

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ННІ лісового і садово-паркового господарства**

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри технологій та дизайну
виробів з деревини
к.т.н., доц. _____ Андрій СПІРОЧКІН
« ____ » _____ 2026 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Особливості технологічного процесу виготовлення погонажних виробів декоративного призначення»

Спеціальність: 187 «Деревообробні та меблеві технології»

Гарант освітньої програми

_____ к.т.н., доц.

_____ (підпис)

_____ Олександра ГОРБАЧОВА

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

_____ к.т.н., доц.

_____ (підпис)

_____ Сергій МАЗУРЧУК

Виконав

_____ (підпис)

_____ Андрій ОЧЕРЕТЯНИЙ

Київ – 2026

Завдання прийняв до виконання _____ Андрій ОЧЕРЕТЯНИЙ
(підпис)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ I АНАЛІЗ РИНКУ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИГОТОВЛЕННЯ ПИЛОМАТЕРІАЛІВ.....	7
1.1 Сучасний стан та тенденції розвитку світового ринку погонажних виробів декоративного призначення.....	7
1.2 Географія виробництва та споживання дерев'яних погонажних виробів у світі.....	9
1.3 Тенденції розвитку та інноваційні напрямки виробництва погонажних виробів.....	10
РОЗДІЛ II ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ПОГОНАЖНИХ ВИРОБІВ.....	13
2.1 Сировина та підготовка деревини для виробництва погонажних виробів.....	13
2.2 Технологічний процес виготовлення погонажних виробів.....	14
2.3 Пальцьове зрощування та контроль якості погонажних виробів...	15
2.4 Методика розрахунку завантаженості основного технологічного обладнання.....	17
РОЗДІЛ III АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ПОГОНАЖНИХ ВИРОБІВ I РОЗРАХУНОК ЗАВАНТАЖЕНОСТІ ОБЛАДНАННЯ.....	19
3.1 Характеристика деревини хвойних порід як сировини для виробництва декоративних погонажних виробів.....	19
3.2 Технологічний процес виготовлення декоративних погонажних виробів та формування їх якості.....	23
3.3 Розрахунок завантаженості основного технологічного обладнання та аналіз виробничих потужностей.....	29
РОЗДІЛ IV ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ПОГОНАЖНИХ ВИРОБІВ НА ПІДПРИЄМСТВІ.....	35
4.1 Аналіз існуючих проблем та ідентифікація резервів підвищення ефективності виробництва.....	35
4.2 Оцінка економічної ефективності пропонованих заходів.....	50
4.3 Екологічні аспекти та заходи з охорони праці при впровадженні пропозицій.....	53
ВИСНОВКИ.....	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	57

ВСТУП

Погонажні вироби декоративного призначення з деревини хвойних порід широко використовуються у житловому та громадському будівництві для оздоблення інтер'єрів і виготовлення меблевих елементів. До таких виробів належать плінтуси, лиштва, галтелі, карнизи, декоративні рейки та інші профільні деталі, які виконують як функціональну, так і естетичну роль. Вони забезпечують захист і маскуванню стиків конструкцій, покращують зовнішній вигляд приміщень та сприяють формуванню завершеного архітектурного стилю.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи зумовлена зростанням попиту на якісні деревинні оздоблювальні матеріали та необхідністю підвищення ефективності їх виробництва. Хвойна деревина завдяки добрій оброблюваності, достатній міцності та доступності є основною сировиною для виготовлення погонажних виробів. Удосконалення технологічних процесів їх виробництва сприяє підвищенню якості продукції, раціональному використанню деревинної сировини та покращенню конкурентоспроможності деревообробних підприємств.

Метою бакалаврської кваліфікаційної роботи є дослідження особливостей виробництва погонажних виробів декоративного призначення з різних порід деревини, аналіз технологічного процесу їх виготовлення та визначення впливу властивостей деревини на якість продукції і ефективність використання сировини.

Об'єкт дослідження – технологічний процес виготовлення погонажних виробів декоративного призначення.

Предмет дослідження – технологічні особливості виготовлення погонажних виробів декоративного призначення.

