

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

ННІ Лісового і садово-паркового господарства

ПОГОДЖЕНО

Директор ННІ

Лісового і садово-паркового
господарства

_____ Роман ВАСИЛИШИН

(підпис)

«___» _____ 20__ р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

технологій та дизайну виробів з
деревини

_____ Андрій СПІРОЧКІН

(підпис)

«___» _____ 20__ р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Обґрунтування вдосконалення технології виготовлення клеєних щитів»

Спеціальність: 187 «Деревообробні та меблеві технології»

Освітня програма: «Деревообробні та меблеві технології»

Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна

Гарант освітньої програми

_____ К.Т.Н., доц.

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

_____ Андрій СПІРОЧКІН

(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

_____ К.Т.Н., доц.

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

_____ Сергій МАЗУРЧУК

(ПІБ)

Виконав

(підпис)

_____ Костянтин ЯКОВЕНКО

(ПІБ студента)

КИЇВ - 2025 рік

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

ННІ Лісового і садово-паркового господарства

ЗАТВЕРДЖУЮ

**Завідувач кафедри технологій та дизайну
виробів з деревини**

к.т.н., доц. _____ Андрій СПІРОЧКІН

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Яковенко Костянтину Борисовичу

Спеціальність: 187 «Деревообробні та меблеві технології»

Освітня програма: «Деревообробні та меблеві технології»

Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна

Тема магістерської кваліфікаційної роботи «Обґрунтування вдосконалення технології виготовлення клеєних щитів» затверджена наказом ректора НУБіП України від «05» листопада 2024 р. № 1978 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру: 14.11.2025 року

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи звіти з виробничої, переддипломної практики, методики виконання експериментальних досліджень, державні, міждержавні стандарти.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Проаналізувати сучасний стан ринку клеєного щита, тенденції розвитку та використання у деревообробній промисловості.

2. Розглянути технологічні особливості виготовлення клеєних щитів, охарактеризувати обладнання, що використовується.

3. Підібрати дослідні зразки, провести експериментальні дослідження з визначення фізико-механічних властивостей застосованих матеріалів.

4. Визначити модуль пружності експериментальних зразків клеєних щитів при випробуванні на згин.

5. Визначити та обґрунтувати аспекти з удосконалення технології виготовлення клеєних щитів на базовому підприємстві.

Дата видачі завдання «___» _____ 20__ р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи _____ Сергій МАЗУРЧУК

Завдання прийняв до виконання _____ Костянтин ЯКОВЕНКО

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка МР містить 65 с., 19 рис., 32 табл., 50 джерел, 1 додаток.

У вступі було розглянуто актуальність обраної теми для даної кваліфікаційної роботи.

У першому розділі роботи було проаналізовано сучасний стан ринку клеєних щитів, окреслено тенденції розвитку та попит на внутрішньому ринку. Визначено технологічні та експлуатаційні переваги клеєних щитів порівняно з масивною деревиною, зокрема їхню стабільність розмірів, меншу схильність до деформацій і раціональне використання сировини. Описано послідовність технологічного процесу виготовлення, охарактеризовано основні матеріали та наведено перелік необхідного обладнання.

Другий розділ спрямований на визначення оптимального і пріоритетного обладнання з урахуванням різноманітних критеріїв. В рамках дослідження враховувалась потужність, вартість, технічні характеристики та інші параметри, які вплинули на вибір обладнання для виготовлення клеєних щитів.

Третій розділ присвячено напрямкам та методам досліджень. Було розглянуто матеріали для виготовлення клеєних щитів. Проведено експериментальні дослідження, проведено аналіз результатів.

Четвертий розділ присвячений вдосконаленню технологічного процесу виготовлення клеєних щитів. Розглянуто шляхи підвищення точності обробки заготовок шляхом застосування високоточного обладнання. Опрацьовано питання оптимізації вибору деревини на основі експериментальних даних щодо міцності та модуля пружності дуба, ясеня та береста. Окреслено аспекти вдосконалення системи контролю якості продукції на всіх етапах виробництва.

КЛЕЄНИЙ ЩИТ, ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ, ПРІОРИТЕТНІ МАТЕРІАЛИ, РОЗРАХУНКИ, ЕКСПЕРИМЕНТ, МОДУЛЬ ПРУЖНОСТІ

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД РИНКУ КЛЕЄНОГО ЩИТА.....	8
1.1. Аналіз ринку клеєного щита.....	8
1.2. Аргументований опис виготовлення клеєних щитів із технічними характеристиками обладнання.....	11
РОЗДІЛ 2 ПРОВЕДЕННЯ РОЗРАХУНКІВ ТА ПРИЙНЯТТЯ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ.....	21
2.1. Проведення розрахунків за методом розставляння пріоритетів та методом експертних оцінок.....	21
2.2. Проведення розрахунків за методом аналізу ієрархій.....	32
2.3. Прийняття проектного рішення.....	37
РОЗДІЛ 3 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	39
3.1. Методика проведення дослідів.....	39
3.2. Визначення модуля пружності експериментальних зразків на згин.....	46
РОЗДІЛ 4 ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ КЛЕЄНОГО ЩИТА.....	50
4.1. Вдосконалення технології виготовлення клеєних щитів.....	50
4.2. Оптимізація вибору матеріалів для виготовлення щитів та вдосконалення контролю якості.....	51
ВИСНОВКИ.....	54
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	56
ДОДАТКИ.....	62

ВСТУП

Клеєні щити займають важливе місце в сучасному деревообробному виробництві, завдяки своїм унікальним властивостям, які поєднують естетику, міцність та стабільність. Виготовлені з деревини, ці вироби є незамінними в будівництві, меблевій промисловості, а також в інших галузях, де важливі як механічні характеристики, так і естетичні показники. Клеєні щити відрізняються від звичайної деревини підвищеною міцністю, стійкістю до деформацій та впливу вологи, що робить їх ідеальними для використання в умовах змінної вологості та температури.

Однак, незважаючи на очевидні переваги клеєних щитів, існуючі технології їх виготовлення потребують постійного вдосконалення. Традиційні методи виробництва часто стикаються з викликами, пов'язаними з якістю використовуваних матеріалів, недостатньою стійкістю до механічних та кліматичних впливів, а також недостатньою ефективністю технологічних процесів. З розвитком новітніх технологій у деревообробній промисловості виникає потреба у впровадженні інновацій, які б забезпечили більш ефективне виробництво клеєних щитів, зокрема, за рахунок використання нових видів клеїв, покращених методів обробки деревини та сучасних технологій склеювання.

Одним з важливих аспектів, які слід враховувати, є вибір та характеристика клеїв, які використовуються у виробництві. Сучасні дослідження показують, що різні типи клеїв мають суттєвий вплив на механічні властивості клеєних щитів, їх стійкість до вологи та інших зовнішніх впливів. Наприклад, новітні полімерні клеї демонструють вищу адгезію та стійкість до вологи, що робить їх більш ефективними у виробництві. Тому вивчення властивостей клеїв та їх впливу на кінцеву продукцію є актуальним завданням.

Крім того, важливим є впровадження нових технологій обробки деревини, які дозволяють покращити якість матеріалу, підвищити його стійкість до гниття, шкідників і зовнішніх впливів. Сучасні методи обробки, такі як термічна обробка

та обробка під тиском, можуть суттєво підвищити експлуатаційні характеристики клеєних щитів, що дозволяє розширити їх застосування в різних сферах.

Актуальність теми обґрунтовується не лише економічними аспектами, але й екологічними вимогами до виробництва. Удосконалення технології виготовлення клеєних щитів може суттєво знизити екологічний слід деревообробної промисловості, оскільки сучасні методи виробництва сприяють зменшенню відходів та більш ефективному використанню природних ресурсів. Це є важливим фактором у контексті сталого розвитку, який набуває дедалі більшої значущості в умовах глобальних екологічних викликів.

Об'єкт дослідження: технологічний процес виготовлення клеєних щитів.

Предмет дослідження: визначення експлуатаційних властивостей клеєних щитів.

Мета роботи: вдосконалення технології виготовлення клеєних щитів.

Методи досліджень: у магістерській кваліфікаційній роботі використано: експериментальні методи – для отримання показників межі міцності клеєних щитів з різної породи деревини; метод кінцевих елементів для чисельного моделювання механічних характеристик клеєних щитів, що дозволяє проводити аналіз навантажень і деформацій у клеєних щитах під час експлуатації, що є важливим для визначення їх міцності, довговічності та безпеки; методи аналізу ієрархій – для визначення пріоритетного обладнання для фрезерування поверхні заготовок; методи статистичного аналізу – для обробки результатів експериментальних даних.

Завдання дослідження: провести аналітичний огляд ринку клеєного щита, тенденції розвитку та використання у деревообробній промисловості; проаналізувати технологічні особливості виготовлення клеєних щитів, охарактеризувати обладнання, що використовується; підібрати дослідні зразки, провести експериментальні дослідження з визначення фізико-механічних властивостей застосованих матеріалів; визначити модуль пружності експериментальних зразків клеєних щитів при випробуванні на згин; визначити

та обґрунтувати аспекти з удосконалення технології виготовлення клеєних щитів на базовому підприємстві.

Таким чином, вдосконалення технології виготовлення клеєних щитів має велике практичне значення для підвищення конкурентоспроможності продукції деревообробних підприємств України, забезпечення її відповідності сучасним стандартам якості та екологічним вимогам, а також розвитку інноваційних напрямів меблевої та будівельної галузі.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД РИНКУ КЛЕЄНОГО ЩИТА

1.1. Аналіз ринку клеєного щита

У сучасних умовах розвитку деревообробної промисловості клеєний щит є одним із найперспективніших конструкційних матеріалів, що активно використовується у виробництві меблів, столярних та оздоблювальних виробів. Високі експлуатаційні характеристики, екологічність та естетичний вигляд роблять цей матеріал незамінним у меблевій галузі.

Клеєний щит - це деревний матеріал, утворений шляхом склеювання попередньо висушених і оброблених ламелей (брусків), що зрощуються за довжиною або шириною [1]. Така технологія дозволяє усунути природні дефекти деревини (сучки, тріщини, смоляні включення) та отримати матеріал стабільних розмірів, який не деформується в процесі експлуатації (рис.1.1) [2].



Рис. 1.1. Види клеєного щита за способом склеювання (а – зрощений, б – цільноламельний, в – багат шаровий)

Ринок клеєного щита в Україні активно формується з початку 2000-х років. Поступово зростає кількість підприємств, які займаються як виготовленням

щитів, так і їх подальшою переробкою у меблеві вироби. Значну частку виробників складають малі та середні підприємства, що працюють у регіонах з розвинутою лісовою сировинною базою – Львівська, Івано-Франківська, Рівненська, Чернігівська області [3].

Основними споживачами клеєного щита є:

- меблеві підприємства (кухонні гарнітури, столи, полиці, шафи, стільниці);
- виробники дверей, підвіконь та оздоблювальних елементів;
- будівельні організації, що виготовляють дерев'яні конструкції (балки, сходи, декоративні панелі) [4].

У структурі попиту найбільшу частку займають щити з твердолистяних порід – дуба, бука, ясена, які мають високі естетичні властивості й міцність. Хвойні породи (сосна, ялина, модрина) застосовуються для виготовлення недорогих меблів, внутрішнього оздоблення або конструкційних елементів [11].

Популярність клеєного щита зумовлена рядом технологічних і експлуатаційних переваг у порівнянні з масивною деревиною. Основні з них:

- стабільність геометричних розмірів - матеріал не жолобиться, не розтріскується, не дає усадки;
- висока міцність завдяки перехресному або багат шаровому склеюванню;
- раціональне використання деревини - навіть короткомірні заготовки можуть бути перероблені у повноцінний щит;
- екологічність - застосовуються безпечні клеї на водній основі;
- естетичність - поверхня зберігає природну текстуру дерева;
- зручність в обробці - щит легко піддається фрезеруванню, шліфуванню та лакуванню [12].

За способом склеювання щити поділяються на:

- зрощені по довжині (зубчасте з'єднання) - економічний варіант, що забезпечує стабільність розмірів;

- цільноламельні - виготовляються з довгих ламелей, що зберігають природний рисунок деревини;
- багатошарові - застосовуються для виготовлення деталей підвищеної міцності [13].

Сучасні технології дозволяють виготовляти щити довжиною до 6 метрів і товщиною від 18 до 40 мм, що забезпечує універсальність їх використання у меблевому виробництві.

Клесний щит є основним матеріалом для виробництва корпусних і столярних меблів. Його застосування дозволяє замінити масив деревини при збереженні естетичного вигляду та високих експлуатаційних властивостей (рис.1.2) [14].

Матеріал широко використовується для виготовлення:

- фасадів кухонь та шаф;
- стільниць, полиць, тумб;
- декоративних панелей;
- основ під мийки чи раковини;
- столів і ліжкових каркасів [15].



Рис. 1.2. Використання клееного щита у меблевих виробках

Клеєний щит поєднує екологічність натуральної деревини та технологічність плитних матеріалів (МДФ, ДСП), тому його використання є одним з основних напрямів розвитку меблевої галузі [17].

Сучасний ринок клеєного щита характеризується поступовим зростанням попиту на продукцію з натуральної деревини, що пов'язано з екологічними трендами та підвищенням вимог споживачів до якості меблів.

До основних тенденцій розвитку ринку належать:

- збільшення виробництва щитів із цільних ламелей;
- розширення асортименту товщин і форматів;
- застосування нових клеїв з низьким вмістом формальдегіду;
- розвиток технологій автоматизованого контролю якості;
- підвищення попиту на екологічні меблі з натуральних матеріалів [18].

Для підприємств ці тенденції відкривають додаткові можливості: використання клеєного щита як ключового елемента дизайну, виробництво комбінованих меблів із поєднанням дерева, металу й каменю, а також розширення асортименту за рахунок індивідуальних замовлень.

Таким чином, ринок клеєного щита в Україні має стабільну динаміку розвитку та великі перспективи. Використання цього матеріалу дозволяє підприємствам деревообробної галузі підвищувати якість продукції, зменшувати витрати сировини та зміцнювати конкурентоспроможність на ринку меблів.

1.2. Аргументований опис виготовлення клеєних щитів із технічними характеристиками обладнання

Клеєний щит є одним із найпопулярніших та найстійкіших матеріалів у деревообробній промисловості, що поєднує красу натурального дерева та високі експлуатаційні характеристики. Його виготовлення базується на інноваційних технологіях склеювання деревини, які забезпечують високу міцність,

довговічність та екологічність. Завдяки цьому клеєний щит використовується у меблевій індустрії, виготовленні столярних виробів та оздобленні інтер'єру.

Технологічний процес виготовлення клеєних щитів включає кілька ключових етапів, кожен з яких може бути оптимізований з використанням спеціалізованого обладнання [16].

- 1 етап – вибір сировини та її підготовка. Процес виготовлення клеєних щитів починається з підбору та підготовки сировини. Вибір якісної деревини є критично важливим, оскільки від цього залежить надійність та довговічність готового виробу. Найчастіше для виготовлення клеєних щитів використовують такі породи деревини, як дуб, ясен, бук і сосна, які характеризуються високими механічними властивостями та стійкістю до зовнішніх впливів. Сировина підлягає сушці до оптимальної вологості (8-12%), що дозволяє уникнути деформацій у процесі подальшої обробки. Використовуються спеціальні сушильні камери, що контролюють вологість і температуру, забезпечуючи рівномірне висушування деревини [16].

