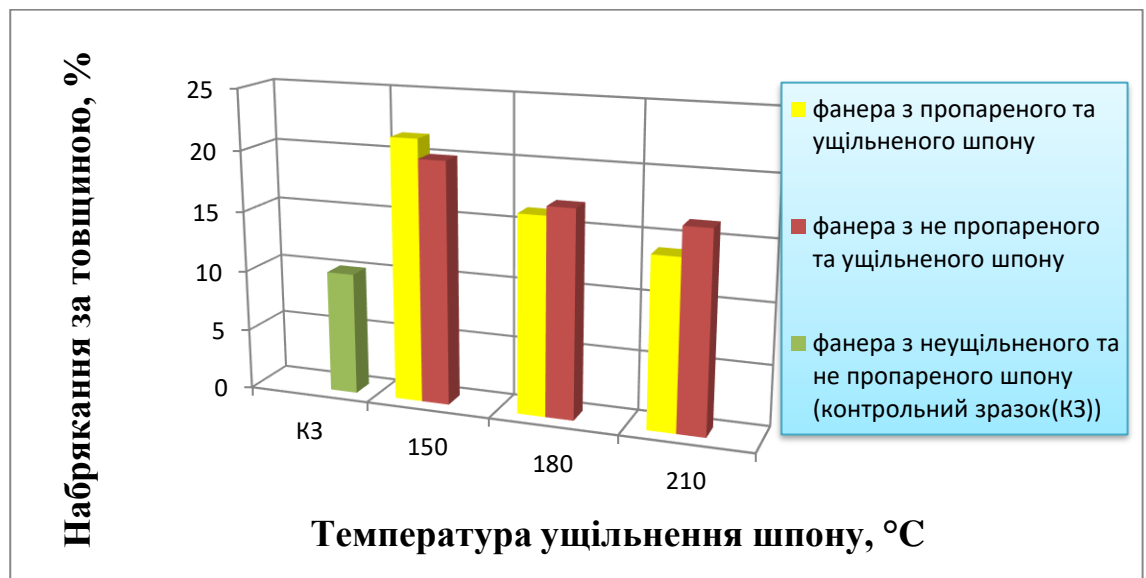


Рис. 3.7. Залежність величини набрякання фанери за товщиною від температури ущільнення шпону, який використаний для її виготовлення

Проаналізувавши вище наведені графіки можна сказати, що в порівнянні з контрольним зразком, фанера виготовлена на основі пропареного та ущільненого і не пропареного та ущільненого шпону має більші показники водопоглинання та набрякання за товщиною.

Водопоглинання фанери на основі пропареного шпону збільшилось на 3%, а не пропареного на 10%. Набрякання за товщиною відповідно на 53 і 49 %.

При збільшенні температури ущільнення шпону набрякання та водопоглинання зменшується. Показник водопоглинання за температури ущільнення шпону 210 °С є меншим для обох видів ущільненого шпону в порівнянні з контрольним зразком.

Однак набрякання за товщиною для всіх типів зразків, в порівнянні з контрольним, є більшим. Найменша величина набрякання є при температурі ущільнення шпону 210 °С.

3.6. Дослідження впливу пропарювання і термічного ущільнення лущеного шпону на межу міцності фанери на зріз та межу міцності на статичний згин

На рис. 3.8. та 3.10. наведені графіки залежності межі міцності фанери на зріз та межі міцності фанери на статичний згин залежно від температури ущільнення шпону, який використаний для її виготовлення.