Основними завданнями бакалаврської кваліфікаційної роботи є аналіз нормативних документів і вимог щодо виготовлення погонажних виробів декоративного призначення, дослідження виробничої діяльності підприємства та його виробничих потужностей, визначення впливу фізико-механічних властивостей

деревини різних порід на технологічний процес виробництва, аналіз технології виготовлення погонажних виробів, проведення розрахунків завантаження основного обладнання, дослідження показників якості погонажних виробів залежно від породи деревини, а також розроблення пропозицій щодо вдосконалення технологічного процесу та підвищення ефективності використання деревинної сировини.

У роботі використано методи аналізу та узагальнення наукової інформації, порівняння, техніко-економічних розрахунків, а також методи технологічного аналізу виробничих процесів.

Практичне значення отриманих результатів. Встановлено, що впровадження SMED, модернізація обладнання, рекуперація тепла, автоматизований контроль якості та оптимізація розкрою забезпечують річний економічний ефект 1,11–1,61 млн грн при терміні окупності близько 2,3 року, сприяючи підвищенню якості продукції та зниженню виробничих витрат.

У першому розділі проведено аналіз світового ринку погонажних виробів декоративного призначення та визначено основні тенденції його розвитку. Встановлено, що ринок molding and trim є значним за обсягом і демонструє стабільне зростання, що зумовлено розвитком житлового та комерційного будівництва, урбанізацією та підвищенням попиту на оздоблювальні елементи інтер'єру. Проаналізовано сучасні тенденції розвитку галузі, серед яких конкуренція між деревиною, MDF та полімерними матеріалами, зростання використання пальцево-зрощених заготовок, посилення значення екологічної сертифікації та підвищення рівня заводської готовності виробів. У сукупності ці фактори підтверджують перспективність виробництва погонажних виробів із деревини хвойних порід.

У розділі 2 розглянуто технологічні особливості виробництва погонажних виробів із хвойної деревини, починаючи з вимог до сировини та її підготовки, включаючи сушіння, сортування, видалення дефектів і застосування сучасних

методів автоматизованого контролю якості деревини. Детально описано основні етапи технологічного процесу виготовлення погонажу – від первинної обробки пиломатеріалів до стругання, профілювання та шліфування, а також їх роль у формуванні точних геометричних параметрів і якісної поверхні виробів. Окрему увагу приділено технології пальцевого зрощування як ефективному способу раціонального використання сировини та підвищення стабільності заготовок, а також системі багаторівневого контролю якості, що охоплює всі етапи виробництва й забезпечує відповідність продукції сучасним вимогам точності, міцності та стандартів сертифікації.

У розділі 3 проведено аналіз технологічного процесу виготовлення погонажних виробів та розрахунок завантаженості основного обладнання, визначено раціональну структуру з 12 технологічних операцій і ключову роль чотиристороннього фрезерування на верстаті С26-2А у формуванні якості продукції. Встановлено, що при річній виробничій програмі 5000 тис. пог. м. та двозмінному режимі роботи коефіцієнти завантаження обладнання становлять у межах 55–87 %, при цьому для верстата С26-2А потрібне використання 2 одиниць обладнання. Також визначено рівень технологічних втрат деревини на рівні 21–33 %, а вихід готової продукції – 67–79 %, що забезпечує раціональне використання сировини. Окремо обґрунтовано ефективність застосування твердосплавного інструменту, який підвищує його стійкість у 15–20 разів порівняно з HSS-інструментом і зменшує виробничі простой.

У розділі 4 проаналізовано резерви підвищення ефективності виробництва декоративних погонажних виробів та запропоновано комплекс заходів з удосконалення технологічного процесу.

Бакалаврська кваліфікаційна робота викладена на 60 сторінках, містить 15 таблиць, 2 рисунки, 34 використаних джерела.

РОЗДІЛ І

АНАЛІЗ РИНКУ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИГОТОВЛЕННЯ ПИЛОМАТЕРІАЛІВ

1.1 Сучасний стан та тенденції розвитку світового ринку погонажних виробів декоративного призначення

Аналітичні компанії оцінюють світовий ринок molding and trim (оздоблювальні молдинги, плінтуси, лиштви, карнизи та інші погонажні вироби) у десятки мільярдів доларів США з помірними темпами зростання у прогностичному періоді до 2032–2034 років. За даними одного з галузевих звітів, ринок молдингів у 2024 році оцінювався приблизно у 12,1 млрд дол. США з прогнозом зростання до близько 15,5 млрд дол. США до 2032 року при середньорічному темпі зростання близько 3,5 %. Водночас інші галузеві дослідження оцінюють цей сегмент у 35,8 млрд дол. США з урахуванням усього спектра готових декоративних і функціональних компонентів [1–3].