- 2 етап – розкрій деревини. Після підготовки сировини елементи деревини розкриваються на частини потрібного розміру. Важливо, щоб розкрій був точним і акуратним, оскільки це вплине на якість з'єднання в подальшому. Основними методами розкрою є прямолінійний, кутовий та криволінійний. Прямолінійний розкрій є найпростішим і найпоширенішим методом. Цей метод використовується для отримання стандартних прямокутних або квадратних заготовок, які можна легко склеювати в щити. Кутовий розкрій дозволяє отримувати заготовки з кутами, які відрізняються від 90 градусів. Криволінійний розкрій є найскладнішим методом, використовується для виготовлення деталей з кривими лініями, які мають художнє чи дизайнерське значення [2].

- 3 етап – обробка поверхні. Після розкрою дерев'яні елементи підлягають обробці, що включає шліфування для досягнення гладкої поверхні, що є важливим для забезпечення якісного склеювання. Наявність дефектів на поверхні може знизити адгезію клею і, відповідно, міцність з'єднання. Для цього

використовуються шліфувальні станки, які допомагають підготувати поверхні для склеювання [1].

- 4 етап – нанесення клею. На підготовлені та відшліфовані поверхні наноситься клей, що є критичним етапом у виробництві клеєних щитів. Важливо, щоб клей був нанесений рівномірно і без пропусків, оскільки нерівномірне нанесення може призвести до зниження міцності з'єднання. Для цього використовуються спеціальні клейові аплікатори або валкові системи, які забезпечують контрольовану подачу клею на оброблені поверхні. Серед найбільш використовуваних клеїв - поліуретанові, епоксидні та на водній основі, кожен з яких має свої особливості та застосування [2].

- 5 етап – пресування. Склеєні елементи поміщаються під прес для забезпечення рівномірного тиску на всіх поверхнях. Це критично важливий етап, оскільки він визначає якість з'єднання. Пресування має тривати певний час, який залежить від типу використовуваного клею та умов навколишнього середовища [1].

- 6 етап – остаточна обробка. Після пресування клеєні щити підлягають остаточній обробці, яка включає шліфування, фарбування або лакування. Цей етап важливий не лише для покращення естетичного вигляду, але й для захисту поверхні від зовнішніх впливів, таких як волога, ультрафіолетове випромінювання та механічні пошкодження [1].

Фрезерні верстати відіграють важливу роль у виготовленні клеєних щитів, виконуючи декілька важливих функцій на етапах обробки вже склеєної деревини. Використання фрезерних верстатів забезпечує не лише точну обробку поверхні й країв щита, але й дозволяє надати виробам естетичний вигляд, підвищуючи їхню конкурентоспроможність на ринку [3].

Фрезерні верстати використовуються для калібрування поверхні щита, що дозволяє досягти потрібної товщини і рівності поверхні. Це важливий етап, адже рівномірна товщина щита полегшує подальшу обробку, а також впливає на зовнішній вигляд і якість виробу. Також фрезерні верстати допомагають створити різноманітні профілі на краях щита, їх застосовуються для створення

пазів та шипових з'єднань на щитах. Деякі меблеві вироби потребують додаткового декору або рельєфних елементів. Фрезерні верстати дозволяють нанести складні візерунки, канавки, декоративні елементи на поверхню клеєного щита. Це дозволяє розширити асортимент виробів і задовольнити естетичні вимоги клієнтів [19].

Після проведеного моніторингу ринку з метою пошуку якісних та продуктивних фрезерних верстатів, серед всіх можливих варіантів було обрано п'ять кращих верстатів із різними показниками. Детальніше розглянемо характеристики кожного.

1. Фрезерний верстат Holzstar TF 50E – компактний і зручний настільний фрезерний верстат по дереву має діапазон зміни швидкості від 11500 до 24000 об/хв (рис. 1.3) [5]. Регулювання висоти шпинделя доступне від 0 до 40 мм. Велика опора для столу досягається завдяки стандартним подовжувачам по обидва боки фрезерного верстата. Технічні характеристики наведено в табл.1.1 [5].



Рис. 1.3 Фрезерний верстат Holzstar TF 50E

Технічні характеристики верстату Holzstar TF 50E

Розмір та вага	
Довжина	610 мм
Ширина / глибина	360 мм
Висота	311 мм
Довжина	1030 мм
Ширина / глибина	360 мм
Висота	311 мм
Вага	21 кг
Робочий стіл	
Довжина	610 мм
Ширина	360 мм
Висота столу	311 мм
Електричні дані	
Потужність приводного двигуна	1,5 кВт
Напруга підключення	230 В
Частота мережі	50 Гц
Фрезерний шпindel	
Центр	40 мм
Швидкість (с)	11500-24000 об / мин
Діаметр фрезерного інструменту	
Діаметр інструменту макс.	50 мм

2. Фрезерний верстат MAST Holztechnik H-FV160K-3 400V – призначений для обробки плоских і фасонних заготовок з масиву деревини, ДСП, ДВП, МДФ і похідних матеріалів [6]. Виконує криволінійне різання, поперечне стругання, вибірку пазів, гребенів, шпунтів і ряд інших фрезерних операцій (рис.1.4). Технічні характеристики наведено в табл. 1.2 [6].



Рис. 1.4. Фрезерний верстат MAST Holztechnik H-FV160K-3 400V

Таблиця 1.2

Технічні характеристики верстату Holzstar TF 50E

Розмір каретки	400x250 мм
Вага	98/118 кг
Напруга	400 В
Діаметр шпинделя	30 мм
Діаметр фрези	150 мм
Хід каретки	800 мм
Розмір столу	600x380 мм
Оберти шпинделя	4000, 6000, 8000 об/хв
Транспортні габарити	740x630x480/550x340x350 мм
Отвір в столі під фрезу	200 мм
Висота зажиму фрези	80 мм

3. Фрезерний верстат Holzmann FS 160L – це універсальне обладнання для робіт по дереву, призначене для використання на невеликих і середніх виробництвах (рис 1.5) [7]. Верстат стійкий та міцний, станина виготовлена з високоякісної сталі. Робоча поверхня простора, що дозволяє обробляти габаритні заготовки, а її лита чавунна основа і висувний алюмінієвий стіл витримують значні навантаження. Технічні характеристики наведено в табл.1.3 [7].



Рис. 1.5. Фрезерний верстат Holzmann FS 160L

Таблиця 1.3

Технічні характеристики верстату Holzmann FS 160L

Напруга	400 В
Потужність двигуна S1	1500 Вт
Потужність двигуна S6	2200 Вт
Кількість швидкостей	4
Швидкість обертання шпинделя	1400-9000 об/хв
Посадковий діаметр шпинделя	30 мм
Хід шпинделя	110 мм
Нахил шпинделя	Ні
Цанговий затискач	105 мм
Розмір робочого столу	600x400 мм
Висота робочого столу	850 мм
Діаметр отвору в столі	170 мм
Діаметр виходу під аспірацію	100 мм
Максимальний діаметр фрези у столі	150 мм
Максимальний діаметр фрези над столом	170 мм
Габаритні розміри	600x1000x850 мм
Вага	108 кг
Країна бренду	Австрія

4. Фрезерний станок JET JWS-2600 - сучасний універсальний фрезерний верстат, оснащений рухомим столом (кареткою), яка може бути укомплектована розширенням з телескопічною опорою (рис. 1.6) [8]. Поєднання універсальності застосування, високої точності та великої потужності роблять цей фрезер

привабливим для столярних майстерень та невеликих виробництв. Технічні характеристики наведено в таблиці 1.4 [8].



Рис. 1.6. Фрезерний станок JET JWS-2600

Таблиця 1.4

Технічні характеристики фрезерного станку JET JWS-2600

Виробник	JET
Артикул (400 В)	10000790Г
Споживана (вихідна) потужність, кВт	2,8 (2,1)
Частота обертання шпинделя на холостому ході, об/хв	1800, 3000, 6000 і 9000
Діаметр шпинделя, мм	30
Хід шпинделя (підйом), мм	100
Кут нахилу фрези	-5°/45°
Розміри робочого столу (ДхШ), мм	1000 x 360
Діаметр отвору столу, мм	180
Максимальний діаметр фрези, мм	200
Розміри рухомого столу (ДхШ), мм	1000 x 240
Розширення рухомого столу з телескопічною опорою (ДхШ)	450 x 1050 мм (опція)
Хід рухомого столу (каретки), мм	1200
Діаметр витяжного патрубку, мм	100
Габаритні розміри (ДхШхВ), мм	1150 x 730 x 1200
Маса, кг	218

5. Фрезерний верстат Holzmann FS 300 - призначений для обробки плоских і фасонних заготовок з деревини (рис. 1.7). Якісно виконує різноманітні фрезерні

операції: криволінійний різ, поперечне стругання, вибірку пазів, шпунтів, гребенів, калівок, шліців тощо [9]. Фрезерний шпиндель з прецизійними підшипниками забезпечує максимально точний результат, а 4 швидкості фрезерування дають змогу якісно опрацювати різні види деревини. Технічні характеристики наведено в табл. 1.5 [9].



Рис. 1.7. Фрезерний верстат Holzmann FS 300

Таблиця 1.5

Технічні характеристики фрезерного станку Holzmann FS 300

Максимальний діаметр фрези у столі , мм.:	170 (90°) , 100 (45°)
Максимальний діаметр фрези над столом , мм.:	200
Діаметр шпинделя, мм.:	30
Швидкість обертання, об/хв.:	1400/3500/6000/8000
Кількість швидкостей:	4
Макс. потужність, кВт.:	3/4.2
Наявність реверсу	є
Хід шпинделя, мм.:	130
Кут нахилу шпинделя, °	0°, 45°
Цанговий затискач, мм.:	140
Діаметр отвору в столі Ø, мм.:	178
Вихід під аспірацію Ø, мм.:	100
Розміри робочого столу, мм.:	1000x350

Наявність каретки:	є
Хід каретки	-
Напруга, В.:	400
Габаритні розміри (ДхШхВ), мм.:	1000х350х890
Габарити упаковки (ДхШхВ), мм.:	900х1150х1078
Вага, кг.:	280/344
Гарантія, к-сть місяців:	12

Отже, виготовлення клеєних щитів є складним технологічним процесом, що включає кілька етапів, кожен з яких вимагає використання спеціального обладнання для забезпечення високої якості кінцевого продукту. Використання обладнання, такого як Holzstar TF 50E, JET JWS-2600, Holzmann FS 160L, Holzmann FS 300 та MAST Holztechnik H-FV160K-3 400V, дозволяє оптимізувати процес виробництва, підвищити точність розкрою та обробки, а також забезпечити надійність склеювання. Завдяки таким технологіям, виробництво клеєних щитів може відповідати сучасним вимогам ринку, задовольняючи потреби споживачів у якісних та екологічних продуктах.

РОЗДІЛ 2

ПРОВЕДЕННЯ РОЗРАХУНКІВ ТА ПРИЙНЯТТЯ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ

2.1. Проведення розрахунків за методом розставляння пріоритетів та методом експертних оцінок

Суть методу розставляння пріоритетів полягає в попарному якісному порівнянні конкуруючих об'єктів з подальшим переходом на кількісні оцінки з використанням конкретних значень показників властивостей конкурентів, а за їх відсутності - експертних оцінок. Порівняння проводять в матричній формі, що дозволяє в подальшому за відповідної математичної обробки отримати кількісні значення пріоритетів рішень конкуруючих рішень (об'єктів) по кожній властивості окремо і за комплексом показників [10].

Для прийняття рішення щодо вибору фрезерного верстату серед описаних в попередньому розділі, було обрано 5 основних характеристик по кожному з них. Перелік верстатів з їх технічними характеристиками зведено у у табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Основні характеристики обраних фрезерних верстатів

Назва верстату	Кількість обертів фрези, тис. об/год	Потужність електродвигунів, кВт/год	Максимальна ширина деталі, мм	Діаметр фрези, мм	Ціна, грн
Holzstar TF 50E	1150	1,5	360	50	14000
MAST Holztechnik H-FV160K-3 400V	600	1,5	380	150	56021
Holzmann FS 160L	400	1,5	400	150	75380
JET JWS-2600	900	2,8	240	200	158400
Holzmann FS 300	800	4,2	350	170	194930

Для якісного порівняння 5 елементів створено квадратні матриці бінарних відношень з розміром $n \times n$, тобто 5×5 . Співвідношення об'єктів виражають символами краще $>$, дорівнює $=$, гірше $<$. Таких матриць створено 5. Наступним кроком буде порівняння показників за їх пріоритетністю в оцінці об'єктів. Для цього складено квадратну матрицю $m \times m$ [10].

Щоб оцінити кожен показник у цифрах, визначають у скільки разів найкращий об'єкт відрізняється від найгіршого за формулою (2.1) [10]:

$$K_{ij} = \frac{X_{ijmax}}{X_{ijmin}}, \quad (2.1)$$

де: X_{ijmax} - максимальна оцінка i -того об'єкта по j -му показнику;

X_{ijmin} - мінімальна оцінка i -того об'єкта по j -му показнику.

За знайденим коефіцієнтом K_j визначають коефіцієнт ω_{ij} за формулою (2.2) [10]:

$$\omega_{ij} = \left(\frac{K-1}{K+1} + \sqrt{\frac{0,05}{n}} \right), \quad (2.2)$$

Потім обчислюють елементи a_{ij} матриць суміжності A_j , які заміняють матриці бінарних відношень. Члени a_{ij} матриць суміжності $A_j = \| a_{ij} \|$ визначають наступним чином (2.3-2.4) [10]:

$$\alpha_{ij} = \begin{cases} 1 + \omega_{ij} & \text{при } X_{ij} > X_{ej} \\ 1 & \text{при } X_{ij} = X_{ej} \\ 1 - \omega_{ij} & \text{при } X_{ij} < X_{ej} \end{cases}, \quad (2.3)$$

$$A_i = \begin{pmatrix} \alpha_{11}, \alpha_{12}, \dots, \alpha_{1i}, \dots, \alpha_{1n} \\ \alpha_{21}, \alpha_{22}, \dots, \alpha_{2i}, \dots, \alpha_{2n} \\ \dots \\ \alpha_{i1}, \alpha_{i2}, \dots, \alpha_{ii}, \dots, \alpha_{in} \\ \dots \\ \alpha_{n1}, \alpha_{n2}, \dots, \alpha_{ni}, \dots, \alpha_{nn} \end{pmatrix}, \quad (2.4)$$

Замість символів краще $>$, дорівнює $=$ (або 1,00), гірше $<$ ставлять відповідні кількісні значення a_{ij} .

Аналогічним чином складено матриці бінарних відношень для порівняння інших верстатів за обраними характеристиками. Також в таблицях наведено значення коефіцієнтів K і ω (табл. 2.2-2.6).