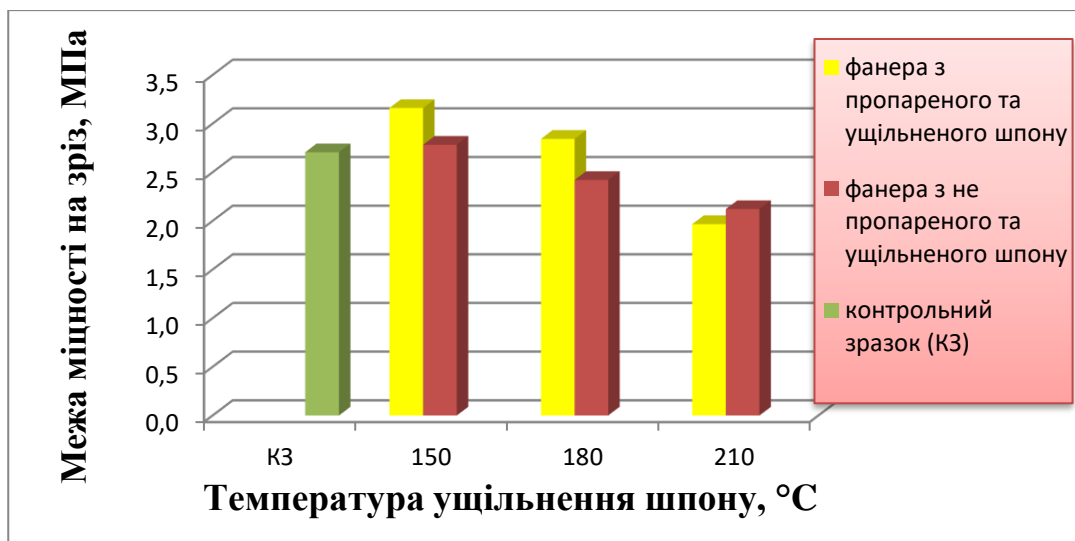


Рис. 3.8. Залежність показника міцності фанери на зріз від температури ущільнення шпону, який використаний для її виготовлення

Проаналізувавши вище наведений графік можна сказати, що фанера виготовлена з пропареного шпону має більші показники міцності, ніж з не пропареного шпону. Найвищі показники спостерігаються за температури ущільнення шпону 150°С, найменші за температури ущільнення шпону 210°С.

Характер руйнування зразків наведено на рис. 3.9.

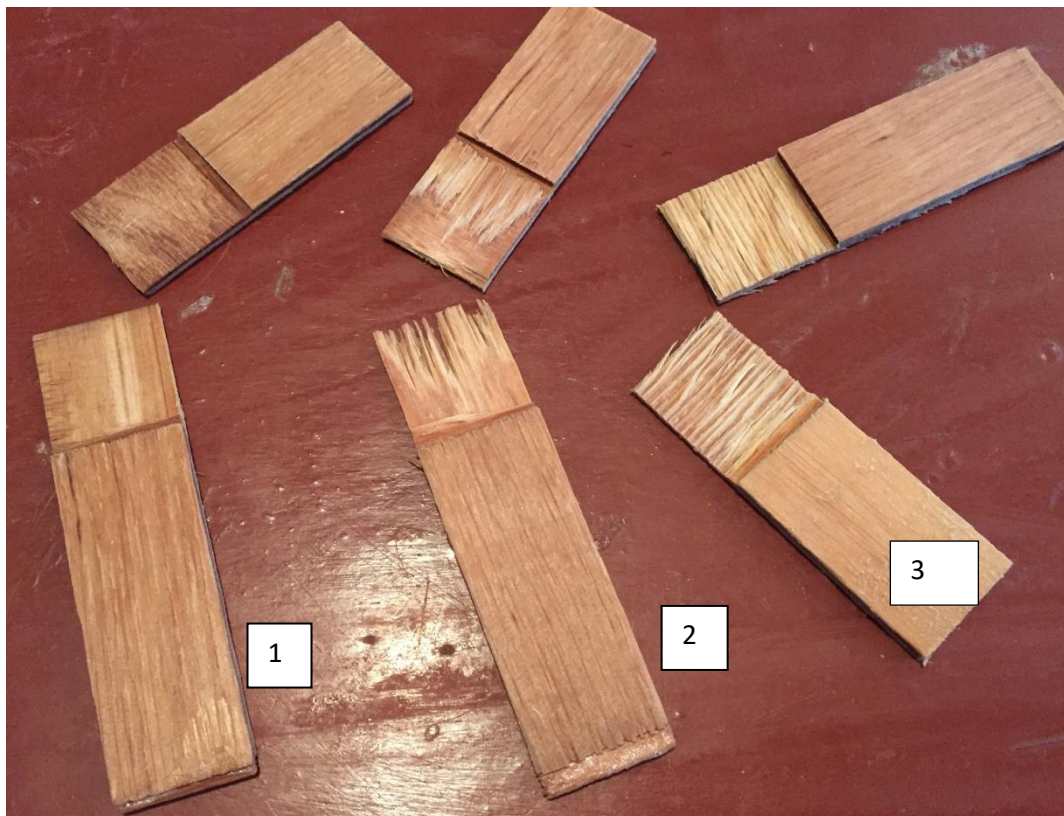


Рис. 3.9. Характер руйнування зразків: 1- руйнування по клейовому шару;
2 – руйнування по зовнішньому шару фанери;
3 – руйнування по середньому шару фанери (по деревині)

