

Міністерство освіти і науки України

**Луцький національний технічний університет
Факультет митної справи, матеріалів, технологій та гостинності
Кафедра матеріалознавства**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»**

**Механічні і експлуатаційні
властивості твердих порід деревини /
Mechanical and performance properties
of hardwoods**

спеціальність 132 Матеріалознавство

освітня програма «Індустріальний інжиніринг і менеджмент»

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ПМ(ПМ) – 41
Мілінчук Михайло Анатолійович

(підпис)

Керівник:
к.т.н., доцент
Садова Оксана Леонідівна

(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
«__» _____ 20__ р.
к.т.н., доцент
Гарант освітньої програми:
Гусачук Дмитро Анатолійович

(підпис)

Луцьк – 2026 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет митної справи, матеріалів та технологій

Кафедра матеріалознавства

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Галузь знань: 13 Механічна інженерія

Спеціальність: 132 Матеріалознавство

Освітня програма: Індустріальний інжиніринг і менеджмент

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувачка кафедри

ІМБІРОВИЧ Н.Ю.

“ ” 20 року

З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Мілінчуку Михайлу Анатолійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Механічні і експлуатаційні властивості твердих порід деревини

керівник роботи Садова О.Л., к.т.н., доцент,

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “31” 12.2025 р. № 540/01-02

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи
«23» травня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи літературні джерела, властивості вихідних матеріалів, методи досліджень властивостей матеріалів

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ; Розділ 1. Технічне обґрунтування; 2. Характеристика вихідних матеріалів та методики досліджень; 3. Експериментальна частина; Висновки; Список використаних джерел; Додатки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Слайд 1 – Завдання роботи, загальний вигляд вихідних матеріалів та методика формування зразків (1 л. ф. А4);

Слайд 2 – 7 – Результати досліджень властивостей біокомпозитних зразків (6 л. ф. А4)

Слайд 8 – Загальні висновки (1 л. ф. А4)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання «03» січня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	Розділ 1. Технічне обґрунтування	05.05.2026 р.	
2	Розділ 2. Характеристика вихідних матеріалів та методики досліджень	12.05.2026 р.	
3	Розділ 3. Експериментальна частина	19.05.2026 р.	

Здобувач вищої освіти

Мілінчук М.А.
(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

Садова О.Л.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Мілінчук М.А. Механічні і експлуатаційні властивості твердих порід деревини. Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Індустріальний інжиніринг і менеджмент» спеціальності 132 Матеріалознавство. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2026.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

В даній кваліфікаційній роботі подано аналіз літературних джерел, характеристику вихідних матеріалів та методи дослідження механічних та експлуатаційних властивостей твердих порід деревини, результати досліджень експлуатаційних (водопоглинання) та механічних властивостей (міцність на стискання) твердих порід деревини.

Бакалаврська робота складається з пояснювальної записки та додатків. Пояснювальна записка містить 37 сторінок, 8 рисунків, 6 таблиць та включає список з 11 літературних джерел. Графічна частина складається з 8 листів формату А4, представлених у додатку А.

Ключові слова: деревина, порода дерева, міцність на стискання, механічні властивості, експлуатаційні властивості.

					БР 1926.00.00.000 ПЗ						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Механічні і експлуатаційні властивості твердих порід деревини / Mechanical and performance properties of hardwoods			Літ.	Арк.	Акрушів	
Розробила	Мілінчук										
Перевірив	Садова								3	37	
								ЛНТУ, каф. матеріалознавства гр. ПМ(ПМ)-41			
Н. Контр	Мисковець										
Затв.	Імбінович										

ANNOTATION

Milinchuk M.A. Mechanical and performance properties of hardwoods. Manuscript.

Bachelor's thesis for the educational program "Industrial Engineering and Management", major 132 Materials Science. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2026.

This bachelor's thesis consists of an introduction, three chapters, conclusions, a list of references, and appendix.

This thesis presents an analysis of the literature, a description of the raw materials, and methods for studying hardwoods; it investigates the operational and mechanical properties of hardwoods (compressive strength) under various forming conditions.

The bachelor's thesis consists of an explanatory note and appendices. The explanatory note contains 37 pages, 8 figures, 6 tables, and includes a list of 11 references. The graphic section consists of 8 A4-size sheets, presented in Appendix A.

Keywords: wood, wood species, compressive strength, mechanical properties, performance properties.

					БР 1926.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 ТЕХНІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ.....	7
1.1.Особливості та структура деревини.....	8
1.2. Частини дерева та будова деревини. Мікро та макроструктура деревини	10
1.3. Висновки та постановка задач досліджень.....	16
РОЗДІЛ 2 ХАРАКТЕРИСТИКА ВИХІДНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.....	18
2.1.Характеристика вихідних компонентів.....	18
2.2. Методи визначення механічних та експлуатаційних властивостей твердих порід деревини.....	23
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.....	26
3.1. Дослідження водопоглинання деревини	27
3.2. Дослідження міцності деревини на стискання різних порід деревини	29
3.3 Визначення густини деревини.....	31
ВИСНОВКИ.....	34
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	36
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Деревина є одним із найдавніших і найпоширеніших матеріалів, що використовується в будівництві, меблевому виробництві та інших галузях. Особливе місце займають тверді породи деревини, які відзначаються високою міцністю, довговічністю та стійкістю до зношування.

У сучасних умовах зростає потреба в матеріалах, що поєднують екологічність, надійність і довговічність. Саме тому дослідження механічних і експлуатаційних властивостей твердих порід деревини є актуальним завданням.

Метою даної роботи є аналіз механічних та експлуатаційних характеристик твердих порід деревини та визначення їх ефективності в різних умовах використання.

					БР 1926.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

РОЗДІЛ 1

ТЕХНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Деревина широко застосовується у будівництві, мистецтві, хімічній та паперовій промисловості, також є чудовим паливом саме через свої фізичні та механічні властивості. У більшості судинних рослин, де надає тканинам рослин міцність і жорсткість.