Таблиця 2.2

Матриця порівняння верстатів за кількістю обертів фрези

		X1	X1	X1	X1	X1	K	ω
		1150	600	400	900	800		
X1	1150	1,00	>	>	>	>	2,88	0,58
X2	600	<	1,00	>	<	<		
X3	400	<	<	1,00	<	<		
X4	900	<	>	>	1,00	>		
X5	800	<	>	>	<	1,00		

Верстати з високою кількістю обертів є більш ефективними для обробки матеріалів і виконання дрібних деталей, забезпечуючи при цьому якісну поверхню.

Таблиця 2.3

Матриця порівняння верстатів за потужністю електродвигунів

		X1	X1	X1	X1	X1	K	ω
		1,5	1,5	1,5	2,8	4,2		
X1	1,5	1,00	1,00	1,00	<	<	2,80	0,57
X2	1,5	1,00	1,00	1,00	<	<		
X3	1,5	1,00	1,00	1,00	<	<		
X4	2,8	>	>	>	1,00	<		
X5	4,2	>	>	>	>	1,00		

Оброблення заготовок певної якості можуть виконати верстати з мінімальною потужністю. Відповідно, для економії енергії верстат з меншою потужністю є переважним.

Таблиця 2.4

Матриця порівняння верстатів за максимальною шириною деталі

		X1	X1	X1	X1	X1	К	ω
		360	380	400	240	350		
X1	360	1,00	<	<	>	>	1,67	0,35
X2	380	>	1,00	<	>	>		
X3	400	>	>	1,00	>	>		
X4	240	<	<	<	1,00	<		
X5	350	<	<	<	>	1,00		

Чим більшою є ширина оброблюваної деталі, тим краще, це дає більшу можливість верстату розширити асортимент продукції.

Таблиця 2.5

Матриця порівняння верстатів за діаметром фрези

		X1	X1	X1	X1	X1	К	ω
		50	150	150	200	170		
X1	50	1,00	<	<	<	<	4,00	0,70
X2	150	>	1,00	1,00	<	<		
X3	150	>	1,00	1,00	<	<		
X4	200	>	>	>	1,00	>		
X5	170	>	>	>	<	1,00		

Віддається перевага верстатам з більшим діаметром фрези, що дозволить отримати високу продуктивність і швидке знімання матеріалу.

Таблиця 2.6

Матриця порівняння верстатів за ціною

		X1	X1	X1	X1	X1	К	ω
		14000	56021	75380	158400	194930		
X1	14000	1,00	<	<	<	<	13,92	1,0
X2	56021	>	1,00	<	<	<		
X3	75380	>	>	1,00	<	<		
X4	158400	>	>	>	1,00	<		
X5	194930	>	>	>	>	1,00		

Ціна є важливим показником при виборі обладнання. Тому більший пріоритет надається найдешевшому верстату.

Для визначення пріоритету верстату за кожною характеристикою P_{ij} і пріоритет показника P_j , використовують поняття потужності критерію L-го порядку $P(L)$, яке обчислюється по рядках за формулами (2.5-2.11) [10]:

Перша ітерація:

$$P_i(1) = \sum_{i=1}^n a_{ij}, \quad (2.5)$$

$$P_j(1) = \sum_{j=1}^n a_j, \quad (2.6)$$

$$P_{ij}(1) = \frac{P_{ij}(L)}{\sum_{j=1}^n P_{ij}(L)}, \quad (2.7)$$

$$P_j(2) = \sum_{j=1}^n a_j, \quad (2.8)$$

$$P_{ij}(2) = \frac{P_{ij}(L)}{\sum_{j=1}^n P_{ij}(L)}, \quad (2.9)$$

$$P_j(3) = \sum_{j=1}^n a_j, \quad (2.10)$$

$$P_{ij}(3) = \frac{P_{ij}(L)}{\sum_{j=1}^n P_{ij}(L)}, \quad (2.11)$$

Результати розрахунків занесено в табл. 2.7.

Аналогічно розраховано значення по інших даних, а результати внесені до табл. 2.8 - 2.11.

Таблиця 2.7

Матриця суміжності для порівняння верстатів за кількістю обертів фрези

		X1	X1	X1	X1	X1	К	ω	P _{i1}	P _{i1} *	P _{i2}	P _{i2} *	P _{i3}	P _{i3} *
		1150	600	400	900	800								
X1	1150	1,00	1,58	1,58	1,58	1,58	2,88	0,58	7,32	0,29	35,25	0,32	155,79	0,32
X2	600	0,42	1,00	1,58	0,42	0,42			3,84	0,15	15,84	0,14	70,02	0,14
X3	400	0,42	0,42	1,00	0,42	0,42			2,68	0,11	12,05	0,11	53,84	0,11
X4	900	0,42	1,58	1,58	1,00	1,58			6,16	0,25	27,44	0,25	119,43	0,24
X5	800	0,42	1,58	1,58	0,42	1,00			5,00	0,20	20,96	0,19	91,36	0,19
									25,00	1,00	111,54	1,00	490,44	1,00

Таблиця 2.8

Матриця суміжності для порівняння верстатів за потужністю електродвигунів

		X1	X1	X1	X1	X1	К	ω	P _{i1}	P _{i1} *	P _{i2}	P _{i2} *	P _{i3}	P _{i3} *
		1,5	1,5	1,5	2,8	4,2								
X1	1,5	1,00	1,00	1,00	0,43	0,43	2,80	0,57	3,86	0,15	17,35	0,15	78,95	0,15
X2	1,5	1,00	1,00	1,00	0,43	0,43			3,86	0,15	17,35	0,15	78,95	0,15
X3	1,5	1,00	1,00	1,00	0,43	0,43			3,86	0,15	17,35	0,15	78,95	0,15
X4	2,8	1,57	1,57	1,57	1,00	0,43			6,14	0,25	27,45	0,24	124,27	0,24
X5	4,2	1,57	1,57	1,57	1,57	1,00			7,28	0,29	35,10	0,31	159,92	0,31
									25,00	1,00	114,60	1,00	521,03	1,00

Таблиця 2.9

Матриця суміжності для порівняння верстатів за максимальною шириною деталі

		X1	X1	X1	X1	X1	К	ω	P _{i1}	P _{i1} *	P _{i2}	P _{i2} *	P _{i3}	P _{i3} *
		360	380	400	240	350								
X1	360	1,00	0,65	0,65	1,35	1,35	1,67	0,35	5,00	0,20	23,53	0,20	112,7 5	0,20
X2	380	1,35	1,00	0,65	1,35	1,35			5,70	0,23	27,28	0,23	130,5 3	0,23
X3	400	1,35	1,35	1,00	1,35	1,35			6,40	0,26	31,51	0,26	151,1 1	0,26
X4	240	0,65	0,65	0,65	1,00	0,65			3,60	0,14	17,51	0,15	84,19	0,15
X5	350	0,65	0,65	0,65	1,35	1,00			4,30	0,17	20,28	0,17	97,42	0,17
									25,00	1,00	120,1 0	1,00	576,0 0	1,00

Таблиця 2.10

Матриця суміжності для порівняння верстатів за діаметром фрези

		X1	X1	X1	X1	X1	К	ω	P _{i1}	P _{i1} *	P _{i2}	P _{i2} *	P _{i3}	P _{i3} *
		50	150	150	200	170								
X1	50	1,00	0,30	0,30	0,30	0,30	4,00	0,70	2,20	0,09	9,04	0,08	38,24	0,09
X2	150	1,70	1,00	1,00	0,30	0,30			4,30	0,17	16,60	0,16	67,81	0,15
X3	150	1,70	1,00	1,00	0,30	0,30			4,30	0,17	16,60	0,16	67,81	0,15
X4	200	1,70	1,70	1,70	1,00	1,70			7,80	0,31	37,04	0,35	154,92	0,35
X5	170	1,70	1,70	1,70	0,30	1,00			6,40	0,26	27,10	0,25	110,02	0,25
									25,00	1,00	106,38	1,00	438,80	1,00

Матриця суміжності для порівняння верстатів за ціною

		X1	X1	X1	X1	X1			P _{i1}	P _{i1} *	P _{i2}	P _{i2} *	P _{i3}	P _{i3} *
		14000	56021	75380	15840 0	194930	К	ω						
X1	14000	1,00	0,03	0,03	0,03	0,03	13,92	0,97	1,12	0,04	1,84	0,02	4,40	0,02
X2	56021	1,97	1,00	0,03	0,03	0,03			3,06	0,12	5,89	0,07	11,90	0,05
X3	75380	1,97	1,97	1,00	0,03	0,03			5,00	0,20	13,71	0,16	30,91	0,12
X4	158400	1,97	1,97	1,97	1,00	0,03			6,94	0,28	25,29	0,29	68,74	0,28
X5	194930	1,97	1,97	1,97	1,97	1,00			8,88	0,36	40,64	0,47	132,69	0,53
									25,00	1,00	87,36	1,00	248,64	1,00

Для розрахунку по методу експертної оцінки спершу отримують оцінки експертів, значення яких наведено в табл. 2.12.

Потім за формулами (2.12-2.13) обчислено середнє значення x_{ij} та середнє квадратичне відхилення S_{ij} по кожному ряду відповідей [10]:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{\sum_{j=1}^m x_{ij}}{m}, \quad (2.12)$$

$$S_{ij} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_{ij})^2}{m-1}}, \quad (2.13)$$

де: x_{ij} - оцінка j -го експерта по i -му питанню;

m - кількість експертів.

Коефіцієнт варіації V_{ij} розраховують за формулою (2.14) [10]:

$$V_{ij} = \frac{S_{ij}}{\bar{x}_{ij}} \cdot 100\%, \quad (2.14)$$

Загальний коефіцієнт погодження експертів визначають за формулами (2.15-2.16) [10]:

$$K_E = \frac{\sum_{i=1}^n K_{Eij}}{\sum_{i=1}^n m_{ij}}, \quad (2.15)$$

$$K_{Eij} = 1 - \frac{S_{ij}}{\bar{x}_{ij}}, \quad (2.16)$$

де: n - кількість характеристик в анкеті;

m_{ij} - кількість оцінок по кожній характеристиці в кожному з вирівняних рядів.

Якщо $0,5 \leq K_E \leq 1$, то думка експертів погоджена [10]. За результатами розрахунків табл. 2.12, коефіцієнт узгодженості експертів становить 0,53, отже думка експертів вважається узгодженою.

Таблиця 2.12

Результати експертної оцінки пріоритетів показників

Кількість експертів	Кількість обертів фрези, тис. об/год			Потужність електродвигунів, кВт/год			Максимальна ширина деталі, мм			Діаметр фрези, мм			Ціна, грн		
	X_i	$X_{сер}-X_i$	$(X_{сер}-X_i)^2$	X_i	$X_{сер}-X_i$	$(X_{сер}-X_i)^2$	X_i	$X_{сер}-X_i$	$(X_{сер}-X_i)^2$	X_i	$X_{сер}-X_i$	$(X_{сер}-X_i)^2$	X_i	$X_{сер}-X_i$	$(X_{сер}-X_i)^2$
1	1	1,43	2,04	1	2,14	4,59	3	-0,29	0,08	1	1,14	1,31	1	0	0
2	5	-2,57	6,61	4	-0,86	0,73	5	-2,29	5,22	2	0,14	0,02	1	0	0
3	1	1,43	2,04	2	1,14	1,31	3	-0,29	0,08	1	1,14	1,31	1	0	0
4	4	-1,57	2,47	4	-0,86	0,73	1	1,71	2,94	2	0,14	0,02	1	0	0
5	1	1,43	2,04	4	-0,86	0,73	3	-0,29	0,08	1	1,14	1,31	1	0	0
6	1	1,43	2,04	5	-1,86	3,45	3	-0,29	0,08	4	-1,86	3,45	1	0	0
7	4	-1,57	2,47	2	1,14	1,31	1	1,71	2,94	4	-1,86	3,45	1	0	0
Середнє значення балу	2,43			3,14			2,71			2,14			1,00		
Середнє квадратичне відхилення	1,81			1,46			1,38			1,35			0,00		
Коефіцієнт варіації / 100%	0,75			0,47			0,51			0,63			0,00		
	$K_{експ-1}$	0,25		$K_{експ-2}$	0,53		$K_{експ-3}$	0,49		$K_{експ-4}$	0,37		$K_{експ-5}$	1,00	
Загальний коефіцієнт погодження експертів	0,53														

Далі будують квадратну матрицю бінарних відношень, результат наведено у табл. 2.13.

Таблиця 2.13

Матриця бінарних відношень

		Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	K	ω
		2,43	3,14	2,71	2,14	1,00		
Y1	2,43	1,00	<	<	>	>	3,14	0,62
Y2	3,14	>	1,00	>	>	>		
Y3	2,71	>	<	1,00	>	>		
Y4	2,14	<	<	<	1,00	>		
Y5	1,00	<	<	<	<	1,00		

Співвідношення між об'єктами виражено математичними символами (>), (= або 1,00), (<).

Далі необхідно обчислити показник K_j - у скільки разів найкращий об'єкт відрізняється від найгіршого, використовуючи формулу (2.1).

Наступний крок - знаходження коефіцієнту ω_j , за формулою (2.2):

Суміжні члени матриць визначено за формулами (2.3-2.4).

Значеннями α_{ij} замінюють математичні символи (>), (= або 1,00), (<).

Після цього складають матрицю суміжності для порівняння показників в (табл. 2.14).

Таблиця 2.14

Матриця суміжності для порівняння показників, що характеризують фрезерні верстати

		Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	K	W	P ₁	P ₁ *	P ₂	P ₂ *
		2,43	3,14	2,71	2,14	1,00						
Y1	2,43	1,00	0,38	0,38	1,62	1,62	3,14	0,62	5,00	0,20	20,39	0,19
Y2	3,14	1,62	1,00	1,62	1,62	1,62			7,48	0,30	35,86	0,33
Y3	2,71	1,62	0,38	1,00	1,62	1,62			6,24	0,25	27,36	0,25
Y4	2,14	0,38	0,38	0,38	1,00	1,62			3,76	0,15	14,96	0,14
Y5	1,00	0,38	0,38	0,38	0,38	1,00			2,52	0,10	11,06	0,10
									25,00	1,00	109,62	1,00

Розрахунок аналогічно до попередніх таблиць за формулами (2.5 - 2.11).

За отриманими результатами формується загальна матриця для обчислення комплексного пріоритету (табл. 2.15).

Таблиця 2.15

Підсумкова матриця

Модель обладнання	Пріоритет обладнання по одиничних показниках					Пріоритет показника		Комплексний пріоритет обладнання
	1	2	3	4	5	номер	значення	
Holzstar TF 50E	0,32	0,15	0,20	0,09	0,02	3	0,19	0,17
MAST Holztechnik H-FV160K-3 400V	0,14	0,15	0,23	0,15	0,05	5	0,33	0,16
Holzmann FS 160L	0,11	0,15	0,26	0,15	0,12	4	0,25	0,17
JET JWS-2600	0,24	0,24	0,15	0,35	0,28	2	0,14	0,24
Holzmann FS 300	0,19	0,31	0,17	0,25	0,53	1	0,10	0,27

За результатами розрахунків, можна стверджувати, що найбільший пріоритет припадає на фрезерний верстат Holzmann FS 300, тому саме його буде рекомендовано для використання в поставлених цілях.