Для всіх видів фанери спостерігалось руйнування зразків за різним характером руйнування. За температури 150°C для пропареного та не пропареного ущільненого шпону відбувалося переважно руйнування по деревині. За температури 180°C руйнування відбувалося переважно по клейовому шару, а також по зовнішньому шару фанери. За температури 210°C руйнування відбувалося переважно по клейовому шару. Контрольні зразки мали руйнування за різним характером руйнування.

На рис. 3.10. наведено графік залежності межі міцності фанери на статичний згин залежно від температури ущільнення шпону, який використаний для її виготовлення.

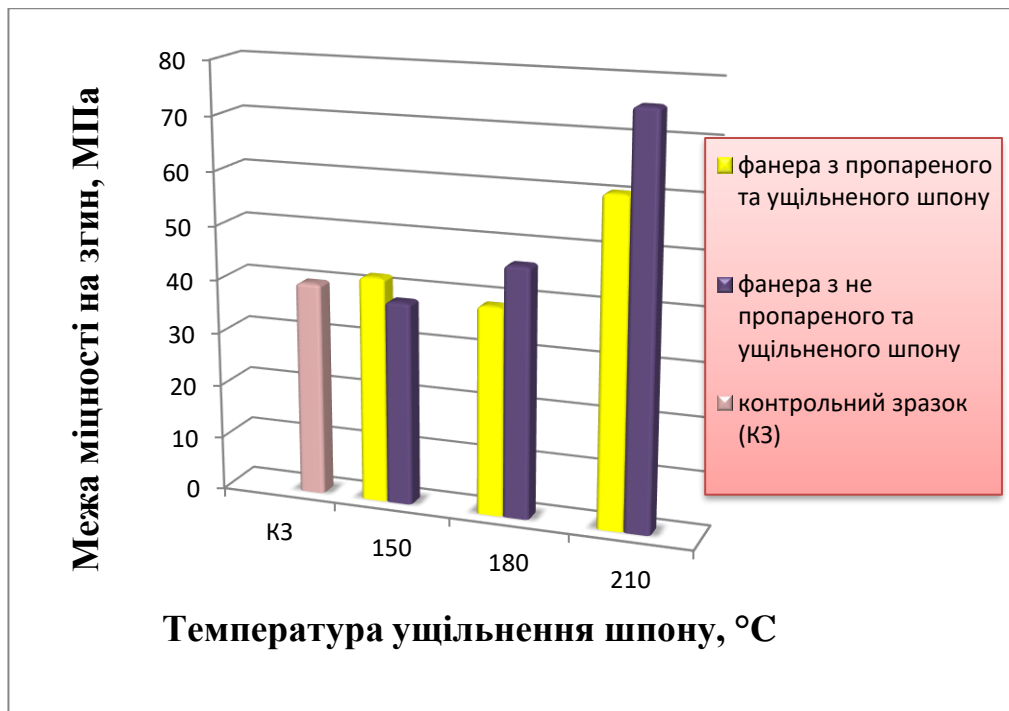


Рис. 3.10. Залежність межі міцності фанери на згин від температури ущільнення лушеного шпону, який використаний для її виготовлення

Графік залежності (рис. 3.10) показує, що при підвищенні температури ущільнення шпону, який використовувався для виготовлення фанери, межа міцності фанери на згин збільшується. Найбільші показники міцності спостерігаються при використанні ущільненого шпону за температури 210 °C для пропареного та не пропареного ущільненого шпону. В порівнянні з контрольним зразком межа міцності фанери на згин з не пропареного ущільненого шпону збільшилась на 47%, а з пропареного ущільненого шпону збільшилась на 34%.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Основною метою магістерської роботи було дослідження властивостей ущільненого лущеного вільхового шпону та властивостей ущільненого вільхового шпону з попереднім пропарюванням. А також на основі модифікованого шпону виготовлялась фанера і досліджувались її фізичні й механічні характеристики, які порівнювались з властивостями контрольних зразків.