До фізичних властивостей належать істинна та середня густина, вологість, висихання, розбухання, короблення, пористість, теплопровідність та ряд інших важливих властивостей.

Густина деревини визначається як співвідношення її маси до об'єму і залежить від таких факторів, як порода, анатомічна частина стовбура та рівень вологості. Істинна густина деревини для більшості порід є практично сталою і становить приблизно $1,53...1,55 \text{ г/см}^3$. Водночас середня густина може значно варіюватися, оскільки вона залежить від структури матеріалу, його пористості та вмісту води, і зазвичай знаходиться в межах $450...900 \text{ кг/м}^3$.

Залежно від значення густини деревину умовно поділяють на кілька груп. До порід із низькою щільністю відносять деревину з показниками до 540 кг/м^3 , серед яких липа, ялина, сосна, вільха, осика та верба. Породи середньої щільності ($550...740 \text{ кг/м}^3$), такі як береза, модрина, клен, бук, дуб і ясень, мають збалансовані фізико-механічні властивості. До групи високої щільності (понад 750 кг/м^3) належать гікорі, самшит, сандал та квебрахо, які характеризуються підвищеною міцністю та зносостійкістю. Щільність потрібно враховувати при будівництві, виготовленні меблів та виробі дров для подальшого опалення [1].

Вологість деревини – це відношення маси води до сухої маси матеріалу. Вологість деревини, тобто процентний вміст води, що міститься в деревині, значно впливає на її фізичні і механічні властивості. Волога в

					БР 1926.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

деревині може знаходитися в 3-х станах. Гігроскопічна або зв'язана – це волога, що частково пропитує оболонки клітин. Вільна, або капілярна, – це волога, що знаходиться в внутрішніх пустотах, порожнинах клітин, міжклітинному просторі. Вільна та гігроскопічна волога може бути видалена з деревини шляхом сушіння.

Хімічно зв'язана волога, що входить в склад речовин, які утворюють деревину (може бути видалена лише шляхом хімічної переробки).

Деревина, маючи волокнисту будову й високу пористість, легко поглинає водяні пари з повітря (є гігроскопічною). При тривалому перебуванні на повітрі при сталих умовах деревина набуває вологості, яку називають рівноважною. Стан деревини в момент, коли в її структурі відсутня вільна волога, називають межею гігроскопічної вологості (для різних порід вона становить 23...35% відносно маси сухої деревини) [2].

Висихання деревини - це процес видалення вологи (випаровування) для підготовки матеріалу до використання, що зменшує ризик деформації, гниття та покращує технічні характеристики. Природне сушіння триває від 6 місяців до кількох років, тоді як камерне (технічне) забезпечує швидший та рівномірніший результат.

Основні аспекти сушіння поділяються на:

Типи сушіння, а саме:

- природне сушіння. Деревина сохне на відкритому повітрі або під навісом, забезпечуючи циркуляцію повітря. Це найповільніший спосіб (до кількох років для товстих дощок);
- камерне (технічне) сушіння: Проводиться у спеціальних камерах, де контролюються температура та вологість, що дозволяє отримати деревину з вологістю 8-12%.

Час природного сушіння для берези, вільхи становить мінімум 6 місяців; для хвойних порід (сосна) 25 мм – приблизно 2,5 роки; твердих порід (дуб) 50 мм – до 7,5 років.

					БР 1926.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Наслідками неправильного сушіння є усихання, деформація та розтріскування [3].

Розбухання – збільшення розмірів та об'єму сухої деревини чи виробів з неї при зволоженні до досягнення границі гігроскопічної вологи – точки насичення волокон (стінки деревних клітин потовщуються, розбухають).

Короблення – процес, що виникає внаслідок неоднакового усихання у різних напрямках. Усихання деревини у тангентальному напрямку, ніж у радіальному. Щоб запобігти коробленню і розтріскуванню дерев'яних виробів, слід використовувати дерево такої вологості, яка відповідала б умовам експлуатації.

Пористість деревини – відношення об'єму пор до загального об'єму деревини. Для деревини різних видів пористість має різне значення, але в середньому розбіг її значення становить 30...80 %.

Теплопровідність деревини – це її здатність передавати тепло, проводити його через свою товщину від однієї поверхні до іншої. Суха деревина за своєю структурою є поганим провідником тепла, так як її внутрішньоклітинні порожнини заповнені повітрям. Щільна деревина краще проводить тепло, ніж пухка. Зі збільшенням вологості теплопровідність деревини підвищується, оскільки вода на відміну від повітря краще проводить тепло. Напрямок теплового потоку щодо волокон деревини також впливає: теплопровідність уздовж волокна в два рази вище, ніж поперек. Завдяки низькій теплопровідності деревини, вона широко застосовується як стіновий матеріал (з колод і брущаті стіни), і давно створила образ "теплого" дерева. Стіна з бруса, товщиною 10 см здатна забезпечити кращу теплоізоляцію, ніж стіна з цегли товщиною 50 см. Дерев'яний будинок дихає натуральним чином: витрачена взимку енергія відновлюється навесні і восени. У дерев'яному будинку взимку тепло, а влітку – зберігається приємна прохолода. Дерево має здатність акумулювати теплову енергію, зберігати тепло. Стіна будинку з дерева зберігають температуру внутрішньої

					БР 1926.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

поверхні такої ж, як і температура в приміщенні і залишається теплою на дотик, не дивлячись на коливання зовнішньої температури. Якщо потримати відкритим вікно взимку, то температура в дерев'яному будинку різко впаде, але також легко, без додаткових витрат, зможе відновитися завдяки гарній теплоємності стін.

Влітку, вдень, коли світить яскраве сонце, температура в будинку з дерева різко не підвищується, а тепло акумулюється і віддається тільки вночі. Таким чином, забезпечується збалансований температурний режим в будинку. Унікальні властивості лігніну, поєднані з його спеціальною модифікацією, дозволили створити широкий асортимент стійких лігносульфонатів, які знаходять застосування в різних галузях, таких як диспергування, зв'язування, контроль кристалізації, комплексування та стабілізація емульсій, серед інших.