2.2. Проведення розрахунків за методом аналізу ієрархій

Метод аналізу ієрархій (MAI) - дозволяє експерту знайти такий варіант (альтернативу), який найкраще узгоджується із розумінням задачі, яку треба вирішити. Для цього використано дані табл. 2.1, які переформатовані у вигляді ієрархії [10].

Для вирішення завдання необхідні наступні дані:

Мета: вибір кращого фрезерного верстату.

Кількість альтернатив - 5.

Кількість критеріїв - 5.

Позначено альтернативи та критерії скороченими назвами (табл.2.16).

Далі необхідно заповнити матриці парних порівнянь (МПП). Для їх заповнення використовують шкалу Сааті, яка представлена значеннями від 1 до 9. Цей процес ґрунтується на власному аналізі того, як властивості впливають на

реалізацію конкретної мети. При використанні шкали відносин порівняння здійснюється шляхом ділення числових значень параметрів порівнюваних об'єктів [10].

Таблиця 2.16

Ієрархічна структура вибору фрезерного верстату

№	Критерії	№	Альтернативи
Кр1	Оберти фрези	A1	Holzstar TF 50E
Кр2	Потужність електродвигунів	A2	MAST Holztechnik H-FV160K-3 400V
Кр3	Ширина деталі	A3	Holzmann FS 160L
Кр4	Діаметр фрези	A4	JET JWS-2600
Кр5	Ціна	A5	Holzmann FS 300

Для кожної матриці розраховують середнє геометричне G_i за формулою (2.17) та локальний пріоритет ЛПр (2.18) [10].

$$G_i(a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{is}) = (a_{i1} \cdot a_{i2} \cdot \dots \cdot a_{is})^{\frac{1}{s}}, \quad (2.17)$$

де: i - номер рядка матриці;

s - кількість елементів в i -му рядку матриці;

$$a_{i1} = w_1/w_1; a_{i2} = w_2/w_2; \dots; a_{is} = w_s/w_s$$

$$ЛПр_1 = \frac{[(w_1/w_1) \cdot (w_2/w_2) \cdot \dots \cdot (w_n/w_n)]^{\frac{1}{s}}}{(G_1 + G_2 + \dots + G_n)}, \quad (2.18)$$

Щоб перевірити узгодженість експертних оцінок використовують наступні характеристики - індекс узгодженості CI та відношення узгодженості CR , які обраховуються за формулами 2.18 та 2.19 відповідно [10].

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}, \quad (2.18)$$

$$CR = \frac{CI}{P_n}, \quad (2.19)$$

де: n - розмір матриці;

P_n - індекс узгодженості для позитивної зворотної симетричної матриці випадкових оцінок $n \times n$ [10];

Для $N=5 \Rightarrow P_n = 1,12$.

λ_{max} - максимальне власне число матриці парних порівнянь або L_{am} , яке розраховують за формулою 2.20 [10]:

$$\lambda_{max} = (\sum a_{1i}) * ЛПр1 + (\sum a_{2i}) * ЛПр2 + \dots + (\sum a_{ni}) * ЛПрn \quad (2.20)$$

де $\sum a_{1i}$ - сума значень першого стовпця МПП;

ЛПр1 - значення локального пріоритету першого рядка МПП.

При $CR < 0,1 \dots 0,2$ проведені розрахунки вважаються задовільними.

Побудовані матриці критеріїв відносно мети та альтернатив відносно критеріїв наведено в табл. 2.18-2.23.

Таблиця 2.17

Матриця МПП критеріїв відносно мети

	Назва	Кр1	Кр2	Кр3	Кр4	Кр5	G	ЛПр1
Кр1	Оберти фрези	1,00	0,33	0,20	0,14	0,11	0,254	0,033
Кр2	Потужність електродвигунів	3	1,00	0,20	0,33	0,14	0,491	0,064
Кр3	Ширина деталі	5	5	1,00	3	0,33	1,904	0,249
Кр4	Діаметр фрези	7	3	0,33	1,00	0,20	1,070	0,140
Кр5	Ціна	9	7	3	5	1,00	3,936	0,514
Сума		25,000	16,333	4,733	9,476	1,787	7,655	1,00

Показники $\lambda_{am}=5,298$; $CI=0,074$; $CR=0,067$

Таблиця 2.18

Матриця МПП альтернатив по відношенню до критерію оберти фрези

	Назва	A1	A2	A3	A4	A5	G	ЛПр2
A1	Holzstar TF 50E	1	0,50	0,50	0,33	0,33	0,488	0,088
A2	MAST Holztechnik H-FV160K-3 400V	2	1	2	0,33	0,50	0,922	0,165
A3	Holzmann FS 160L	2	0,50	1	0,50	1	0,871	0,156
A4	JET JWS-2600	3	3	2	1	2	2,048	0,367
A5	Holzmann FS 300	3	2	1	0,50	1	1,246	0,223
Сума		11,000	7,000	6,500	2,667	4,833	5,574	1,00

Показники $\lambda_{am}=5,196$; $CI=0,049$; $CR=0,044$

Таблиця 2.19

**Матриця МПП альтернатив по відношенню до критерію потужність
електродвигунів**

	Назва	A1	A2	A3	A4	A5	G	ЛПр3
A1	Holzstar TF 50E	1	0,50	0,50	0,33	0,20	0,441	0,077
A2	MAST Holztechnik H-FV160K-3 400V	2	1	1	0,33	0,33	0,740	0,130
A3	Holzmann FS 160L	2	1	1	2	0,25	1,000	0,175
A4	JET JWS-2600	3	3	0,50	1	2	1,552	0,272
A5	Holzmann FS 300	5	3	4	0,50	1	1,974	0,346
Сума		13,000	8,500	7,000	4,167	3,783	5,707	1,00

Показники $\lambda_{am}=5,775$; $CI=0,194$; $CR=0,173$

Таблиця 2.20

Матриця МПП альтернатив по відношенню до критерію ширина деталі

	Назва	A1	A2	A3	A4	A5	G	ЛПр4
A1	Holzstar TF 50E	1	1,00	0,33	0,50	0,33	0,561	0,099
A2	MAST Holztechnik H-FV160K-3 400V	1	1	0,33	0,50	0,33	0,561	0,099
A3	Holzmann FS 160L	3	3	1	0,25	1	1,176	0,208
A4	JET JWS-2600	2	2	4	1	2	2,000	0,354
A5	Holzmann FS 300	3	3	1	0,50	1	1,351	0,239
Сума		10,000	10,000	6,667	2,750	4,667	5,649	1,00

Показники $\lambda_{am}=5,464$; $CI=0,116$; $CR=0,104$

Таблиця 2.21

Матриця МПП альтернатив по відношенню до критерію діаметр фрези

	Назва	A1	A2	A3	A4	A5	G	ЛПр5
A1	Holzstar TF 50E	1	0,50	0,50	0,25	0,33	0,461	0,081
A2	MAST Holztechnik H-FV160K-3 400V	2	1	0,50	3	0,25	0,944	0,165
A3	Holzmann FS 160L	2	2	1	1,20	1	1,369	0,239
A4	JET JWS-2600	4	0,33	2	1	0,50	1,059	0,185
A5	Holzmann FS 300	3	4	1	2	1	1,888	0,330
Сума		12,000	7,833	5,000	7,450	3,083	5,721	1,00

Показники $\lambda_{am}=5,853$; $CI=0,213$; $CR=0,190$

Матриця МПП альтернатив по відношенню до критерію ціна

	Назва	A1	A2	A3	A4	A5	G	ЛПр6
A1	Holzstar TF 50E	1	0,50	0,33	0,25	0,20	0,384	0,065
A2	MAST Holztechnik H-FV160K-3 400V	2	1	0,50	0,33	0,25	0,608	0,103
A3	Holzmann FS 160L	3	2	1	1	2	1,644	0,277
A4	JET JWS-2600	4	3	1	1	0,33	1,320	0,223
A5	Holzmann FS 300	5	4	0,50	3	1	1,974	0,333
Сума		15,000	10,500	3,333	5,583	3,783	5,930	1,00

Показники $\lambda_{\max}=5,474$; $CI=0,119$; $CR=0,106$

Матриця пріоритетів критеріїв відносно мети та альтернатив відносно кожного з критеріїв наведена в табл. 2.23.

Таблиця 2.23

Матриця пріоритетів критеріїв відносно мети та альтернатив відносно кожного з критеріїв

	Назва	ПрКр	A1 Holzstar TF 50E	A2 MAST Holztechnik H-FV160K-3 400V	A3 Holzmann FS 160L	A4 JET JWS- 2600	A5 Holzmann FS 300
Кр1	Оберти фрези	0,033	0,088	0,165	0,156	0,367	0,223
Кр2	Потужність електродвигунів	0,064	0,077	0,130	0,175	0,272	0,346
Кр3	Ширина деталі	0,249	0,099	0,099	0,208	0,354	0,239
Кр4	Діаметр фрези	0,140	0,081	0,165	0,239	0,185	0,330
Кр5	Ціна	0,514	0,065	0,103	0,277	0,223	0,333

Рішення задачі багатокритеріального ранжування представляють у вигляді вектору глобального пріоритету (ГлПр) альтернатив по відношенню до мети. Обчислюють цей вектор (ГлПр) наступним чином: кожен компонент цього вектору є скалярним добутком вектору локальних пріоритетів (ЛПр) критеріїв на вектор, складений з локальних пріоритетів альтернативи поданим критеріям. Найбільша величина вектору ГлПр відповідає пріоритетній альтернативі. Результати розрахунку наведено в табл. 2.24.

Глобальні пріоритети альтернатив

	Назва	ГлПр
1	Holzstar TF 50E	0,077
2	MAST Holztechnik H-FV160K-3 400V	0,114
3	Holzmann FS 160L	0,244
4	JET JWS-2600	0,258
5	Holzmann FS 300	0,306

З таблиці видно, що найбільший пріоритет має верстат Holzmann FS 300 і є найкращим для досягнення поставленої мети.

2.3. Прийняття проектного рішення

Порівняння альтернатив за допомогою трьох різних методів - методу розставляння пріоритетів, методу експертних оцінок і методу аналізу ієрархій (АНР) - дозволило всебічно оцінити різні аспекти роботи фрезерних верстатів та визначити оптимальне обладнання для досягнення проектної мети. Кожен із методів має свої унікальні переваги, що дозволяє отримати комплексний результат і мінімізувати суб'єктивні впливи на процес прийняття рішень.

За результатами розрахунків, було визначено який фрезерний верстат найбільш оптимальний для нашої мети. Зокрема, за методом експертних оцінок найбільший пріоритет припадає на фрезерний верстат Holzmann FS 300. У той час за методом ієрархій найбільший глобальний пріоритет також припадає на верстат Holzmann FS 300. Оскільки даний верстат отримав високі оцінки за різними критеріями і методами, доцільно провести його практичні випробування у реальних умовах виробництва. Це дозволить не лише перевірити відповідність верстату заявленим технічним параметрам, а й оцінити його ефективність у виконанні конкретних виробничих завдань. Проведення таких тестів допоможе остаточно визначити, чи цей варіант є оптимальним з урахуванням всіх

експлуатаційних та економічних факторів. JET JWS-2600 та Holzmann FS 160L є наступними за пріоритетом альтернативами. Їх можна розглядати як резервні варіанти або використовувати у випадку, якщо Holzmann FS 300 недоступний.

Таким чином, поєднання аналітичних методів і практичних випробувань дає змогу обґрунтовано вибрати найефективніше обладнання для реалізації проектних завдань. Такий підхід забезпечує об'єктивність і знижує ризики при прийнятті остаточного рішення, дозволяючи оптимально поєднати технічні та економічні переваги обраного фрезерного верстата.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Методика проведення досліду

Для оцінки фізико-механічних властивостей клеєного деревинного щита були проведені експериментальні випробування на згин. Метою досліду є визначення міцності матеріалу при дії згинальних навантажень, що є характерним для більшості меблевих конструкцій. Дослідження дають змогу оцінити придатність щита з різних порід деревини до використання у виробках, які зазнають механічних навантажень під час експлуатації [35].

Для випробувань було виготовлено та відібрано зразки з трьох порід деревини - дуба, ясена та береста (рис. 3.1). Від кожної породи підготовлено по три зразки. Випробування проводилися за допомогою розривної машини Р-5, що забезпечує точну фіксацію навантаження та прогину матеріалу. Після завершення експерименту виконано необхідні розрахунки для визначення показників міцності при згині. Метод полягає у спостереженні за зміною форми зразка під дією прикладеного навантаження до моменту руйнування.



Рис. 3.1. Зразки щита з дуба, бересту та ясена

Перед проведенням механічних випробувань на згин було визначено вологість зразків деревини. Вимірювання здійснювалося за допомогою електронного вологоміра **FELDER Profi SD13**, який дозволяє оперативно визначати вміст вологи у деревині без порушення її структури (рис. 3.2).

Показник вологості коливався від 6,5% до 9,8%. Контроль вологості є необхідним, оскільки цей фактор суттєво впливає на міцнісні характеристики деревини та достовірність отриманих результатів.



Рис. 3.2. Вимірювання вологості досліджуваних зразків деревини

Для випробувань на згин зразок деревини встановлюється на спеціальні опори, відстань між якими становить 240 мм. (рис. 3.3). Навантаження прикладається посередині зразка - на 120 мм від кожної опори (рис. 3.4). Навантаження буде прикладатись до зразка до тих пір, поки на діаграмі не буде видно, що воно стабілізувалося або почало знижуватися.



Рис. 3.3. Закріплення зразків для випробування на згин

Після проведення випробувань отримують діаграми навантаження, які будуть слугувати основою для подальших розрахунків (рис. 3.5).