Суміжний ринок дерев'яного мілворку (millwork), який включає молдинги, двері, сходові елементи, облицювальні панелі та інші столярні вироби, також демонструє стійке зростання, зумовлене підвищенням попиту на готові оздоблювальні елементи в житловому та комерційному будівництві. У структурі мілворку окремо виділяється категорія продукції molding and trim, а серед основних матеріалів переважають деревина хвойних порід, деревноволокнисті плити середньої щільності (MDF) та полівінілхлорид (ПВХ). При цьому хвойна деревина зберігає провідні позиції завдяки поєднанню доступності, простоти оброблення та достатніх міцнісних характеристик [1].

Розвиток ринку погонажних виробів тісно пов'язаний із загальною кон'юктурою ринку пиломатеріалів хвойних порід, оскільки саме вони є основною сировиною для виробництва більшості декоративних молдингів. Аналітичні огляди свідчать, що світовий ринок пиломатеріалів хвойних порід у 2024–2025 роках

оцінюється у сотні мільярдів доларів США, а до початку 2030-х років прогнозується його подальше зростання із середньорічним темпом близько 3–4 %. Основними чинниками розвитку ринку є житлове та комерційне будівництво, урбанізація, а також зростання попиту на екологічно безпечні будівельні матеріали [3].

Хвойна деревина широко використовується у каркасному домобудуванні, оздобленні інтер'єрів, виробництві столярних виробів, меблів і пакувальної продукції (рис. 1.1). Відповідно, стабільний попит на пиломатеріали створює сприятливі передумови для розвитку виробництва погонажних виробів декоративного призначення.



Рис. 1.1. Напрямки використання деревини [2]

За даними FAO та UNECE, у 2022–2023 роках виробництво пиломатеріалів із хвойних порід у Європі перевищувало 115 млн м³ на рік, що свідчить про наявність потужної сировинної бази для виготовлення оздоблювальних виробів у цьому

регіоні. Водночас у звіті Global Forest Products Facts and Figures 2023 зазначається певне скорочення світової торгівлі лісопродукцією у 2023 році порівняно з піковими показниками 2021–2022 років, що пояснюється макроекономічним уповільненням. Проте попит на продукцію з високою доданою вартістю, зокрема на погонажні вироби декоративного призначення, залишається відносно стабільним [1, 3].

1.2 Географія виробництва та споживання дерев'яних погонажних виробів у світі

Основні центри виробництва та споживання дерев'яних молдингів розташовані в Північній Америці, Європі та Азійсько-Тихоокеанському регіоні, де поєднуються розвинене будівництво, наявність сировинної бази та давні традиції деревообробки. У Європі значну частку ринку займають виробники з країн Північної та Східної Європи (Фінляндія, Естонія, Швеція, країни Балтії), які спеціалізуються на виготовленні погонажних виробів із північної сосни та ялини, орієнтованих переважно на експорт до Скандинавії, Центральної та Західної Європи. Наприклад, естонська компанія Eesti Hõõvellist (м. Сууре-Яані, Естонія) виробляє близько 2500 км погонажних виробів на місяць, причому приблизно 16-місячний обсяг виробництва відповідає довжині екватора Землі. Близько 90 % продукції експортується до скандинавських країн та держав Центральної Європи. Асортимент підприємства налічує понад 1000 типів профілів (плінтуси, лиштви, кутові та декоративні планки, рейки тощо), більшість з яких виготовляється з масивної сосни, а близько 10 % – з пофарбованих плит MDF. Це ілюструє співіснування на ринку виробів із масивної деревини та композитних матеріалів. Аналогічно фінсько-німецька компанія Jacob Jürgensen пропонує широкий асортимент профільованих виробів із північної сосни та ялини, сертифікованих за стандартами FSC та PEFC і орієнтованих на ринки країн ЄС [2-6].