Через широке та масштабне використання деревини у різних сферах виникають екологічні проблеми, економічні проблеми та технічні питання які впливають не тільки на вимирання екосистем а й на деградацію ґрунтів, вимиранню біорізноманіття, зміну клімату, дефіцит сировини, втрату Легень планети, ефективність цінової політики, нераціональне використання та утилізація відходів. Для подолання цих проблем необхідні комплексний підхід, контроль за вирубкою, впровадження новітніх технологій сушіння та захисту, а також перехід до циркулярної економіки [4].

1.2 Частина дерева та будова деревини. Мікро та макроструктура деревини

Дерево складається з коріння, стовбура, крони. Основна частина - стовбур, це 60...90% ділової деревини. Верхня частина стовбура називається вершиною, а нижня окоренком завданням для розширення сфер застосування та підвищення якості.

					БР 1926.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Корені служать для одержання з ґрунту води з розчиненими в ній мінеральними речовинами, а також для збереження запасних живильних речовин. Стовбур проводить воду від коренів до листів. Цей рух вологи називають висхідним рухом соку. Крім того, він служить для збереження запасу живлення. Стовбур дає основну кількість деревини, утвореною зростаючим деревом. Крона складається з гілок і листів або хвої. Через листя частина води, що надійшла від коренів, випаровується. Волога, що залишилася з розчиненими в ній мінеральними речовинами під впливом сонячного світла і тепла вступає в з'єднання з вуглецем і утворює органічні живильні речовини. Вуглець листи одержують з навколишнього середовища у вигляді вуглекислого газу, що у листах розкладається на вуглець і кисень. Кисень з листів виділяється в повітря. Живильні речовини, що утворилися в листах, по внутрішньому шарі кори – лубові – спускаються вниз і розповсюджуються по всьому дереву. Це називається спадним рухом соку [5].

На відміну від деревини листяних порід деревина хвойних порід не має судин провідної і волокон механічної тканини і складається з досить одноманітних, розташованих радіальними рядами замкнутих клітин, що називаються трахеїдами. Трахеїди займають 90...95% об'єму хвойної деревини. Довжина трахеїд 2...10 мм, товщина 0,02...0,05 мм. Один річний шар має ранні і пізні трахеїди. У деревині хвойних порід мають смоляні ходи, заповнені смолою вузькі довгі міжклітинні канали, утворені паренхімними клітками. У смоляних ходах виробляється і накопичується смола. Вона збільшує стійкість деревини проти загнивання. Найбільша кількість смоляних ходів у сосни, а самі великі ходи в кедра [6].

Також у даному розділі розглянемо макро- та мікроструктуру деревини. Макроструктура деревини дає змогу ознайомитись з основними ознаками деревини, визначити її породу та фізико-механічні та інші властивості. Розглянемо три основні види розрізу деревини (рисунок 1.1):

					БР 1926.00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

торцевий або поперечний, перпендикулярний до осі стовбуру; радіальний – який проходить уздовж стовбуру; тангенціальний – паралельний осі стовбуру.

Як видно на фото деревина складається з кори, лубу, камбію, заболоні, ядра, стрижня, річних кілець та стрижневих променів. Кора захищає дерево від зовнішніх впливів та складається з лубу та кірки.

Камбій – це тонкий шар клітин, здатних до поділу та росту; більша частина їх відкладається в бік деревини, менша – у бік лубу.

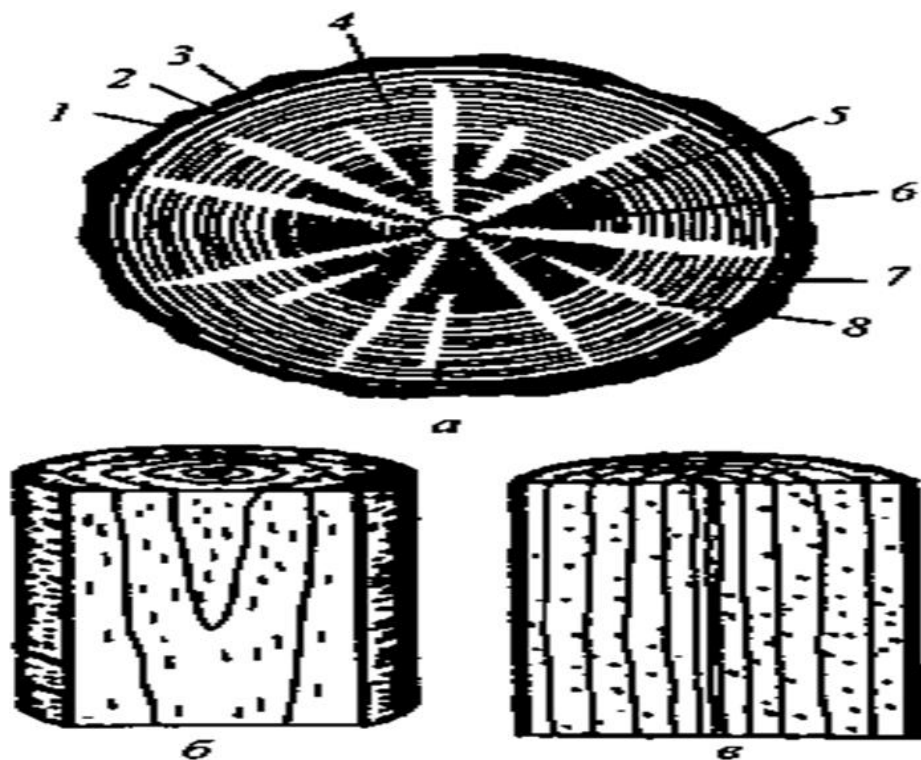


Рисунок 1.1 – Основні розрізи стовбура:

а – торцевий; б – тангенціальний, в – радіальний;

1 – кора; 2 – луб; 3 – камбій; 4 – заболонь; 5 – ядро; 6 – стрижень; 7 – річні шари (кільця); 8 – стрижневі промені

Заболонь – це світла частина деревини, що складається з молодих клітин, по яких рухається волога з розчиненими в ній поживними речовинами. Заболонь у щойно зрубаному дереві має велику вологість, відносно легко загниває, має низьку міцність, велике усихання й схильність до короблення.