Рис. 3.4. Вплив навантаження на зразок дуба

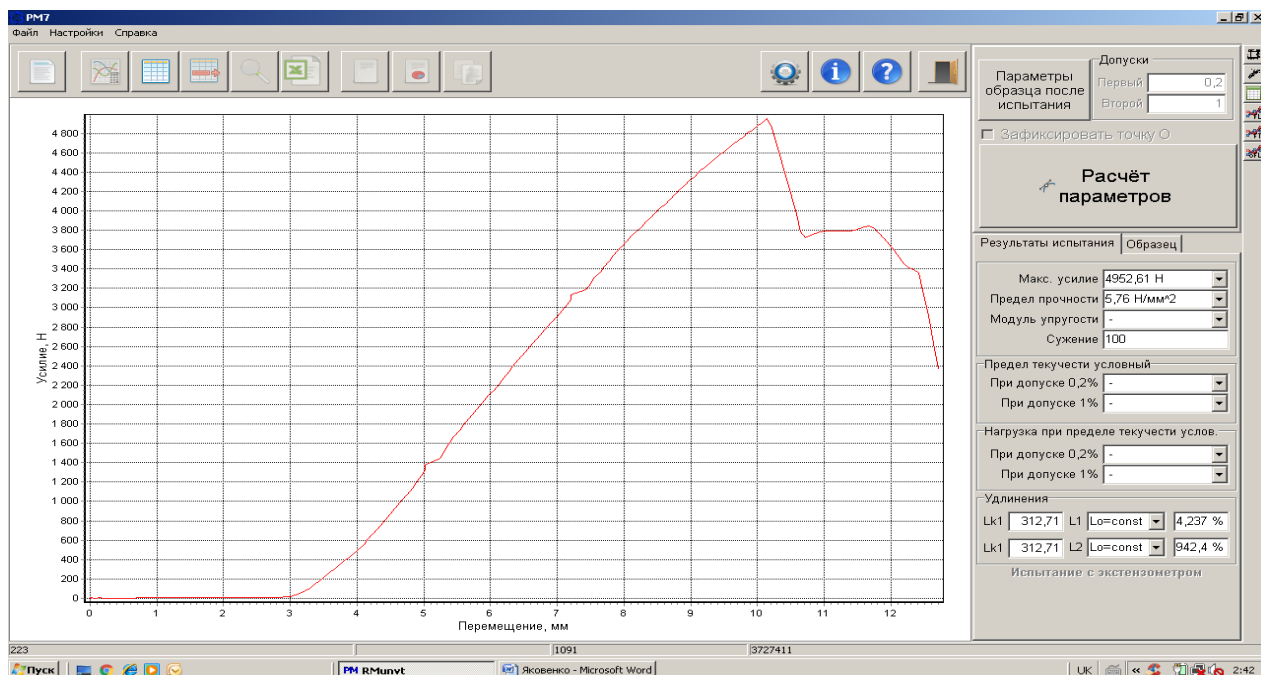


Рис. 3.5. Діаграма навантаження на зразок дуба №1

Усі три зразки дуба зруйнувалися у зоні максимального навантаження, при цьому тріщини пройшли переважно вздовж волокон деревини, що є типовим для дуба. За результатами випробування, зразок №3 показав найбільшу міцність на згин серед усіх досліджуваних зразків. Максимальне навантаження склало 7168,86 Н, а межа міцності - 8,34 Н/мм². Це свідчить, що незначне підвищення вологості в межах 7-8 % не призвело до зниження показників, а навпаки - зразок з такою вологістю виявив вищу опірність руйнуванню (рис. 3.6).



Рис. 3.6. Деформація зразків дуба під час згину

Дослідження на згин зразків бересту та ясена проводились за аналогічною процедурою (рис. 3.7. - рис. 3.12).



Рис. 3.7. Вплив навантаження на зразок бересту

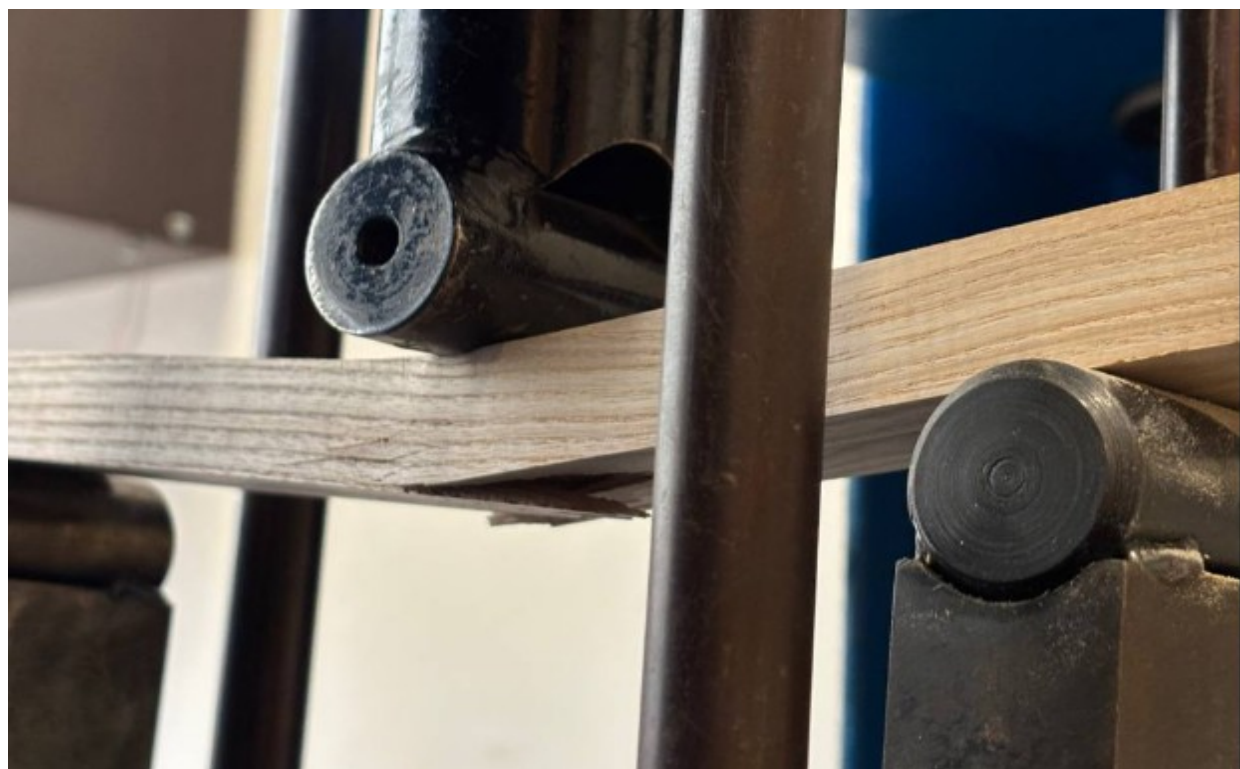


Рис. 3.8. Вплив навантаження на зразок ясена



Рис. 3.9. Деформація зразків бересту під час згину



Рис. 3.10. Деформація зразків ясена під час згину

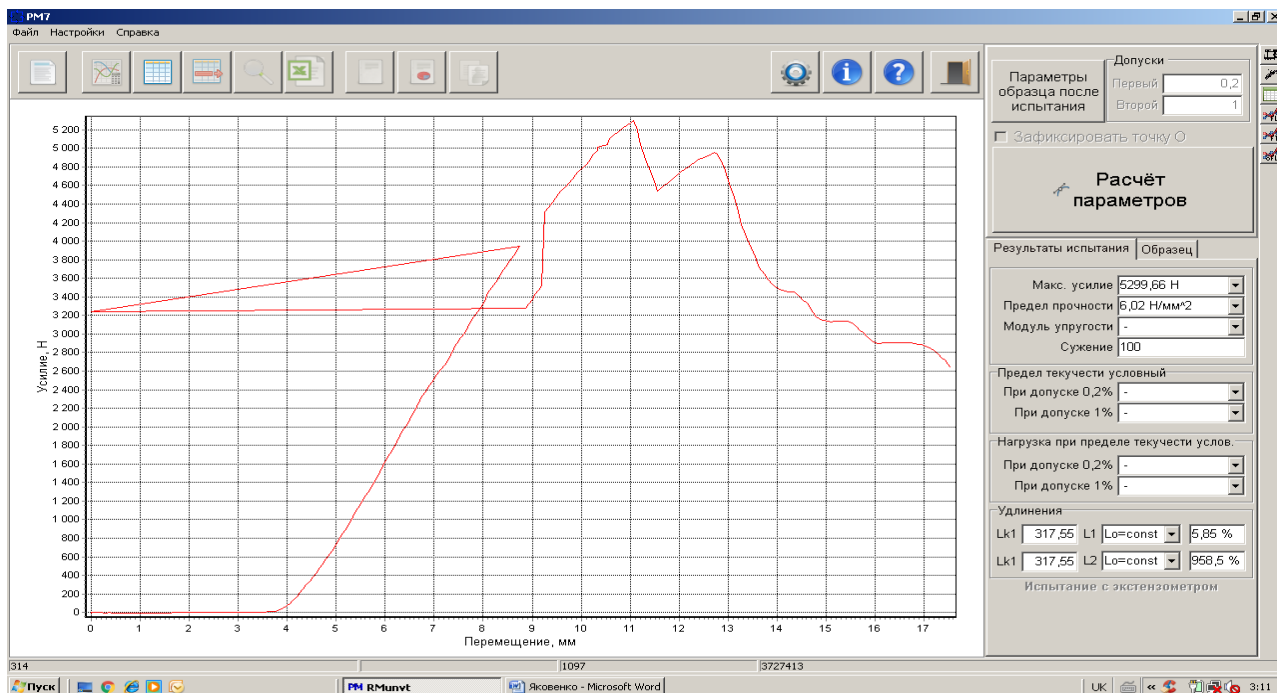


Рис. 3.11. Діаграма навантаження на зразок бересту №1

Для зразка №1 з деревини береста (вологість - 8,5%) отримано максимальне навантаження 5299,66 Н і межу міцності 6,02 Н/мм². Цей показник є середнім серед інших зразків береста, що свідчить про стабільну міцність матеріалу за середнього рівня вологості. Отже, деревина береста показала помірну опірність згину, характерну для цієї породи.

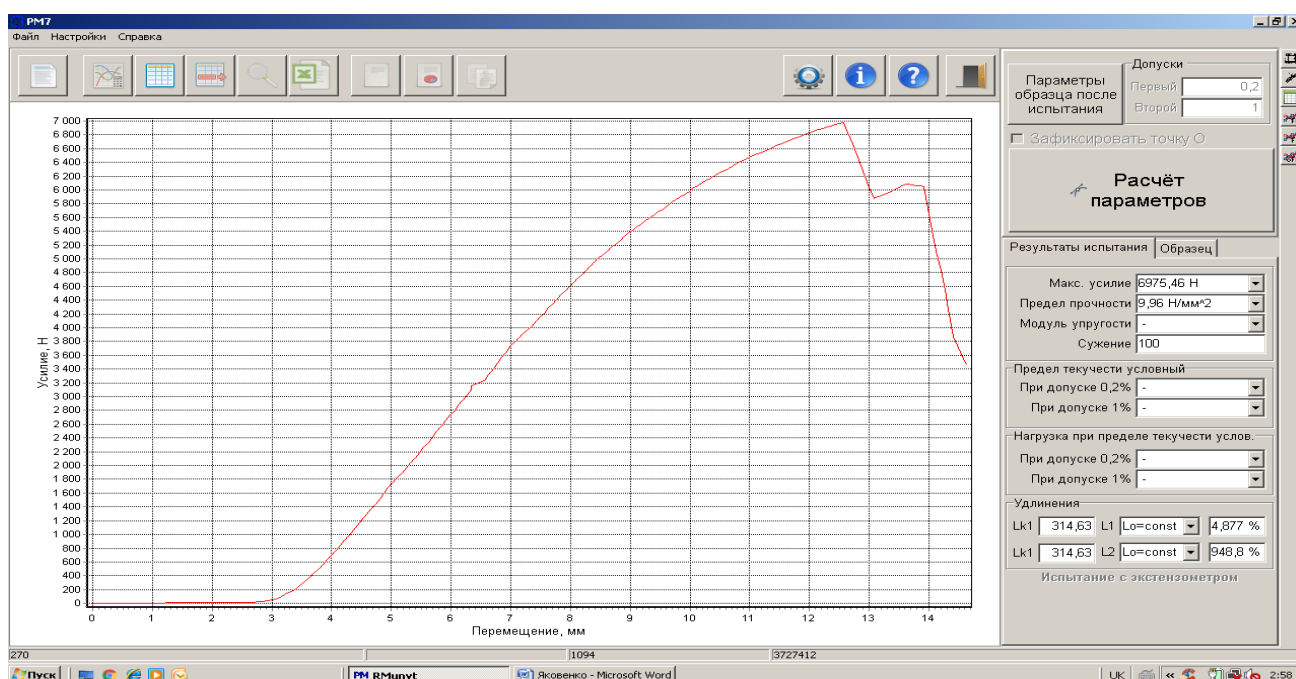


Рис. 3.12. Діаграма навантаження на зразок ясеня №1

Під час випробування зразка №1 з деревини ясена (вологість - 8,2%) зафіксовано найбільше навантаження серед усіх ясеневих зразків. Максимальне зусилля становило 6975,46 Н, а межа міцності - 9,96 Н/мм². Отже, саме цей зразок продемонстрував найвищу міцність на згин, що може бути пов'язано з нижчим рівнем вологості, який забезпечив кращу жорсткість і опір деформаціям.

3.2. Визначення модуля пружності експериментальних зразків на згин

Перед початком розрахунків потрібно перевірити розміри зразків. Після чого розраховуємо модуль пружності при статичному згині. Модуль пружності при статичному згині визначається за формулою 3.1 [20].

$$E_w = \frac{3P \times l^3}{64bh^3f} \quad (3.1)$$

де: P - навантаження, що діє на зразки, Н;

l - відстань між центрами опор, мм;

b, h - ширина і висота зразків, мм;

f - прогин у межах навантаження, мм.

Прогин у межах навантаження (f) визначається з діаграми «Навантаження – Прогин» як верхня межа лінійної (пружної) ділянки, де крива ще відповідає закону Гука (відхилення від прямої < 5 %). Його не можна брати на піку графіка, оскільки там починається пластична деформація та руйнування - модуль пружності втрачає фізичний сенс.

Приклад розрахунку модуля пружності для зразку дуб №1:

$$E_w = \frac{3P \times l^3}{64bh^3f} = \frac{3 \times 4952,61 \times 240^3}{64 \times 43 \times 20^3 \times 3} = 3109,78$$

Розрахунки інших зразків наведено у таблиці 3.1.

Зведена таблиця розрахунків

Дереви-на	№ зразку	Вологість, %	Ширина	Висота	Відстань між центрами опор	Навантаження	Прогин у межах навантаження	Модуль пружності
Дуб	1	6,6	43	20	240	4952,61	3	3109,78
	2	6,5	43	20	240	4779,88	3	3001,32
	3	7,9	43	20	240	7168,86	3	4501,38
Берест	1	8,5	44	20	240	5299,66	3	3252,06
	2	7,5	44	20	240	4225,98	3	2593,22
	3	9,8	44	20	240	4647,01	3	2851,57
Ясен	1	8,2	35	20	240	6975,46	3	5381,07
	2	8,3	35	20	240	4064,08	2,5	3135,15
	3	7,6	35	20	240	4990,58	3	3849,88

Отриманий модуль пружності перераховується на вологість (15%) в ГПа за формулою 3.2 [21].

$$E_{12} = \frac{E_w}{K_{12}^w} \quad (3.2)$$

де: K_{12}^w - це коефіцієнт перерахунку, що визначається за таблицею 3.2.

Приклад розрахунку для зразку дуб №1:

$$E_{12} = \frac{3109,78}{0,970} = 3205,96$$

Інші розрахунки наведено у таблиці 3.3.