В Австралії, Північній Америці та частині Азії важливу роль відіграють виробники погонажних виробів із зрощеної на мікрошип сосни (finger-jointed pine

mouldings), які використовуються як у масовому житловому будівництві, так і в сегменті преміальних інтер'єрів. Наприклад, австралійська компанія Intrim виробляє погонажні вироби із сосни, сертифікованої за стандартом FSC, підкреслюючи поєднання естетичних властивостей продукції та екологічної відповідальності. Водночас канадські та американські виробники зосереджуються на виготовленні широкого асортименту профілів для житлового й комерційного будівництва [5].

1.3 Тенденції розвитку та інноваційні напрямки виробництва погонажних виробів

На сучасному ринку погонажних виробів конкурують три основні групи матеріалів: масивна хвойна деревина (pine, spruce тощо), деревинні композити (MDF) та полімерні матеріали (PVC, WPC), причому кожна з них займає свою нішу залежно від вимог до дизайну, вартості та експлуатаційних умов. Масивна сосна та ялина переважають у сегменті інтер'єрів із натуральних матеріалів, особливо в Скандинавії, Центральній Європі та Північній Америці, де високий попит на екологічні та відновлювані матеріали, а також збереження традиційної архітектурної естетики [7–9].

MDF-погонаж (рис. 1.2) поступово посилює позиції завдяки стабільним розмірам, гладкій поверхні, зручності фарбування та низькій вартості, особливо в сегменті пофарбованого білого триму для інтер'єрів. Водночас полімерні (ПВХ) молдинги широко застосовуються у вологих приміщеннях та для зовнішнього використання, однак з екологічної точки зору деревина часто розглядається як більш «зелений» матеріал. У межах дерев'яного сегмента виділяють профілі для підлоги (плінтуси, поріжки), обрамлення прорізів (лиштви, карнизи), декоративні елементи (галтелі, фасонні рейки, карнизні профілі), а також рейки для панельних систем і меблевого виробництва. Частина виробів виготовляється з масиву, проте дедалі більшого поширення набувають пальцьово-зрощені заготовки (finger-jointed

mouldings), що забезпечують стабільність довгих профілів і раціональне використання сировини [10].