Ядро – це центральна, темніша частина деревини, яка складається з відмерлих клітин, просочених смолистими та дубильними речовинами. Ядро не містить живих клітин і не бере участі у фізіологічних процесах, але забезпечує міцність стовбура дерева. Ця частина дерева має меншу вологість, більшу стійкість щодо загнивання, вищу міцність та твердість.

Стрижень складається з великих та тонкостінних, слабо зв'язаних між собою дірчастих клітин. Стрижень і деревина, утворена в ранньому періоді, становлять стрижньову трубку. Ця частина стовбура є найслабшою, легко піддається загниванню. Розміри стрижня в листяних породах, як правило, більші, ніж у хвойних. У процесі росту дерева стінки клітин деревини внутрішньої частини стовбура, які прилягають до стрижня, постійно змінюють свій склад, дерев'яніють і просочуються у хвойних порід смолою, у листяних – дубильними речовинами. Рух вологи в цій частині стовбура припиняється, і вона стає міцною, твердою та стійкою до загнивання.

Стрижневі промені складаються з тонкостінних клітин, особливо помітних у дубу, бука, клена. Одні з них (первинні) починаються від стрижня і йдуть до кори, пронизуючи всю деревину в радіальному напрямі, інші (вторинні) виникають на різних відстанях від стрижня, але обов'язково доходять до кори. Стрижневі промені призначені для переміщення по них вологи та поживних речовин і створення запасу цих речовин на зимовий час. Стрижневі промені в листяних породах становлять майже 15%, у хвойних – майже 6% за об'ємом. Деревина легко розколюється по стрижневих променях, по них же вона розтріскується при висиханні. Нових масштабів

					БР 1926.00.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

потребує значних витрат на регенерацію органічних розчинників, що є суттєвим бар'єром для його масштабування.

Річні шари (кільця) утворюються в період росту. Клітини ранньої деревини (весняні) дірчасті, мають низьку механічну міцність, а клітини пізньої деревини (утвореної влітку) – більш щільні та міцні. Чим більше утворилося пізньої деревини, тим вища її механічна міцність [7].

Деревні породи поділяють на ядрові (сосна, дуб, модрина, ясень) та заболонні, які не мають ядра (береза, осика, граб, вільха, липа). Деревні породи з однаковим забарвленням поперечного перерізу, які містять різну кількість вологи в центральній та периферійній частинах, називають породами зі стиглою деревиною (бук, ялина, ялиця).

Мікроструктуру деревини уже не можливо побачити не озброєним оком це внутрішня будова деревини, яку не можливо побачити без використання мікроскопу чи інших приладів. Розглядаючи деревину у мікроструктурі – це складна система клітин, що розрізняються за формою та функціями. Основними складовими мікроструктури є прозенхімні волокна, паранхимні клітини, судини (лише у листяних порід), серцевинні промені. Отже мікроструктура деревини вивчає: видовжені клітини, що забезпечують механічну міцність та транспортування вологи; короткі клітини, що накопичують поживні речовини; спеціальні трубки, що утворюються з клітин і служать для проведення соків та клітини, що розташовані радіально і забезпечують переміщення речовин у горизонтальному напрямку.

За допомогою мікроструктури ми впевнено можемо виділити відмінності між хвойними породами та листяними породами. Хвойні породи на 90-95% складаються з видовжених клітин, що виконують як головну так і механічну функцію, отже мають простішу будову на відміну від листяних порід. Водночас листяні породи складаються з багатьох судин, що можна побачити на поперечному розрізі як пори.

Мікроструктура деревини формується великою кількістю живих і відмерлих клітин, які відрізняються за розмірами, формою та

					БР 1926.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

функціональним призначенням. Жива клітина складається з протоплазми, ядра, клітинної оболонки та клітинного соку.

Протоплазма являє собою напівпрозору, в'язку зернисту речовину білкової природи, до складу якої входять такі хімічні елементи, як вуглець, водень, кисень, азот і сірка. Ядро клітини за своїм складом подібне до протоплазми, однак додатково містить фосфор; зазвичай воно має овальну форму. Клітинна оболонка утворена переважно целюлозою (клітковиною). У процесі росту клітини її оболонка зазнає структурних і хімічних змін, що призводить до явищ одеревеніння або опробковіння.

Залежно від функцій у деревині розрізняють провідні, механічні та запасуючі клітини. Провідні клітини забезпечують транспортування поживних речовин від кореневої системи до гілок і листя. Механічні клітини характеризуються видовженою формою, потовщеними стінками та вузькими внутрішніми порожнинами, що щільно з'єднані між собою; саме вони надають деревині високої міцності. Запасуючі клітини розташовані переважно в серцевинних променях і виконують функцію накопичення та горизонтального перенесення поживних речовин до живих клітин [8].

Важливим етапом дослідження деревини є її мікроскопічний аналіз, який дозволяє детально вивчити внутрішню будову матеріалу. Для цього достатньо отримати тонкий зріз деревини, що дає змогу спостерігати її структурні елементи під мікроскопом. Такий підхід відкриває більш глибоке розуміння організації клітин та їх взаємодії.

Суттєву роль у будові клітин відіграють пластиди – спеціалізовані утворення білкової природи, що розміщуються в протоплазмі. Вони представлені різними типами, кожен з яких виконує окремі функції. Зокрема, хлоропласти беруть участь у синтезі органічних речовин, необхідних для росту рослини. Лейкопласти відповідають за накопичення поживних речовин, зокрема трансформують цукри у крохмаль, тоді як хромопласти забезпечують забарвлення окремих частин рослини завдяки наявності пігментів.