Коефіцієнти перерахунку

Вол. W, %	Коефіцієнт перерахунку K_{12}^w за щільності ρ_{12} , кг/м ³										
	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5	1,095	1,090	1,080	1,075	1,069	1,061	1,055	1,049	1,044	1,037	1,032
6	1,085	1,080	1,072	1,066	1,061	1,055	1,049	1,044	1,039	1,034	1,029
7	1,075	1,070	1,065	1,057	1,052	1,048	1,042	1,036	1,033	1,029	1,025
8	1,060	1,058	1,055	1,050	1,044	1,039	1,035	1,031	1,027	1,024	1,020
9	1,047	1,046	1,040	1,038	1,035	1,030	1,027	1,025	1,021	1,019	1,015
10	1,034	1,030	1,028	1,025	1,022	1,020	1,018	1,016	1,014	1,012	1,010
11	1,017	1,015	1,014	1,013	1,012	1,011	1,010	1,009	1,007	1,005	1,004
12	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
13	0,985	0,986	0,987	0,988	0,989	0,990	0,991	0,991	0,992	0,993	0,994

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
14	0,965	0,968	0,971	0,974	0,977	0,979	0,981	0,982	0,983	0,985	0,987
15	0,948	0,950	0,955	0,959	0,963	0,967	0,970	0,973	0,975	0,978	0,981
16	0,930	0,935	0,940	0,945	0,950	0,955	0,960	0,963	0,967	0,971	0,975
17	0,910	0,918	0,925	0,931	0,937	0,945	0,950	0,954	0,960	0,964	0,969
18	0,895	0,900	0,910	0,916	0,925	0,932	0,939	0,945	0,951	0,957	0,962
19	0,875	0,885	0,894	0,901	0,912	0,920	0,927	0,935	0,942	0,950	0,955
20	0,858	0,870	0,880	0,890	0,900	0,910	0,917	0,925	0,934	0,942	0,950
21	0,840	0,850	0,865	0,876	0,889	0,899	0,907	0,915	0,926	0,934	0,943
22	0,825	0,840	0,851	0,864	0,877	0,890	0,900	0,909	0,918	0,928	0,937
23	0,810	0,823	0,838	0,851	0,867	0,880	0,891	0,901	0,912	0,922	0,932
24	0,794	0,810	0,825	0,840	0,856	0,870	0,881	0,892	0,904	0,915	0,926
25	0,780	0,796	0,812	0,829	0,846	0,861	0,872	0,887	0,900	0,911	0,921
26	0,765	0,782	0,800	0,816	0,836	0,851	0,865	0,880	0,892	0,904	0,915
27	0,750	0,770	0,789	0,806	0,826	0,842	0,857	0,872	0,887	0,900	0,911
28	0,740	0,760	0,777	0,798	0,817	0,835	0,851	0,866	0,881	0,895	0,908
29	0,730	0,750	0,767	0,786	0,809	0,827	0,844	0,861	0,877	0,891	0,904
≥30	0,715	0,735	0,756	0,776	0,800	0,820	0,839	0,854	0,871	0,885	0,900

Таблиця 3.3

Розрахункові дані

Деревина	№ зразку	Модуль пружності	Щільність	Коефіцієнт перерахунку	Розрахунок
Дуб	1	3109,78	700	0,970	3205,96
	2	3001,32	700	0,970	3094,14
	3	4501,38	700	0,970	4640,60
Берест	1	3252,06	600	0,963	3377,01
	2	2593,22	600	0,963	2692,85
	3	2851,57	600	0,963	2961,14
Ясен	1	5381,07	700	0,970	5547,49
	2	3135,15	700	0,970	3232,11
	3	3849,88	700	0,970	3968,94

У результаті розрахунків визначено модулі пружності трьох порід деревини- дуба, береста та ясеня. Отримані значення були перераховані на стандартну вологість 15 %.

Після перерахунку встановлено, що ясен має найвищі значення модуля пружності - від 3232 до 5547 МПа, що свідчить про його високу жорсткість і здатність чинити опір деформаціям.

Дуб займає середнє положення - модуль пружності змінюється в межах 3094 - 4641 МПа, що вказує на добрі пружні властивості цієї породи.

Берест характеризується найменшою пружністю - значення модуля пружності становлять 2693-2961 МПа, тобто деревина є більш податливою до вигину.

Загалом результати підтверджують залежність між щільністю деревини та її модулем пружності: чим більша щільність, тим вища жорсткість матеріалу. Таким чином, ясен виявився найбільш пружним, дуб - середнім за характеристиками, а берест - найменш пружним серед досліджених порід.

РОЗДІЛ 4

ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ КЛЕСНОГО ЩИТА

4.1. Вдосконалення технології виготовлення клеєних щитів

Результати аналітичних, розрахункових та експериментальних досліджень дозволили визначити основні напрями вдосконалення технології виготовлення клеєних щитів. Одним із ключових чинників підвищення ефективності є використання високоточного обладнання, що забезпечує стабільність геометричних параметрів ламелей та їх якісну підготовку до склеювання.

На основі техніко-економічного аналізу найоптимальнішим для операцій фугування і калібрування заготовок визначено фрезерний верстат Holzmann FS 300. Ця модель відзначається високою точністю обробки, енергоефективністю та надійністю у тривалому використанні. Конструкція верстата дозволяє виконувати прецизійне фрезерування поверхонь з мінімальним відхиленням по товщині, що є вирішальним для досягнення щільного стикування ламелей у клеєному щиті.

Застосування Holzmann FS 300 сприяє зменшенню кількості відходів деревини, рівномірному розподілу навантаження під час склеювання та зниженню витрат клею. Завдяки високій швидкості подачі й точності налаштувань забезпечується стабільність розмірів заготовок, а отже - підвищується міцність готового щита та знижується ризик утворення внутрішніх напружень у клеєному шарі.

Подальше вдосконалення технології виготовлення клеєних щитів доцільно здійснювати шляхом автоматизації процесів контролю параметрів деревини. Зокрема, впровадження систем безконтактного вимірювання вологості та щільності у режимі реального часу дозволить запобігати склеюванню сирої або пересушеної деревини. Це особливо важливо, адже різниця у вологості ламелей призводить до деформацій готового виробу в процесі експлуатації [22].

Також слід удосконалити етапи пресування та склеювання, застосовуючи регульовані режими тиску й температури, адаптовані до породи деревини. Це забезпечує рівномірне полімеризування клею по всій площі з'єднання й підвищує адгезійну міцність стику. Доцільно використовувати пресове обладнання з сенсорним моніторингом параметрів процесу, що дозволяє оперативно виявляти відхилення та мінімізувати ризик утворення дефектів [23].

У межах фінішної обробки варто впровадити системи автоматичного шліфування з пиловидаленням, які не лише покращують чистоту поверхні, а й створюють стабільні умови для подальшого лакофарбового покриття. Завдяки цьому кінцевий виріб матиме більш естетичний вигляд, рівномірну текстуру та підвищену стійкість до вологи й механічних впливів [24].

Загалом, модернізація технологічного процесу із застосуванням високоточного обладнання Holzmann FS 300, автоматизацією контролю та підвищенням стабільності умов склеювання дозволяє не лише покращити якість клеєних щитів, а й зменшити енергозатрати, трудомісткість і втрати матеріалу. Це створює підґрунтя для ефективного, надійного та конкурентоспроможного виробництва сучасних дерев'яних конструкцій.

4.2. Оптимізація вибору матеріалів для виготовлення щитів та вдосконалення контролю якості

На підставі експериментальних досліджень міцності та модуля пружності трьох порід деревини - дуба, береста та ясеня - визначено напрям оптимізації вибору матеріалів для виготовлення клеєних щитів. Кожна з порід характеризується власними перевагами й сферою раціонального застосування, що дозволяє сформувавши оптимальні конструкційні рішення.

Результати випробувань показали, що ясен має найвищі показники жорсткості (модуль пружності після перерахунку на вологість 15 %, 3232-5547 МПа) та міцності при згині (до 9,96 Н/мм²). Завдяки цьому він є найбільш придатним матеріалом для виготовлення клеєних щитів, які зазнають

інтенсивних механічних навантажень - наприклад, для меблевих деталей, сходових елементів або столярних конструкцій.

Дуб, який продемонстрував стабільні показники міцності (у межах 3094-4641 МПа), доцільно використовувати у виробках, де важливим є не лише опір деформаціям, а й естетичний вигляд - зокрема, у декоративних або облицювальних щитах. Його текстура й колір надають виробам високої художньої цінності, поєднуючись із достатнім запасом міцності.

Берест, із найнижчими значеннями модуля пружності (2693-2961 МПа), може бути використаний у багатошарових або комбінованих конструкціях, де несуче навантаження розподіляється між шарами. Завдяки нижчій вартості ця порода є економічно доцільною для внутрішніх шарів або виробів допоміжного призначення.

Оптимальним техніко-економічним рішенням є комбіноване використання ясеня та дуба для зовнішніх шарів щита, із можливим застосуванням береста у внутрішніх шарах. Такий підхід забезпечує необхідну міцність, стабільність геометрії та раціональне використання матеріалів.

Для підвищення стабільності якості доцільно вдосконалити систему контролю властивостей деревини. Рекомендується впровадити поетапний контроль - від вхідного сортування за щільністю та вологістю до автоматизованого сканування поверхонь на наявність мікротріщин і сучків. Це дозволить відбирати матеріал з однорідною структурою, що забезпечує рівномірне навантаження у клеєному виробі [25].

Не менш важливим є контроль якості клеєного з'єднання, оскільки саме від його надійності залежить міцність і довговічність готового виробу. Регулярне проведення випробувань контрольних зразків на міцність при згині, перевірка рівномірності та стабільності тиску в пресі, а також постійний моніторинг температурних режимів забезпечують своєчасне виявлення навіть незначних відхилень у технологічному процесі. Додатково варто проводити оцінку вологості заготовок перед склеюванням та контролювати рівномірність

нанесення клею, адже ці фактори істотно впливають на якість з'єднання й запобігають утворенню внутрішніх дефектів у щиті [26].

Впровадження таких заходів сприятиме формуванню ефективної, комплексної системи контролю якості, що охоплює всі етапи виробництва – від ретельного добору сировини й підготовки пиломатеріалів до фінального оцінювання властивостей готового виробу. Завдяки цьому підвищується надійність і довговічність клеєних щитів, зменшується рівень браку, оптимізуються виробничі витрати та забезпечується стабільність продукції. У результаті готові вироби повністю відповідають сучасним стандартам деревообробної промисловості [36-50], вимогам споживачів і можуть успішно конкурувати на ринку як за якістю, так і за експлуатаційними характеристиками.

ВИСНОВКИ

Вдосконалення технології виготовлення клеєних щитів є важливим напрямом розвитку сучасної деревообробної промисловості, оскільки забезпечує підвищення якості, стабільності та довговічності виробів, а також сприяє раціональному використанню деревинних ресурсів. Зростання вимог споживачів до екологічності, точності геометричних параметрів і декоративних властивостей продукції зумовлює необхідність упровадження сучасного високоточного обладнання, автоматизованих систем контролю якості та науково обґрунтованого підбору матеріалів.

У кваліфікаційній роботі було проведено всебічний аналіз технологічного процесу виготовлення клеєних щитів, сучасного стану ринку та тенденцій його розвитку. Визначено основні етапи виробництва, що впливають на якість готової продукції, зокрема операції фугування, калібрування та склеювання ламелей. Особливу увагу приділено технічним характеристикам обладнання, що використовується у деревообробних цехах, і встановлено, що вибір верстата є одним із ключових факторів ефективності всього виробничого процесу.

У результаті проведених розрахунків за методами розставляння пріоритетів, експертних оцінок та аналізу ієрархій (АНР) визначено найбільш оптимальне обладнання для операцій попередньої обробки деревини - фрезерний верстат Holzmann FS 300. Даний верстат поєднує високу точність, надійність, енергоефективність і забезпечує стабільні розміри заготовок, що безпосередньо впливає на якість склеювання. Застосування такого обладнання дозволяє зменшити кількість відходів, оптимізувати витрати клею та підвищити продуктивність праці.

Проведено експериментальні дослідження фізико-механічних властивостей трьох порід деревини - дуба, береста та ясеня, які є найбільш поширеними матеріалами для виготовлення клеєних щитів. За результатами випробувань встановлено, що ясен має найвищі показники жорсткості та міцності на згин (модуль пружності після перерахунку - 3232-5547 МПа, межа

міцності до 9,96 Н/мм²), що робить його оптимальним матеріалом для елементів, які зазнають значних навантажень. Дуб має середні показники пружності (3094-4641 МПа) та відзначається декоративними властивостями, що дозволяє використовувати його у виробках з високими естетичними вимогами. Берест, який показав нижчі значення пружності (2693-2961 МПа), може бути доцільно використаний як внутрішній шар у багатошарових щитах для зниження собівартості без втрати основних характеристик виробу.

На основі аналізу отриманих результатів сформульовано рекомендації щодо оптимізації вибору матеріалів і вдосконалення технологічного процесу виготовлення клеєних щитів. Запропоновано впровадити автоматизовані системи контролю вологості, сортування за щільністю, візуального сканування на дефекти та моніторингу режимів пресування. Це дозволить забезпечити стабільність геометричних параметрів, рівномірність склеювання і зниження відсотка браку.

Клеєні щити є перспективним конструкційним матеріалом, що поєднує високу міцність, стабільність форми, декоративність та екологічність. Їх широке застосування у меблевому виробництві, будівництві та інтер'єрних рішеннях свідчить про важливість подальшого розвитку технологій їх виготовлення. Удосконалення обладнання, підбір порід деревини з урахуванням фізико-механічних властивостей і впровадження сучасних систем контролю якості відкривають перспективи для підвищення конкурентоспроможності продукції та ефективного розвитку деревообробної галузі України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Марченко, Н. В. Мазурчук С.М. Технологія столярних виробів Методичні вказівки до вивчення курсу з дисципліни «Технологія столярних виробів» для студентів ОС «Бакалавр» напряму підготовки 6.051801 «Деревооброблювальні технології» – К. : НУБіП України, 2015 – 99 с.
2. Прокопович, Б.В. Основи проектування столярно – меблевих виробів: Навчальний посібник. / Б. В. Прокопович – К. : ІЗМН, 1998. – 303 с.
3. Крейдлін, Л.Н. Столярні роботи: Підручник / Пер. з рос. В.К. Сидоренко. – К. : Вища шк., 1993. – 263 с.
4. Фрезерний верстат Holzstar TF 50E: веб-сайт. URL: <https://promtovari.com.ua/ua/verstaty-ua/frezerni-verstaty-ua/frezernyj-standok-holzstar-tf-50e-uk> (дата звернення 10.10.2025 р.).
5. Фрезерний верстат MAST Holztechnik H-FV160K-3 400V: веб-сайт. URL: <https://kma.ua/uk/frezerni-verstati-po-derevu/5608-frezernij-verstat-po-derevu-mast-holztechnik-h-fv160k-3-400v.html> (дата звернення 10.10.2025 р.).
6. Фрезерний верстат по дереву Holzmann FS 160L: веб-сайт. URL: <https://kma.ua/uk/frezerni-verstati-po-derevu/175-frezernij-verstat-po-derevu-holzmann-fs-160l.html> (дата звернення 12.10.2025 р.).
7. Фрезерний станок JET JWS-2600: веб-сайт. URL: <https://marena.com.ua/ru/frezernyi-verstat-400-v-28-21-kvt-frezy-200-mm-jet-jws-2600/> (дата звернення 13.10.2025 р.).
8. Фрезерний верстат Holzmann FS 300: веб-сайт. URL: <https://kma.ua/uk/frezerni-verstati-po-derevu/1887-frezernij-verstat-holzmann-fs-300.html> (дата звернення 15.10.2025 р.).
9. Пінчевська, О. О., Головач, В. М. Методичні вказівки до виконання курсового проекту «Інноваційні технології оброблення деревини» / О. О. Пінчевська, В. М. Головач. – Київ – 2021 – 64 с.
10. Войтович, І. Г. Основи технології виробів з деревини: Підручник / Войтович І. Г. – Львів: НЛТУ України, ТзОВ «Країна ангелят», 2010. – 305 с

11. Тимків, Б. М. Туранов, Ю. О. Понятишин, В. В. «Технології. Деревообробка». – Львів : Світ, 2010. – 288 с.