Ущільнений шпон, а також ущільнений шпон з попереднім пропарюванням мають менші показники вологості, ніж контрольні зразки. Для виготовлення якісної фанери необхідно дотримуватися відповідного показника вологості – це можна досягти за допомогою ущільнення за певної температури.

Міцність отримуваної фанери залежить від щільності матеріалу, який використовується для її виготовлення. Пропарений та ущільнений шпон має найбільші показники щільності, що дозволяє виготовляти фанеру підвищеної щільності.

Показник вологості визначає практично всі фізико-механічні показники фанери. Від цього показника залежить якість фанери і тривалість експлуатації. Надмірна вологість сприяє утворенню внутрішніх напружень всередині фанери і зменшує якість склеювання. Недостатня вологість сприяє розтріскуванню фанери і зменшує її експлуатаційні властивості. Дослідження показали, що при збільшенні температури ущільнення для пропареного та не пропареного лущеного шпону – вологість фанери зменшується. Для не пропареного шпону зміна вологості є більшою, ніж для пропареного, що пояснюється більшою початковою вологістю пропареного шпону. Найбільша зміна вологості спостерігається для температури 210 °C – на 11-14 %.

Щільність фанери, виготовленої з пропарених та ущільнених зразків шпону за різних температур ущільнення є однаковою, а при використанні не пропарених та ущільнених зразків шпону спостерігається збільшення щільності фанери за температури ущільнення шпону 210 °C.

Фанера виготовлена на основі пропареного та ущільненого і не пропареного та ущільненого шпону має більші показники водопоглинання та набрякання за товщиною в порівнянні з контрольним зразком.

При збільшенні температури ущільнення шпону набрякання та водопоглинання зменшується. Показник водопоглинання за температури ущільнення шпону 210 °С є меншим для обох видів ущільненого шпону в порівнянні з контрольним зразком. Однак набрякання за товщиною для всіх типів зразків, в порівнянні з контрольним, є більшим. Найменша величина набрякання є при температурі ущільнення шпону 210 °С.

В процесі виконання роботи, досліджувались також такі показники як: межа міцності фанери на зріз та межа міцності фанери на згин. Дослідження показали, що фанера виготовлена з пропареного шпону має більші показники міцності на зріз, ніж з не пропареного шпону. Найвищі показники спостерігалися за температури ущільнення шпону 150°С, найменші за температури ущільнення шпону 210°С.

При визначенні міцності фанери на згин, дослідження показали, що при підвищенні температури ущільнення шпону, який використовувався для виготовлення фанери, межа міцності фанери на згин збільшується. Найбільші показники міцності спостерігаються при використанні ущільненого шпону за температури 210 °С для пропареного та не пропареного ущільненого шпону. В порівнянні з контрольним зразком межа міцності фанери на згин з не пропареного ущільненого шпону збільшилась на 47%, а з пропареного ущільненого шпону збільшилась на 34%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бехта П.А. Технологія виробництва фанери: Навчальний посібник. – К.: ІЗМН, 1996. 280 с.
2. Деревина, це... Що таке Деревина? [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://derevyna.com/derevina-tse-shho-take-derevina/>
3. Деревина [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B2%D0%B8%D0%BD%D0%B0>
4. Технологічні властивості [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://msd.com.ua/konstruyuvannya-mebliv/tehnologichni-vlastivosti/>
5. Колір, блиск і текстура деревини [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://moyaosvita.com.ua/fizuka/kolir-blisk-i-tekstura-derevini/>
6. Вологість деревини і властивості, пов'язані з її зміною [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://bibliograph.com.ua/materialovedenie/7.htm>
7. Гігроскопічність [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://vseslova.com.ua/word/%D0%93%D1%96%D0%B3%D1%80%D0%BE%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%BF%D1%96%D1%87%D0%BD%D1%96%D1%81%D1%82%D1%8C-24371u>
8. Щільність деревини [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://bibliograph.com.ua/materialovedenie/8.htm>
9. Експлуатаційні властивості [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://msd.com.ua/konstruyuvannya-mebliv/ekspluatsijni-vlastivosti/>
10. Деревина: хімічні властивості [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://derevyna.com/derevina-himichni-vlastivosti/>
11. Бехта П.А., Онисько В. Технологія деревинноволокнистих плит. Навч. Посібник для ВНЗ. – Львів.: ІЗМН, 1997. – 136 с.
12. Класифікація деревинних композиційних матеріалів [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.derevo.info/content/detail/97>
13. [Яка теплопровідність у фанери](http://in4stroy.com.ua/65491-yaka-teploprovidnist-u-faneri.html) [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://in4stroy.com.ua/65491-yaka-teploprovidnist-u-faneri.html>