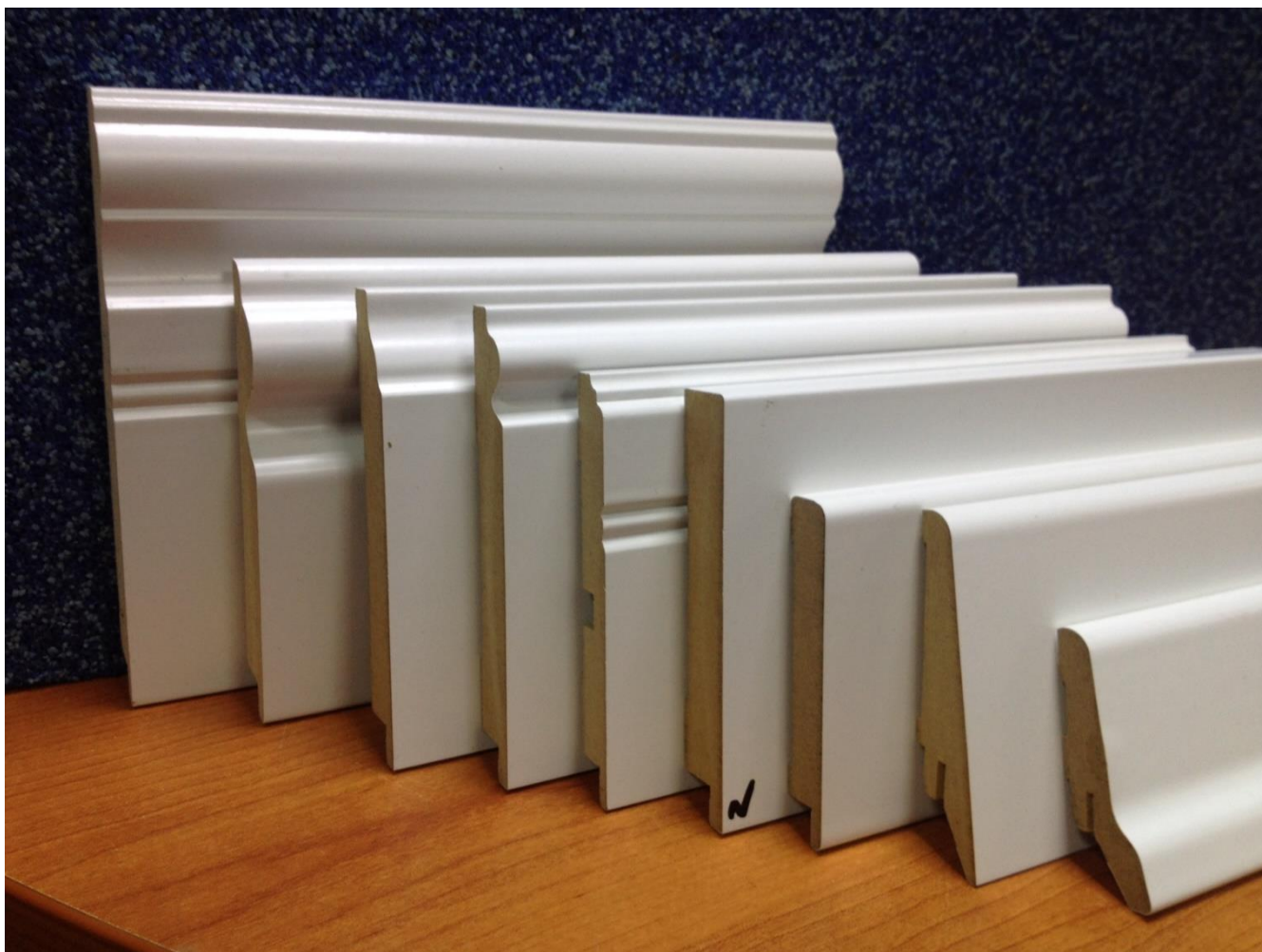


Рис. 1.2. Погонажні вироби із MDF [4]

Одним із ключових трендів є розвиток finger-jointed wood для погонажу, що забезпечує високу розмірну стабільність, можливість використання короткомірної та дефектної сировини, а також підвищення виходу придатної продукції. Дослідження показують, що оптимізація розташування з'єднань відносно дефектів деревини дозволяє суттєво зменшити втрати сировини, що має прямий економічний ефект.

Другим важливим трендом є посилення ролі екологічної сертифікації (FSC, PEFC) та зростання попиту на деревину з підтвердженим походженням. Провідні

виробники активно використовують сертифіковану сировину та низькоемісійні лакофарбові матеріали, що відповідає вимогам сталого будівництва та запитам споживачів [10, 16].

Третій тренд полягає у підвищенні рівня заводської готовності виробів: поширюються попередньо ґрунтовані та пофарбовані профілі, що скорочує тривалість монтажних робіт і забезпечує стабільну якість поверхні. У поєднанні з цифровим проєктуванням і CNC-обробкою це сприяє розширенню асортименту складних декоративних профілів. У цілому дерев'яний погонаж зберігає конкурентні позиції щодо MDF та ПВХ виробів у сегментах, де важливими є екологічність, ремонтпридатність і природна естетика матеріалу. Прогнози розвитку ринку свідчать про подальше зростання попиту на погонажні вироби з деревини хвойних порід у зв'язку з розвитком житлового будівництва, реновацією житлового фонду та поширенням концепцій сталого будівництва.

РОЗДІЛ II

ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ПОГОНАЖНИХ ВИРОБІВ

2.1 Сировина та підготовка деревини для виробництва погонажних виробів

Для виробництва високоякісного декоративного погонажу використовують пиломатеріали з хвойних порід деревини (сосна, ялина, ялиця, модрина), які характеризуються доброю оброблюваністю на деревообробному обладнанні, відносно невеликою густиною та достатньою механічною міцністю для застосування в інтер'єрних конструкціях. Хвойна деревина також має сприятливу структуру волокон, що забезпечує якісне стругання, фрезерування та профілювання з мінімальним утворенням виривів і сколів, особливо при правильному підборі режимів різання та гостроти інструменту.

У промисловій практиці перевага надається північній сосні повільного росту, яка формується в умовах холодного клімату та має більш щільну і рівномірну структуру. Така деревина характеризується дрібними річними кільцями, меншою кількістю великих сучків і підвищеною стабільністю геометричних параметрів після механічної обробки. Завдяки цим властивостям вона забезпечує більш однорідну поверхню після стругання та кращу якість декоративного покриття, що є особливо важливим для виробів інтер'єрного призначення [11–13].