12. U.S. Department of Agriculture. Wood Handbook: Wood-Based Composites – Chapter 11: Glued-Laminated Timber [Електронний ресурс]. – Madison, WI: Forest Products Laboratory, 2010. – Режим доступу: <https://www.fpl.fs.usda.gov/documnts/fplgr/fplgr113/ch11.pdf> (дата звернення 18.10.2025 р.).

13. Іщук, С. О. Конкурентні переваги України на зовнішньому ринку деревообробної продукції [Електронний ресурс] / С.О. Іщук. – НАН України, Інститут регіональних досліджень, 2019. – Режим доступу: <https://ird.gov.ua/irdp/p20190037.pdf> (дата звернення 19.10.2025 р.).

14. Rowell R.M. Wood Composites: Materials, Manufacturing and Engineering [Електронний ресурс]. – Berlin: De Gruyter, 2014. – Режим доступу: <https://dokumen.pub/wood-composites-materials-manufacturing-and-engineering-9783110416084-9783110416077-w-5837713.html> (дата звернення 23.10.2025 р.).

15. ТОВ «Ліра». Виробництво меблевого щита [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://lira-ukraine.com/tehnologiya-proizvodstva-mebelnogo-schita/> (дата звернення 23.10.2025 р.).

16. ТЗОВ «К'Лен». Технологія виготовлення меблевих щитів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://klen.ua/uk/blog/cikave-pro-virobnictvo-k-len/tehnologiya-vigotovlennya-meblevikh-sshitiv?srsId=AfmBOorY_PBK9DD5z8c2j7dzJy4d7efVbYxv2Cg2VHZW2vI5pmGVJk1k (дата звернення 25.10.2025 р.).

17. ПП «Наш Ліс». Меблевий щит: тип, сорт, особливості [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://nashles.com.ua/12351/?srsId=AfmBOopHklwwXbgh4YpVmyOnNhWVRI389aRdnw0kG8LI5uJW2DWR5LkY> (дата звернення 27.10.2025 р.).

18. Олійник, О. П., Гнатюк, Л. Р., Чернявський, В. Г. Конструювання меблів та обладнання інтер'єру : підручник. Київ, 2014. – 348 с.

19. Гайда, С. В., канд. техн. наук. Комплексні дослідження зміни пружних властивостей вживаної деревини ялиці з віком. – Львів: НЛТУ України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://forest-woodworking.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/download/86/297/545> (дата звернення 28.10.2025 р.).
20. Гомон, С. С. Конструкції із дерева та пластмас. Навчальний посібник. – Рівне: НУВГП, 2016. – 219 с.
21. Маєвський, В. О. Дослідження формостійкості клеєних щитів з масивної деревини дуба /В.О. Маєвський, Ю.В. Бенях // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів :РВВ НЛТУ України. – 2005. – Вип. 15.5. – С. 199-208.
22. Маєвський, В. О., Удовицька, М. В. Основні напрями досліджень у виробництві клеєних щитових конструкцій з деревини із дотриманням текстурних особливостей. – Львів: НЛТУ України, 2014. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2014/24_5/27.pdf (дата звернення 01.11.2025 р.).
23. Кривик, О. О., Маєвський, В. О., Жмурко, С. В. Передумови поєднання різних порід деревини у клеєних щитах // НЛТУ України, м. Львів, 2012.
24. Хрик, В. М., Левандовська, С. М., Кімейчук, І. В. Деревинознавство з основами лісового товарознавства і стандартизації лісової продукції: навчальний посібник. - Біла Церква. 2023.234 с.
25. Кишевецький, Б.Я., Гупало, О.П. Проблеми використання клеєвих з'єднань на основі термопластичних клеїв // УкрДЛТУ. Науковий вісник, 2001. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2001/11_2/9.pdf.
26. Зрощування щитів. (Електронний ресурс). – Режим доступу: <https://www.derevo.info/content/detail/5062/content/5263> (дата звернення 29.10.2025 р.).

27. Види склеювання. (Електронний ресурс). – Режим доступу: <https://www.derevo.info/content/detail/5062/content/5263> (дата звернення 29.10.2025 р.).

28. Види склеювання масивної деревини. (Електронний ресурс). – Режим доступу: <https://www.derevo.info/content/detail/5062/content/5263> (дата звернення 30.10.2025 р.).

29. Виробництво меблевих щитів. (Електронний ресурс). – Режим доступу: <http://melnicabiz.com.ua/researches/246-biznes-mini-ceh-proizvodstvomebelnykh-shchitov.html> (дата звернення 30.10.2025 р.).

30. Пінчевська, О.О. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни: «Актуальні проблеми механічного оброблення деревини» / Пінчевська О.О. – Київ : НУБіП України. 2014. – 43.

31. Wood handbook – wood as an engineering material. Gen. Tech. Rep/ FPL – GTR – 113. Madison, WI: U.S. Department Agriculture, Forest Service, Forest Products laboratory. – 1999. – 463 p.

32. Поняття собівартості продукції та її види Веб-сайт. URL: https://pidruchniki.com/82241/ekonomika/ponyattya_sobivartosti_produktsiyi_vidi (дата звернення 20.10.2025).

33. Собівартість продукції підприємства [Електронний-ресурс] – Режим доступу URL: <https://library.if.ua/book/20/1630.html> (дата звернення 20.10.2025).

34. Виробнича програма підприємства показники Веб-сайт. URL: https://pidruchniki.com/15021119/ekonomika/virobnicha_programa_pidpriyemstva (дата звернення 23.10.2025).

35. ДСТУ ISO 3129:2015 (ISO 3129:2012, IDT) Деревина. Методи відбору зразків і загальні вимоги до фізико-механічних випробувань невеликих бездефектних зразків.

36. Лісоматеріали круглі хвойні. Класифікація за якістю. Частина 2. Сосна: ДСТУ EN 1927-2:2018 – [Чинний від 2019-01-01]. К : Держстандарт України, 2019. – 10 с. – (Національний стандарт України).

37. Лісоматеріали круглі та пиляні. Методи обмірювання та визначення об'ємів. Частина 2. Лісоматеріали круглі: ДСТУ 4020-2-2001 (prEN 1309-2:1998). – [Чинний від 2001-04-05]. К : Держстандарт України, 2001. – 70 с. – (Національний стандарт України).

38. Круглі та пиляні лісоматеріали. Допустимі відхили та переважні типорозміри. Частина 1. Пиломатеріали хвойних порід: ДСТУ EN 1313-1:2018 (EN 1313-1:2010, IDT) – [Чинний від 2019-01-01]. К : Держстандарт України, 2019. – 16 с. – (Національний стандарт України).

39. Лісоматеріали круглі хвойних та листяних порід. Правила класифікації: ТУУ-00994207-003:2018 – [Чинні від 2019-01-01]. К : ЛІАЦ, 2019. – 132 с. – (Технічні умови України).

40. Лісоматеріали круглі та пиляні. Візуальні характеристики. Класифікація, терміни та визначення, способи вимірювання: ТУ У 16.1-00994207-001:2018 – [Чинні від 2019-01-01]. К : ЛІАЦ, 2019. – 131 с. – (Технічні умови України).

41. Лісоматеріали круглі листяних порід. Класифікація за якістю: ТУ У 16.1-00994207-002:2018 – [Чинні від 2019-01-01]. К : ЛІАЦ, 2019. – 24 с. – (Технічні умови України).

42. ДСТУ 4020-2-2001 Лісоматеріали круглі та пиляні. Методи обмірювання та визначення об'ємів. Частина 2. Лісоматеріали круглі (pr EN 1309-2:1998). [Чинний від 01.07.01]. Київ, 2001. – 70 с. (Інформація та документація).

43. ДСТУ 3071-95. Продукція лісозаготівельної промисловості. Терміни та визначення [Чинний від 01.07.96]. Київ, 2001. – 21 с. (Інформація та документація).

44. ДСТУ EN 1315-1-2001. Класифікація за розмірами. Частина 1. Лісоматеріали круглі листяні (EN 1315-1:1997, IDT). [Чинний від 28.12.01]. Київ, 2002. – 3 с. (Інформація та документація).

45. ДСТУ EN 1315-2-2001. Класифікація за розмірами. Частина 2. Круглі лісоматеріали хвойних порід (EN 1315-2:1997, IDT). [Чинний від 28.12.01]. Київ, 2002. – 3 с. (Інформація та документація).

46. ДСТУ EN 1316-1:2018 (EN 1316-1:2012, IDT) Лісоматеріали круглі листяні. Класифікація за якістю. Частина 1. Дуб та бук. [Чинний від 01.01.2021]. Київ, 2021. – 7 с. (Інформація та документація).

47. ДСТУ 2148-93. Пилопродукція. Терміни та визначення. [Чинний від 01.07.93]. Київ, 1993. – 38 с. (Інформація та документація).

48. ДСТУ 4845:2007. Пиломатеріали. Класифікація. [Чинний від 01.01.09]. Київ, 2009. – 3 с. (Інформація та документація).

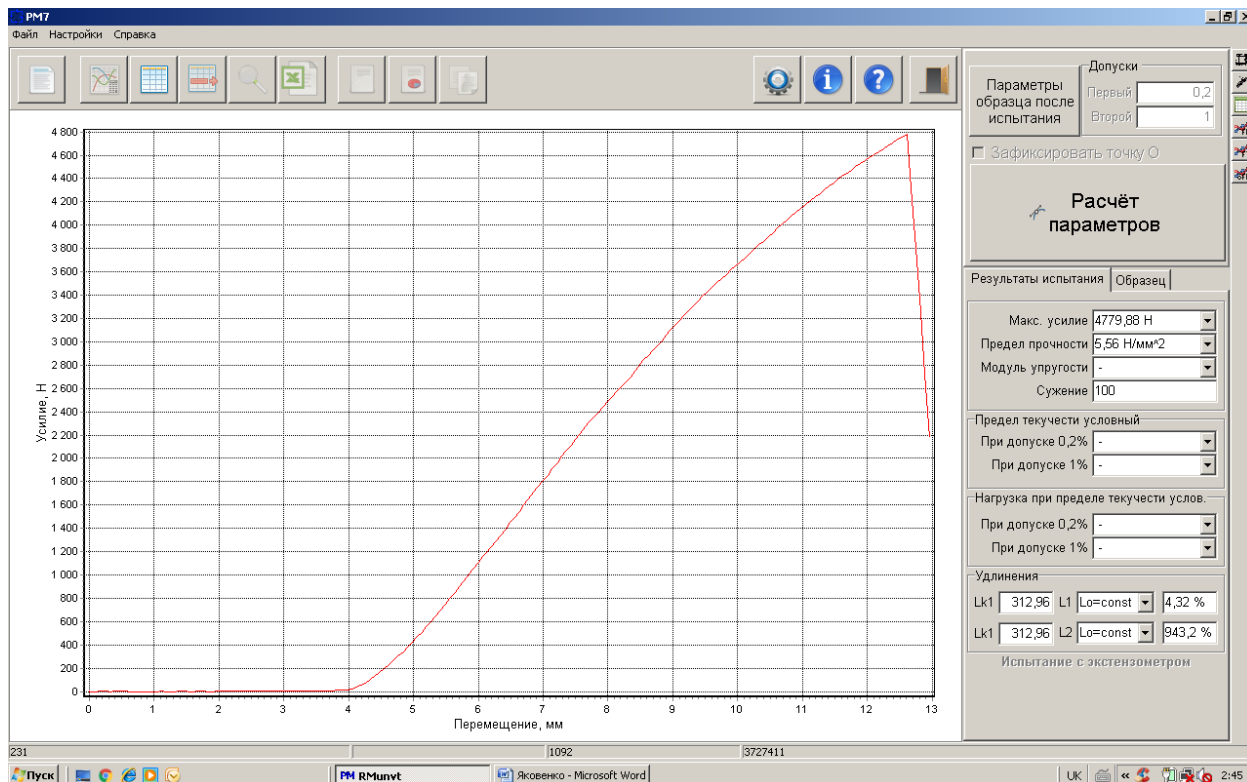
49. ДСТУ EN 1313-1:2018. Круглі та пиляні лісоматеріали. Допустимі відхилення та переважаючі типорозміри. Частина 1: Пиломатеріали хвойних порід [Чинний від 01.01.2019]. Київ, 2019. – 5 с. (Інформація та документація).

50. ДСТУ EN 1313-2:2018. Круглі та пиляні лісоматеріали. Допустимі відхилення та переважаючі типорозміри. Частина 1: Пиломатеріали твердолистяних порід. [Чинний від 01.01.2019]. Київ, 2019. – 7 с. (Інформація та документація).