					БР 1926.00.00.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Особливе значення має структура клітинних стінок. У процесі розвитку клітин їх оболонки зазнають змін, зокрема відбувається їх потовщення та насичення лігніном, що призводить до підвищення міцності та жорсткості деревини. У клітинних стінках зберігаються тонкі ділянки - пори, які забезпечують обмін рідинами між сусідніми клітинами. Завдяки цим структурам відбувається транспортування води та розчинених поживних речовин.

Деревина характеризується різноманітністю клітин за формою та функціональним призначенням. Окрім уже розглянутих типів, важливо відзначити формування тканин, які виконують комплексні функції в організмі рослини. Провідні тканини забезпечують рух води та мінеральних речовин від кореневої системи до надземних органів. Запасаючі тканини виконують функцію накопичення поживних речовин, однак через свою пухку структуру вони є більш вразливими до процесів руйнування. Опорні тканини, навпаки, мають високу щільність і забезпечують механічну стійкість деревини.

1.3 Висновки і постановка завдань досліджень

У ході виконання роботи було досліджено механічні та експлуатаційні властивості твердих порід деревини. Встановлено, що вони характеризуються високою міцністю, щільністю та зносостійкістю, що забезпечує їх широке використання у будівництві, меблевому виробництві та інших галузях. Механічні показники деревини, зокрема міцність на стиск і вигин, безпосередньо залежать від її мікроструктури та щільності, що визначає ефективність матеріалу в умовах навантажень.

Водночас експлуатаційні властивості, такі як довговічність, стійкість до зношування та впливу зовнішнього середовища, відіграють важливу роль при виборі породи деревини. Раціональне використання твердих порід з урахуванням умов експлуатації дозволяє підвищити надійність і термін

					БР 1926.00.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

служби виробів, що підтверджує їх значущість як сучасного конструкційного матеріалу.

В бакалаврській роботі необхідно було вирішити наступні завдання:

- визначити фактичну густину та порівняти з теоретичними значеннями;
- провести дослідження міцності на стискання зразків з різних порід деревини;
- провести дослідження водопоглинання зразків з різних порід деревини.

					БР 1926.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

РОЗДІЛ 2

ХАРАКТЕРИСТИКА ВИХІДНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Характеристика вихідних компонентів

Для визначення механічних та експлуатаційних властивостей твердих порід деревини необхідно враховувати особливості їхньої будови, фізичних характеристик та умов експлуатації. Достовірність результатів досліджень значною мірою залежить від правильного вибору вихідних матеріалів, підготовки зразків і застосування відповідних методів випробувань.

У цьому розділі наведено характеристику деревини твердих порід, що використовувалася під час проведення експериментальних досліджень, а також розглянуто основні фізико-механічні показники досліджуваних матеріалів. Окрему увагу приділено опису методики проведення випробувань, обладнання та умов виконання експериментів, які забезпечують отримання об'єктивних і відтворюваних результатів.

Застосована методика досліджень передбачає визначення основних механічних характеристик деревини та оцінку її експлуатаційних властивостей відповідно до чинних стандартів і нормативних документів. Отримані результати стануть основою для подальшого аналізу впливу структури та фізичних властивостей деревини на її міцність і довговічність.

Для проведення досліджень механічних та експлуатаційних властивостей деревини було обрано чотири поширені в Україні породи: дуб звичайний (*Quercus robur* L.), ясен звичайний (*Fraxinus excelsior* L.), вільха чорна (*Alnus glutinosa* L.) та сосна звичайна (*Pinus sylvestris* L.). Дані породи відрізняються анатомічною будовою, фізичними характеристиками та хімічним складом, що дозволяє провести порівняльний аналіз їхніх властивостей.

					БР 1926.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Дуб звичайний (*Quercus robur* L.) належить до твердолистяних кільцепорових порід деревини. Завдяки високій щільності, значній твердості та підвищеній стійкості до біологічного руйнування він широко використовується у виробництві меблів, підлогових покриттів та будівельних конструкцій[1].



Рисунок 2.1 – Загальний вигляд деревини дуба

Середня щільність деревини дуба при вологості 12 % становить 650...750 кг/м³. Межа міцності при стиску вздовж волокон досягає 55...65 МПа, а статична твердість є однією з найвищих серед вітчизняних порід деревини [2].

Хімічний склад дубової деревини характеризується вмістом целюлози на рівні 40...45 %, геміцелюлоз – 20...30 %, лігніну – 20...25 %. Особливістю дуба є високий вміст дубильних речовин (танінів), які забезпечують підвищену стійкість до впливу грибків та мікроорганізмів [3].

Ясен також належить до твердолистяних порід та характеризується високою міцністю в поєднанні з підвищеною пружністю. За механічними

характеристиками ясен часто порівнюють із дубом, однак він має дещо меншу щільність та кращу ударну в'язкість [1].



Рисунок 2.2 – Загальний вигляд деревини ясен

Середня щільність деревини ясен при вологості 12 % становить 650...700 кг/м³. Для деревини характерна висока межа міцності при статичному згині та ударних навантаженнях. Завдяки цьому ясен широко застосовується у виробництві спортивного інвентарю, ручок інструментів, меблів та декоративних виробів. Структура деревини рівноволокниста, що забезпечує добру оброблюваність та високу здатність до гнуття [2].

Основними хімічними компонентами ясен є целюлоза (42...46 %), геміцелюлози (22...28 %), лігнін (18...23 %) та екстрактивні речовини. У порівнянні з дубом вміст дубильних речовин є нижчим, тому природна стійкість до біологічного руйнування також дещо менша. Разом із тим високий вміст целюлози забезпечує значну міцність і пружність деревини [3].

Вільха належить до м'яких листяних порід. Вона має однорідну будову та рівномірну текстуру, що забезпечує добрі технологічні властивості під час механічної обробки. [1].



Рисунок 2.3 – Загальний вигляд деревини вільхи

Середня щільність деревини вільхи становить 480...550 кг/м³. Порода характеризується невисокою твердістю та помірною міцністю, однак має хорошу стабільність форми після висушування. Вільха добре піддається різанню, фрезеруванню, шліфуванню та склеюванню. Однією з особливостей є її здатність тривалий час зберігати міцність у водному середовищі, що історично обумовило використання деревини для гідротехнічних споруд.