Ключовим етапом підготовки сировини є процес сушіння, який здійснюється у камерних або конвективних сушильних установках. Деревину доводять до вологості 8–14 %, залежно від типу виробу та умов подальшої експлуатації. Недотримання оптимального режиму сушіння може призводити до внутрішніх напружень, викривлення заготовок, появи тріщин та зниження якості клейових з'єднань у разі подальшого зрощування. Тому контроль вологості є критично важливим параметром, який здійснюється як на етапі сушіння, так і перед

механічною обробкою. Після завершення сушіння виконується первинне сортування пиломатеріалів за якістю, розмірами та наявністю природних дефектів. На цьому етапі видаляються непридатні ділянки деревини, такі як великі сучки, тріщини, смоляні кишені, ділянки з гнилизною або механічними пошкодженнями. Особливо жорсткі вимоги висуваються до сировини, що буде використовуватися для пальцевого зрощування, оскільки дефекти можуть негативно впливати на міцність і зовнішній вигляд кінцевого виробу. У сучасних деревообробних підприємствах процес сортування та розкрою все частіше автоматизується [12–14]. Використовуються оптичні та лазерні сканери, які аналізують кожну дошку з кількох боків, визначають геометричні параметри, виявляють дефекти деревини та формують оптимальні карти поперечного розкрою. Це дозволяє максимально ефективно використовувати сировину, зменшити кількість відходів та підвищити вихід придатних заготовок для подальшого виробництва погонажних виробів. Додатково на підготовчому етапі може здійснюватися попереднє торцювання та калібрування пиломатеріалів, що забезпечує вирівнювання геометрії та підготовку заготовок до подальшого стругання або зрощування. Сукупність зазначених операцій формує основу для стабільного технологічного процесу та безпосередньо впливає на якість готової продукції, її зовнішній вигляд та експлуатаційні характеристики.

2.2 Технологічний процес виготовлення погонажних виробів

Технологічний процес виготовлення погонажних виробів із хвойної деревини включає послідовність взаємопов'язаних операцій, спрямованих на отримання точного за розмірами та якісного профільованого виробу. Основними етапами є калібрування, видалення дефектів, стругання, профілювання та шліфування, кожен з яких виконує важливу функцію у формуванні кінцевих експлуатаційних характеристик продукції. На сучасних деревообробних підприємствах особлива увага приділяється стабільності технологічного процесу та мінімізації втрат

сировини, що досягається за рахунок автоматизації окремих операцій і використання високоточного обладнання.

На прикладі сучасних підприємств, таких як Combiwood Group, технологічний процес починається з розпилювання колод на дошки заданих розмірів, після чого отримані пиломатеріали проходять камерне сушіння до нормативної вологості [13]. Далі виконується калібрування та сортування за якістю, під час якого відбираються заготовки, придатні для подальшої механічної обробки. Особливу роль на цьому етапі відіграє видалення дефектних ділянок деревини, що забезпечує підвищення якості майбутніх виробів і зменшення ризику браку.

Після підготовчих операцій заготовки можуть надходити або безпосередньо на чотиристоронній стругальний верстат, або на ділянку попереднього зрощування залежно від технологічної схеми виробництва [14]. Чотиристороннє стругання забезпечує формування точних геометричних розмірів і створення базових опорних поверхонь, які є необхідними для подальшого профілювання. Профілювання виконується на спеціалізованих фрезерних або багатошпиндельних верстатах, де за допомогою набору різальних інструментів формується кінцевий декоративний або функціональний контур виробу. Завершальними етапами є шліфування поверхні для покращення її якості та остаточний контроль параметрів готової продукції, включаючи перевірку геометричних розмірів і зовнішнього вигляду.

2.3 Пальцьове зрощування та контроль якості погонажних виробів

Пальцьово-зрощені (finger-jointed) заготовки широко використовуються у виробництві погонажу, оскільки дозволяють раціонально використовувати короткомірну сировину та максимально ефективно видаляти дефектні ділянки деревини. Це особливо важливо для хвойних порід, у яких природні вади (сучки, тріщини, смоляні кишені) можуть суттєво впливати на якість готового виробу. Суть процесу полягає у формуванні спеціальних «пальцевих» шипів на торцях

заготовок, які після нанесення клею з'єднуються під тиском у пресах, утворюючи міцне та стабільне з'єднання з великою площею склеювання [15–18].