14. Стандарт 9462 – 88 Лісоматеріали круглі листяних порід. Технічні умови.
15. Стандарт 9463 – 88 Лісоматеріали круглі хвойних порід. Технічні умови.
16. Бехта П.А. Виробництво і обробка лушеного та струганого шпону: Навчальний посібник. – К.: ІСДО, 1995. – 296 с.
17. Салабай Р.Г., Козак Р.О., Манзій С.О. Розрахунок сировини в технології клеєних матеріалів. Методичні вказівки до практичних робіт. – Львів: НЛТУ України, 2005. – 39 с.
18. Щільність деревини [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://alekz.ucoz.ru/publ/derevinoznavstvo/shhilnist_derevini/4-1-0-8
19. Технологія виготовлення виробів із деревини [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://ukped.com/m/predmetni-metodiki/trudove-navchannja3/5495-tehnohohiia-vyhotovlennia-vyrobiv-iz-derevyny.html>
20. Об'ємна і питома вага деревини всіх видів [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://pp-budpostach.com.ua/a266532-obyemna-pitoma-vaga.html>
21. Пропарювання деревини [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://derevyna.com/proparjuvannja-derevini-shho-yavlyaye-soboyu-tsej-metod-obrobki-astehnologiy>
22. Кравець І.П., Кушнір А.П., Шаповалов О.В. Вплив процесу пропарювання як підготовчого етапу перед вогнезахисною обробкою, на фізико-механічні властивості деревини бука. [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://ldubgd.edu.ua/sites/default/files/3_nauka/visnyky/pb/26/26-13.pdf
23. Gonet B. Nove ujecie zagannienia stabilizacii wymiarow drewna bukowego pod wplywem parowania. – Przemysl Drewny, 1962, №11.
24. Kubinsky E. Vplyv parenia na pracovanie bukovogo dreva: Drevarsky vyskum, 1956, №1, №2.
25. Plath E., Plath L. Dampfen von Rundholz. 1. Mitt: Papierchromatografische Untersuchungen uber das Dampfen von Rotbuche. – Holz als Roh- und Werstoff, 1957, №2.
26. Николов С., Райчев А., Делийски Н. Пропарване на дървесината. – София: Земиздат, 1980. – 216 с.

27. Стандарт 16483.21-72. Деревина. Метод відбору зразків для визначення фізико-механічних властивостей після технологічної обробки.
28. Манзій С.О., Панов В.В., Орловський Ю.І. Модифікування деревини: Навчальний посібник для ВНЗ. - Львів: ІЗМН, 2002. – 106 с.
29. Термічна обробка деревини [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.mydizain.ru/pro-usim/termichna-obrobka-derevini_3609.html
30. Effect of thermomechanical densification on surface roughness of wood veneers [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/269093496_Effect_of_thermomechanical_densification_on_surface_roughness_of_wood_veneers
31. Colour in short-term thermo-mechanically densified veneer of various wood species [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00107-014-0837-1>
32. Вплив режимів пресування на ступінь спресування фанери з березового та вільхового шпону [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://refdb.ru/look/3269307.html>
33. Розроблення режимів пресування фанери, виготовленої на основі малотоксичних клейових композицій [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://nltu.edu.ua/nv/Archive/2010/20_10/63_Bech.pdf
34. Дерево вільха [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://danver.com.ua/uk/blog/derevo-vilha>
35. Яка сама міцна і довговічна дошка [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://economstroy.com.ua/mvoprosyiotvety/2321-yakasamamiznaidovgovichnadoska.html>
36. Бехта П.А. Технологія і обладнання для виробництва деревиностружкових плит: Навч. посібник. – К.:ІСДО, 1994. – 465с.
37. Методичні вказівки: застосування методів статистичного аналізу в деревообробленні. Частина 1. – Львів: УкрДЛТУ, каф. ТВД, 2004. – 32с.
38. Пилипчук М. І., Григор'єв А. С, Шостак В. В. Основи наукових досліджень: Підручник. – К.: Знання, 2007. – 270 с.