Хімічний склад вільхи представлений целюлозою (42...45 %), геміцелюлозами (25...30 %), лігніном (18...22 %) та невеликою кількістю екстрактивних речовин. Через низький вміст смол і дубильних компонентів деревина легко просочується захисними складами та клеями. Це позитивно впливає на її технологічні властивості та якість оздоблення.

Сосна є найбільш поширеною хвойною породою в Україні та займає важливе місце в деревообробній промисловості. Для неї характерна чітко

					БР 1926.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виражена різниця між ранньою та пізньою деревиною, що впливає на механічні характеристики матеріалу [1].



Рисунок 2.4 – Загальний вигляд деревини сосни

Середня щільність соснової деревини при вологості 12 % становить 500...550 кг/м³. Межа міцності при стиску вздовж волокон становить близько 40...50 МПа. Незважаючи на відносно невелику густину, сосна має достатньо високі показники питомої міцності. Значний вплив на властивості матеріалу має вологість, оскільки деревина є гігроскопічною та здатна змінювати свої розміри в процесі висихання або зволоження.

Хімічний склад сосни включає 40...45 % целюлози, 24...30 % геміцелюлоз, 26...30 % лігніну та 3...8 % смолистих речовин. Підвищений вміст лігніну та смол є характерною ознакою хвойних порід і забезпечує природну стійкість до вологи, гниття та ураження мікроорганізмами. Разом із тим смолистість може ускладнювати процеси склеювання та лакофарбового покриття [3].

Порівняльний аналіз фізичних та хімічних властивостей досліджуваних порід дозволяє встановити взаємозв'язок між структурою деревини та її механічними характеристиками. Найвищими показниками

щільності та твердості характеризуються дуб і ясен, тоді як вільха та сосна мають меншу густину і твердість, але кращу оброблюваність. Це дозволяє комплексно оцінити вплив породи деревини на її експлуатаційні властивості та поведінку під дією механічних навантажень.

2.2. Методи визначення механічних та експлуатаційних властивостей твердих порід деревини.

Для досягнення поставленої мети дипломної роботи було проведено комплекс експериментальних досліджень, спрямованих на визначення основних механічних та експлуатаційних властивостей деревини досліджуваних порід. Об'єктами дослідження виступали зразки дуба, ясеня, вільхи та сосни, які широко використовуються у деревообробній промисловості, меблевому виробництві та будівництві. Вибір зазначених порід обумовлений їх різними анатомічними особливостями, фізико-механічними характеристиками та сферою практичного застосування.

Під час виконання роботи особливу увагу було приділено визначенню показників, які найбільш повно характеризують поведінку деревини в умовах експлуатації. Для цього було проведено дослідження водопоглинання, міцності при стиску та адгезійної міцності клейових з'єднань. Отримані результати дозволяють оцінити вплив породи деревини на її здатність сприймати механічні навантаження, взаємодіяти з вологою та забезпечувати надійність клейових з'єднань.

Одним із найважливіших експлуатаційних показників деревини є її здатність поглинати вологу з навколишнього середовища. Водопоглинання безпосередньо впливає на стабільність геометричних розмірів виробів, їх довговічність, міцність та стійкість до біологічного руйнування. Для визначення даного показника зразки деревини піддавали впливу водного середовища протягом визначеного часу з подальшим контролем зміни їх

					БР 1926.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

маси. За результатами випробувань встановлювали кількість вологи, яку здатна поглинати деревина різних порід. Аналіз отриманих даних дозволяє оцінити особливості внутрішньої структури матеріалу та визначити його придатність до використання в умовах підвищеної вологості.

Водопоглинання деревини визначали за формулою:

$$W = ((m_2 - m_1) / m_1) 100 \%,$$

де W – водопоглинання, %;

m_1 – початкова маса зразка, г;

m_2 – маса зразка після витримування у воді 8 годин, г.

Для оцінки механічних властивостей деревини було проведено випробування на стискання. Даний вид випробувань є одним із найбільш поширених способів визначення міцнісних характеристик деревини, оскільки значна частина конструкційних елементів під час експлуатації працює саме під дією стискальних навантажень. Методика дослідження передбачала поступове прикладання навантаження до зразків за допомогою випробувального обладнання до моменту досягнення граничного навантаження або руйнування матеріалу. На основі отриманих результатів визначали здатність деревини чинити опір стисканню та зберігати свої експлуатаційні властивості під дією зовнішніх сил. Проведення даного дослідження дозволяє встановити рівень міцності різних порід та визначити найбільш перспективні матеріали для виготовлення навантажених конструкційних елементів.

Межу міцності при стиску визначали за формулою:

$$\sigma = F / A,$$

де F – руйнівне навантаження,;

A – площа поперечного перерізу зразка, мм².

Густина деревини визначали як відношення маси зразка до його об'єму:

$$\rho = m / V$$

Об'єм зразків визначали за геометричними розмірами:

$$V=a \cdot b \cdot l$$

де a — ширина зразка, мм;

b — товщина зразка, мм;

l — довжина зразка, мм.

Виконання досліджень здійснювалося відповідно до вимог чинних нормативних документів і стандартизованих методик випробування деревини та клейових з'єднань. Для визначення міцності при стиску використовували положення ДСТУ, які регламентують порядок підготовки зразків, проведення випробувань і оцінювання результатів. Визначення адгезійної міцності виконувалося відповідно до вимог ДСТУ. Під час оцінювання водопоглинання використовували загальноприйняті методики дослідження вологообмінних властивостей деревини.