Завдяки особливій геометрії з'єднання забезпечується рівномірний розподіл навантаження, що дозволяє отримувати міцність, близьку до міцності суцільної деревини, а іноді й вищу за рахунок усунення слабких ділянок. Після процесу зрощування отримані ламелі проходять додаткову механічну обробку, зокрема стругання та профілювання, що забезпечує точні геометричні параметри, стабільність форми та якісну поверхню, придатну для подальшого фарбування або лакування. У сучасному виробництві такі заготовки характеризуються підвищеною розмірною стабільністю, зменшеною кількістю внутрішніх дефектів і кращою повторюваністю параметрів у порівнянні з масивною деревиною.

Контроль якості погонажних виробів здійснюється на всіх етапах технологічного процесу та є ключовим елементом забезпечення стабільних характеристик продукції. Він включає вхідний контроль сировини, перевірку вологості деревини перед обробкою, контроль точності розкрою та видалення дефектів, а також контроль параметрів склеювання пальцевих з'єднань [18]. Окрему увагу приділяють моніторингу режимів пресування та якості клейового шва, оскільки саме ці параметри визначають довговічність з'єднання.

На етапі фінішної обробки здійснюється контроль геометричних розмірів, якості поверхні та відповідності профілю заданим кресленням. Типові вимоги до готової продукції передбачають точність розмірів у межах $\pm 0,3$ мм, відсутність виривів волокон, тріщин, підпалених ділянок та інших поверхневих дефектів. Для підприємств, орієнтованих на експортні ринки, додатково є обов'язковим дотримання міжнародних стандартів якості та сертифікації походження деревини (FSC, PEFC), а також впровадження систем управління якістю, що забезпечує стабільність виробничих процесів і відповідність продукції вимогам споживачів [16].

2.4 Методика розрахунку завантаженості основного технологічного обладнання

Розрахунок завантаженості обладнання є основним інструментом планування виробничих потужностей та виявлення вузьких місць технологічного процесу. Для проведення розрахунку прийнято такі вихідні дані [30, 31]:

- річна програма виробництва: 5 000 тис. пм (у тому числі плінтус – 1 500 тис. пог.м., наличник плоский – 1 200 тис. пог.м., наличник фігурний – 800 тис. пог.м., штапик – 600 тис. пог.м., лиштва – 400 тис. пог.м., підлогова дошка – 500 тис. пог.м.);
- режим роботи підприємства: двозмінний, 8 годин за зміну, 250 робочих днів на рік;
- коефіцієнт використання робочого часу (враховує планові простої на технічне обслуговування, переналаштування, дрібні ремонти): $K_v = 0,90$.

Фонди часу роботи обладнання. Номінальний річний фонд часу роботи обладнання розраховується за формулою [30]:

$$T_{ном} = D_p \times n_{зм} \times t_{зм}, \quad (2.1)$$

де D_p – кількість робочих днів на рік;

$n_{зм}$ – кількість змін;

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

$$T_{ном} = 250 \times 2 \times 8 = 4\,000 \text{ год/рік}$$

Ефективний (дійсний) річний фонд часу з урахуванням коефіцієнта використання:

$$T_{ef} = T_{ном} \times K_v = 4\,000 \times 0,90 = 3\,600 \text{ год/рік}$$

Методика розрахунку коефіцієнта завантаженості. Потрібний фонд часу для виконання річної виробничої програми на кожному виді обладнання розраховується за формулою [30]:

$$T_{нотр} = Q / H_{вир}, \quad (2.2)$$

де Q – річна програма, тис. пог.м.;

$H_{вир}$ – норма виробітку (продуктивність) обладнання, тис. пог.м./год.

Коефіцієнт завантаженості обладнання визначається як відношення потрібного фонду часу до ефективного фонду, формула [30]:

$$K_{зав} = T_{нотр} / T_{эф} \times 100 \%, \quad (2.3)$$

Нормативний коефіцієнт завантаженості для серійного виробництва: 70–85 %. При $K_{зав} < 60$ % обладнання є недозавантаженим (доцільно розглянути скорочення кількості одиниць або розширення асортименту), при $K_{зав} > 90$ % обладнання є перевантаженим (необхідно встановити додаткову одиницю або організувати тризмінну роботу на даній ділянці).