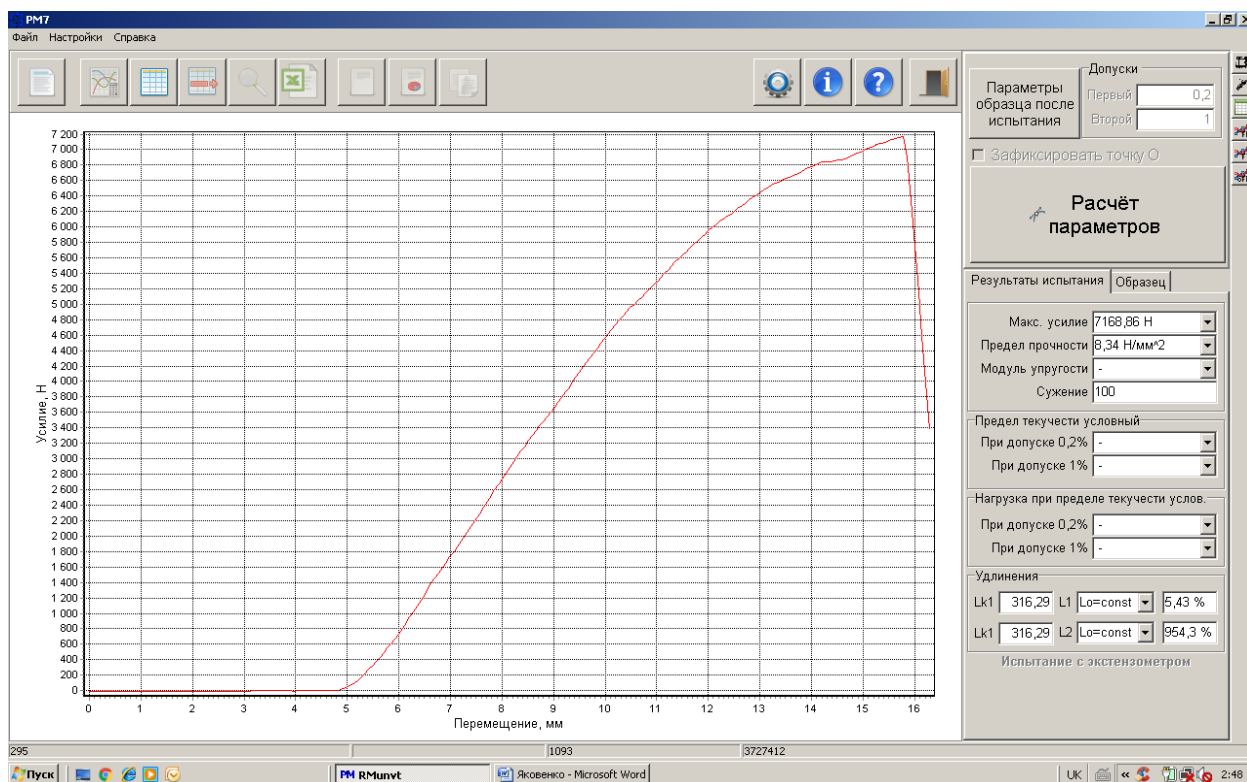
ДОДАТКИ

Додаток А

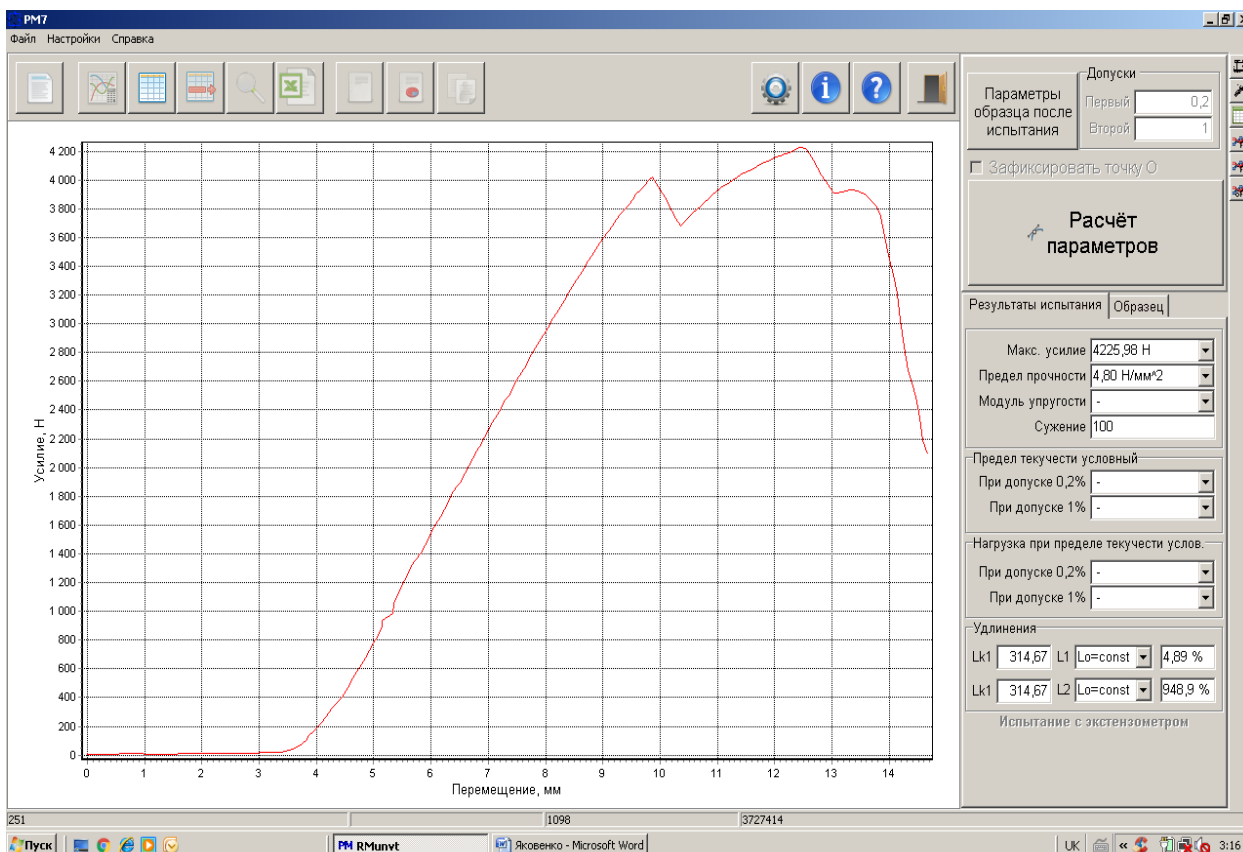
Діаграми навантаження на зразки



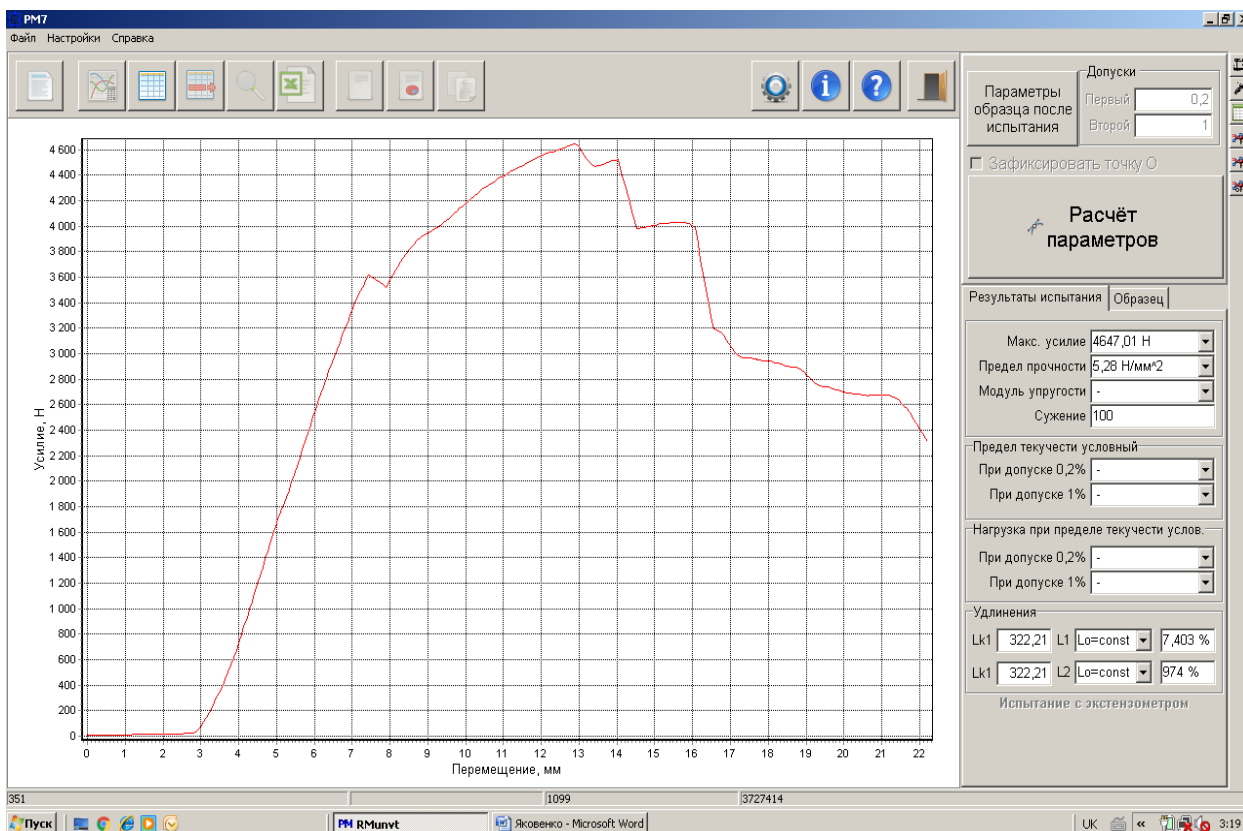
А.1. Діаграма навантаження на зразок дуба №2



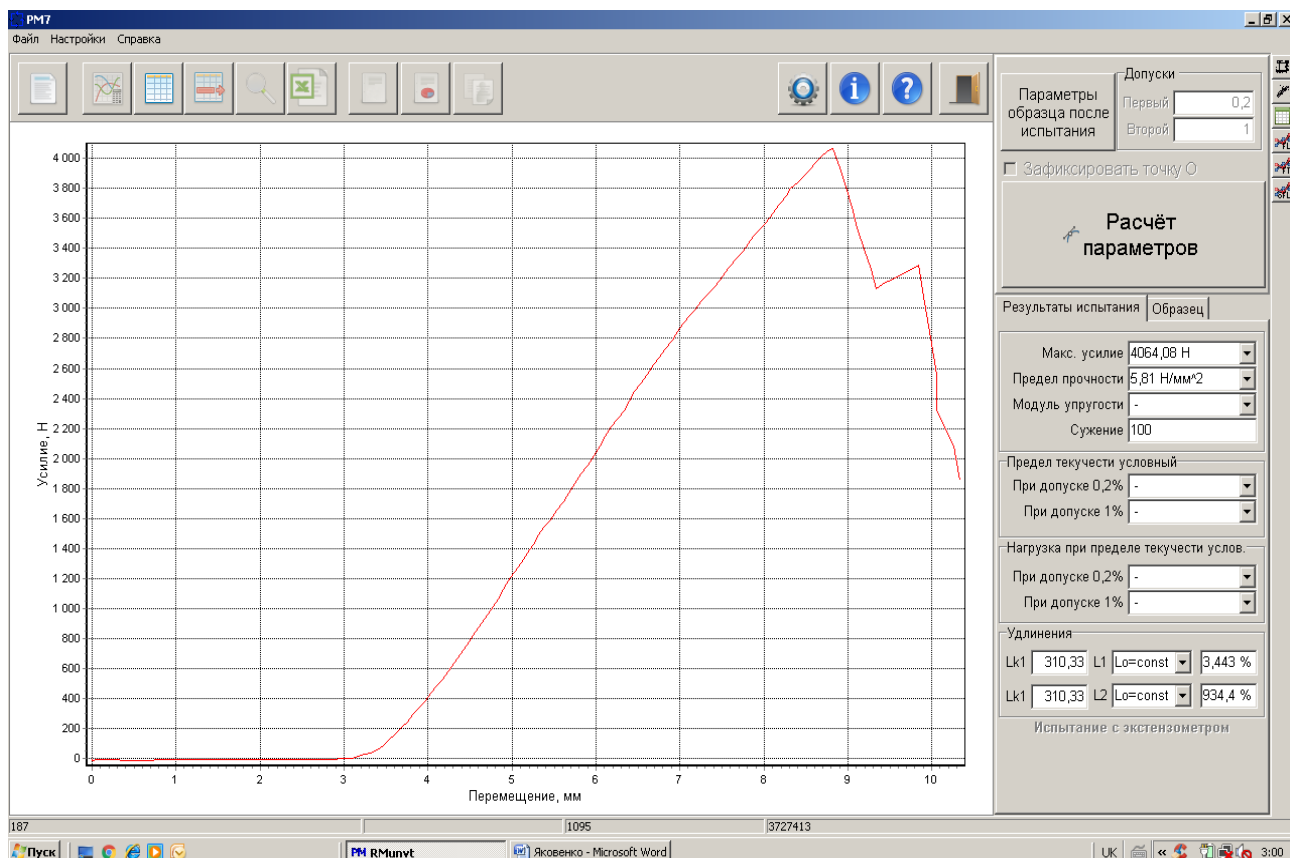
А.2. Діаграма навантаження на зразок дуба №3



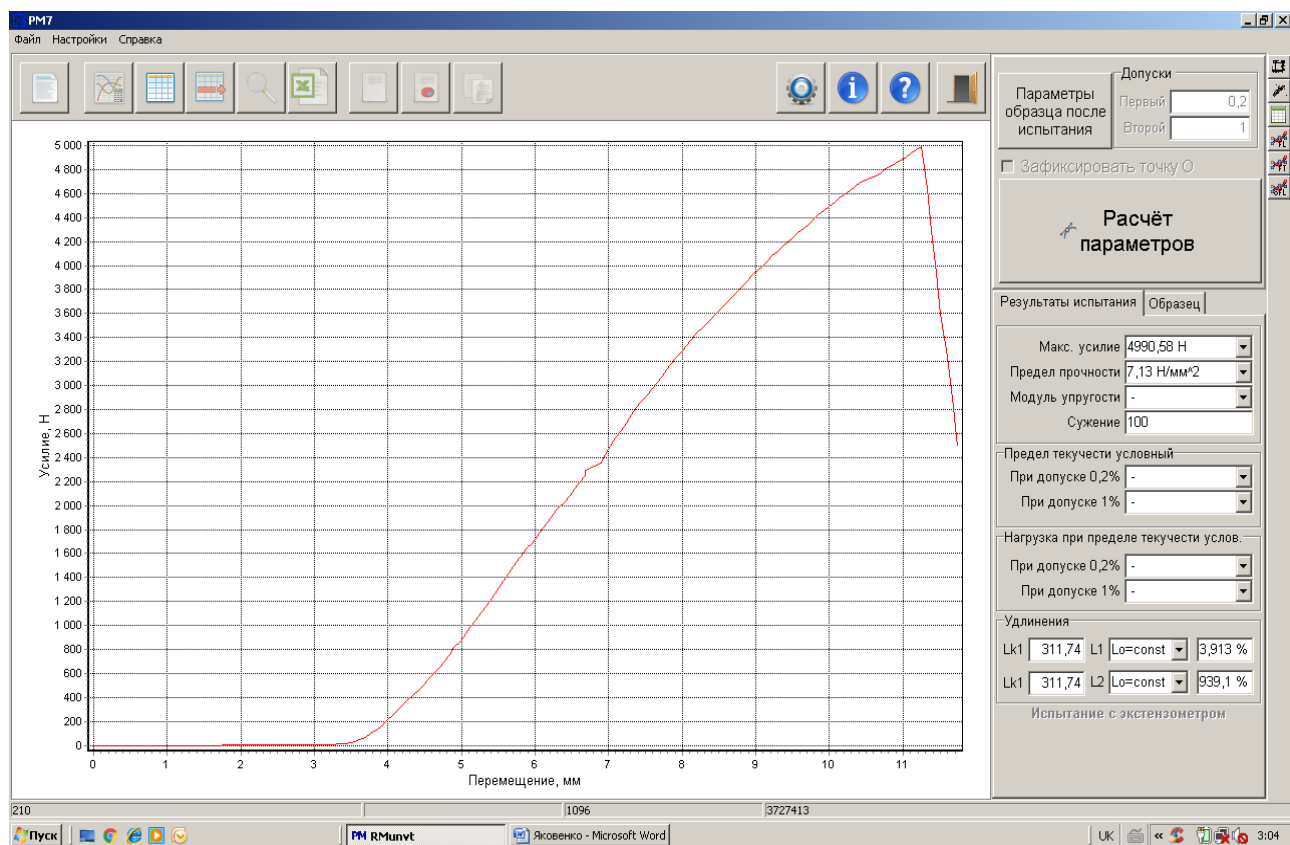
А.3. Діаграма навантаження на зразок бересту №2



А.4. Діаграма навантаження на зразок бересту №3



А.5. Діаграма навантаження на зразок ясенa №2



А. 6. Діаграма навантаження на зразок ясенa №3