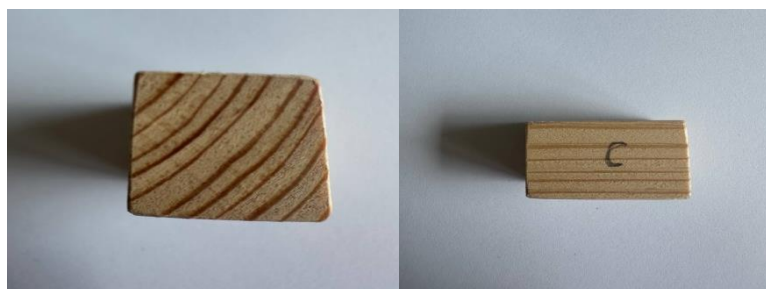
Отримані в процесі досліджень результати були використані для порівняльного аналізу механічних та експлуатаційних властивостей дуба, ясена, вільхи та сосни. Порівняння показників дозволило встановити особливості поведінки кожної породи під впливом механічних навантажень і вологи, а також оцінити їх придатність для використання в різних умовах експлуатації та технологічних процесах деревообробного виробництва.

					БР 1926.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

Для проведення досліджень на стискання, водопоглинання, адгезійну міцність та визначення густини було підготовано 4 пари по 3 штуки кожної з порід заготовок з ідентичними одно до одної розмірами 20×20×30мм, а саме заготовка з дубу, заготовка з вільхи, заготовка з сосни, та заготовка з ясеню (рисунок 3.1).



а



б



в

Рисунок 3.1 – Заготовки використані для досліджень:

а – заготовка із сосни;

б – заготовка із дуба;

в – заготовка із ясеню;

					БР 1926.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26



Г

Рисунок 3.1, лист 2

Г – заготовка із вільхи

3.1 Дослідження водопоглинання деревини

Для оцінки водопоглинання зразки деревини були повністю занурені у воду та витримувалися протягом восьми годин. Контроль зміни маси здійснювали через 1, 2, 4 та 8 годин після початку експерименту. Отримані результати свідчать про поступове збільшення маси всіх досліджуваних зразків унаслідок поглинання вологи (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – Результати початкового водопоглинання різних порід деревини

Порода деревини	Початкова маса, г	Через 1 годину, г	Через 2 години, г	Через 4 години, г	Через 8 годин	Водопоглинання, %
Вільха	6,2	7,0	7,5	8,2	8,9	43,5
Сосна	5,8	6,4	6,8	7,3	7,8	34,5
Дуб	7,4	7,8	8,1	8,5	8,9	20,3
Ясен	7,2	7,8	8,2	8,8	9,4	30,6

Найбільш інтенсивне поглинання води спостерігалось протягом перших чотирьох годин досліду, що пояснюється швидким заповненням

капілярів та порожнин у структурі деревини. Надалі швидкість поглинання води зменшувалася, що свідчить про поступове наближення матеріалу до стану насичення.

Найбільше збільшення маси було зафіксовано у зразка вільхи, маса якого зросла з 6,2 г до 8,9 г. Для ясенa маса збільшилася з 7,2 г до 9,4 г. Сосна продемонструвала помірні показники водопоглинання, а найменша інтенсивність поглинання води спостерігалася у дуба, що пояснюється його високою щільністю та меншою проникністю структури.

Після завершення етапу насичення водою зразки було вилучено з водного середовища та залишено для природного висихання. Контроль маси проводився через кожні 24 години до досягнення початкових значень. Результати спостережень наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати остаточного водопоглинання різних порід деревини

Зважування зразків	Вільха, г	Сосна, г	Дуб, г	Ясен, г
Початкова маса	10,3	9,1	9,8	10,7
24 години	9,4	8,3	9,1	9,8
48 годин	8,5	7,5	8,5	8,9
72 години	7,8	6,9	8,0	8,2
96 годин	7,1	6,3	7,7	7,7
120 годин	6,5	5,9	7,5	7,3
144 години	6,2	5,8	7,4	7,2

За результатами проведених досліджень встановлено, що всі досліджувані породи деревини характеризуються різною інтенсивністю поглинання води. Найбільше водопоглинання було зафіксовано для вільхи, що пояснюється її порівняно невисокою густиною та більш розвиненою капілярно-пористою структурою. Високі показники водопоглинання також продемонструвала сосна, незважаючи на наявність

смолистих речовин у її структурі. Найменше водопоглинання спостерігалось у дуба, що пов'язано з його високою густиною та значним вмістом дубильних речовин, які ускладнюють проникнення води в структуру деревини. Отримані результати підтверджують, що водопоглинання безпосередньо залежить від анатомічної будови та щільності деревини.

3.2. Дослідження міцності деревини при стисканні різних порід деревини

Для проведення досліджень були використані зразки деревини дуба, ясеня, вільхи та сосни розмірами 20×20×30 мм. Перед початком випробувань зразки були оглянуті на наявність видимих дефектів, тріщин та інших пошкоджень, які могли б вплинути на результати дослідження.



а

б

в

г

Рисунок 3.2 – Загальний вигляд зразків перед випробуванням на стискання:

а – дуб

б – вільха

в – ясен

г – сосна

Випробування проводили шляхом поступового прикладання стискального навантаження вздовж волокон деревини до моменту руйнування зразка. Під час проведення дослідів фіксувалося максимальне навантаження, яке витримував кожен зразок до втрати цілісності структури.

Після завершення випробувань було визначено руйнівне навантаження для кожної породи деревини. Результати наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати дослідження міцності на стискання деревини різних порід

Порода деревини	Руйнівне навантаження, Н	Площа перерізу, мм ²	Межа міцності при стиску, МПа
Сосна	16000	400	40,0
Дуб	15500	400	38,8
Вільха	18000	400	45,0
Ясен	18500	400	46,3

В таблиці 3.4 наведено порівняння експериментальних та теоретичних значень міцності на стискання різних порід деревини.

Таблиця 3.4 – Порівняння експериментальних та теоретичних значень міцності на стисканні

Порода деревини	Отримане значення, МПа	Теоретичне значення, МПа
Сосна	40,0	35...50
Дуб	38,8	45...60
Вільха	45,0	35...50
Ясен	46,3	45...60

Після досягнення граничного навантаження в усіх зразках спостерігалися характерні деформації (рисунок 3.4) та руйнування

структури деревини. Характер руйнування залежав від анатомічної будови породи та особливостей розташування волокон.



а

б

в

г

Рисунок 3.4 – Загальний вигляд зразків різних порід деревини після випробування на стискання:

а – сосна

б – дуб

в – вільха

г – ясен

3.3. Визначення густини деревини

Густина є однією з основних фізичних характеристик деревини, яка суттєво впливає на її механічні та експлуатаційні властивості. Від величини густини залежать міцність, твердість, зносостійкість, водопоглинання та довговічність матеріалу. Як правило, зі збільшенням густини зростають механічні характеристики деревини, проте одночасно підвищується її маса та ускладнюється механічна обробка.

Для визначення густини використовували зразки деревини дуба, ясеня, вільхи та сосни розмірами 20×20×30 мм. Перед проведенням дослідження було визначено геометричні розміри та масу кожного зразка.

Отримані результати показали, що найбільшу густину серед досліджуваних порід має дуб – 617 кг/м³ (таблиця 3.4). Незначно менше значення було отримано для ясеня – 600 кг/м³. Вільха характеризувалася середнім показником густини – 517 кг/м³, а найменша густина була зафіксована у сосни – 483 кг/м³.

Для всіх досліджуваних зразків об'єм становив 12 см³.

Таблиця 3.4 – Густина різних порід деревини

Порода деревини	Маса, г	Об'єм, см ³	Густина, кг/м ³
Сосна	5,8	12	483
Вільха	6,2	12	517
Ясен	7,2	12	600
Дуб	7,4	12	617

Для оцінки достовірності отриманих результатів було проведено їх порівняння з довідковими значеннями, наведеними в науковій та навчальній літературі (таблиця 3.5).

Таблиця 3.4

Порода	Отримане значення, кг/м ³	Довідкове значення, кг/м ³
Сосна	483	450...550
Вільха	517	490...550
Ясен	600	600...700
Дуб	617	600...750

Порівняння показало, що отримані значення густини знаходяться в межах характерних для відповідних порід діапазонів. Незначні відхилення можуть пояснюватися природною мінливістю структури деревини, різницею

у вологості зразків та умовами їх зберігання. Отримані результати узгоджуються з літературними даними та підтверджують правильність проведених розрахунків.

					БР 1926.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи було проведено дослідження механічних та експлуатаційних властивостей деревини дуба, ясена, вільхи та сосни. Визначено густину, водопоглинання та міцність при стиску досліджуваних порід. Виконано аналіз науково-технічної літератури щодо фізичних, хімічних та механічних характеристик досліджуваних порід, а також встановлено основні фактори, що впливають на їх експлуатаційні властивості.

Проведено дослідження водопоглинання деревини шляхом витримування зразків у воді протягом восьми годин з подальшим природним висиханням та контролем зміни маси через кожні 24 години. Встановлено, що найбільшу здатність до поглинання вологи продемонструвала вільха, аодопоглинання якої склало близько 43,5%. Для сосни цей показник становив 34,5%, для ясена – 30,6 %, а найменше водопоглинання було зафіксовано у дуба – 20,3%.

У роботі також було виконано дослідження міцності деревини при стиску вздовж волокон. За результатами випробувань встановлено, що найбільшу міцність при стиску має ясен, для якого межа міцності становила 46,3 МПа. За результатами випробувань на стиск найбільшу міцність продемонстрував ясен (46,3 МПа), а найменшу – дуб (38,8 МПа). Отримані результати свідчать про достатньо високі механічні характеристики досліджуваних порід та підтверджують залежність міцності від структури і фізичних властивостей деревини.

На основі проведених досліджень встановлено взаємозв'язок між густиною, водопоглинанням та механічними характеристиками деревини. Вищі показники густини сприяють зменшенню інтенсивності водопоглинання та забезпечують стабільність експлуатаційних властивостей матеріалу. Разом із тим механічні характеристики залежать не лише від

					БР 1926.00.00.000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

густини, а й від анатомічної будови та особливостей розташування волокон деревини.

Отримані результати можуть бути використані під час вибору деревини для виготовлення конструкційних елементів, меблів та інших виробів деревообробної промисловості. Проведені дослідження підтвердили доцільність використання дуба та ясеня у виробках, де важливими є стабільність властивостей і висока міцність, а сосни та вільхи – у конструкціях, де визначальними факторами є менша маса матеріалу та простота обробки.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на вивчення впливу вологості на механічні властивості досліджуваних порід деревини, а також дослідження поведінки матеріалу в умовах тривалої експлуатації та циклічного зволоження і висушування.

					БР 1926.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Тема 2. Фізичні властивості деревини [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php/430239/mod_resource/content/1/Тема%202.pdf
2. Фізичні властивості деревини [Електронний ресурс] // Studfile. – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/10586588/page:3/>
3. Сушіння деревини: значення, методи та технології [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://techno-t.net.ua/wood-drying-importance-methods-and-technologies/>
4. Теплопровідність деревини [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mezhventsovuy.com.ua/ua/22-teploprovodnostj-drevesiny.html>.
5. Механічні властивості деревини [Електронний ресурс] // Studfile. – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/2912373/page:9/>
6. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<http://lib.kart.edu.ua/bitstream/123456789/7025/1/Методичні%20вказівки.pdf>.
7. Визначення фізико-механічних властивостей деревини [Електронний ресурс] // Studfile. – Режим доступу:
<https://studfile.net/preview/7201795/page:38/>.
8. Задорожнікова Н. В. Властивості деревини [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/Задорожнікова/page13.html
9. Вінтонів І. С., Сопушинський І. М., Тайшінгер А. Деревинознавство : навч. посіб. – Львів : УКРДЛТУ, 2005. – 256 с.
10. Wood Handbook: Wood as an Engineering Material. – Madison : USDA Forest Products Laboratory, 2021. – 543 p.

					БР 1926.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

11. Rowell R. M. Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites. – 2nd ed. – Boca Raton : CRC Press, 2013. – 703 p.

					БР 1926.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37