Отримання високоякісної продукції вимагає чіткого дотримання регламентів на кожному етапі виробництва. Ефективність цього процесу безпосередньо залежить від ретельної підготовки сировини, де ключовим фактором є досягнення оптимальної вологості деревини в межах 8–10 %, що запобігає деформації та розтріскуванню готових виробів. Важливою складовою сучасного виробництва є технологія пальцевого зрощування, яка не лише підвищує міцність матеріалу завдяки нівелюванню внутрішніх напружень, а й забезпечує раціональне використання деревини шляхом переробки короткомірних відходів. Кінцева якість та конкурентоспроможність продукції досягаються завдяки впровадженню багаторівневого контролю, що охоплює перевірку міцності клейових з'єднань, точності лінійних розмірів та відповідності чинним стандартам. Таким чином, лише комплексна автоматизація ліній та суворе дотримання технологічної дисципліни дозволяють мінімізувати брак і гарантувати високі експлуатаційні та естетичні характеристики погонажних виробів.

РОЗДІЛ III

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ПОГОНАЖНИХ ВИРОБІВ І РОЗРАХУНОК ЗАВАНТАЖЕНОСТІ ОБЛАДНАННЯ

3.1 Характеристика деревини хвойних порід як сировини для виробництва декоративних погонажних виробів

Деревина хвойних порід є основною сировиною для виробництва погонажних виробів декоративного призначення в Україні та країнах Центральної і Східної Європи [18, 21]. Це обумовлено поєднанням таких чинників: широка поширеність хвойних насаджень у лісовому фонді, порівняно невисока вартість пиломатеріалів, задовільні технологічні властивості та висока декоративність природного рисунка деревини.

Основними хвойними породами, що застосовуються у виробництві декоративного погонажу, є: сосна звичайна (*Pinus sylvestris* L.), ялина звичайна (*Picea abies* (L.) H. Karst.), ялиця біла (*Abies alba* Mill.) та модрина європейська (*Larix decidua* Mill.) [19–23]. Кожна з порід має специфічні фізико-механічні властивості, що визначають умови її переробки та область застосування (таб. 3.1).

Таблиця 3.1

Фізико-механічні характеристики деревини хвойних порід

Порода деревини	Середня щільність, кг/м ³	Твердість (торцева), МПа	Вологість сировини, %	Усушка радіальна / тангентальна, %
Сосна звичайна	480–520	24–28	50–80	4,0 / 7,5
Ялина звичайна	420–470	20–24	45–75	3,7 / 7,0
Ялиця	380–430	18–22	40–70	3,5 / 6,5
Модрина	580–650	30–38	55–90	4,8 / 8,5

Сосна звичайна займає провідне місце серед сировини для погонажного виробництва. Вона характеризується рівномірною структурою деревини, прямолінійністю волокон та наявністю смоляних ходів, що надає виробам характерного природного малюнка. Середня щільність деревини сосни становить $480\text{--}520\text{ кг/м}^3$ при вологості 12 %, що є оптимальним для механічної обробки. Підвищений вміст смолистих речовин (до 5–8 % від маси сухої деревини) позитивно впливає на стійкість виробів до гниття та зовнішніх впливів [24].

Ялина звичайна відрізняється від сосни меншою щільністю ($420\text{--}470\text{ кг/м}^3$) та практично відсутністю смоляних ходів у нормальній деревині (ходи утворюються лише в патологічних зонах). Це спрощує процес фінішної обробки – нанесення лакофарбових покриттів на ялину дає рівномірніший результат, ніж на смолянисту сосну. Разом з тим, ялина більш схильна до утворення синяви та грибкових уражень при зберіганні, що вимагає своєчасної антисептичної обробки [22–25].

Модрина є найміцнішою серед хвойних порід: її середня щільність досягає $580\text{--}650\text{ кг/м}^3$, торцева твердість: 30–38 МПа [23]. Вироби з модрини відрізняються підвищеною стійкістю до механічного зношування, що робить їх незамінними для виготовлення підлогових плінтусів і дощок у приміщеннях з інтенсивним навантаженням. Однак підвищена твердість ускладнює різання і потребує застосування більш твердих та зносостійких різальних інструментів.

Важливою характеристикою сировини є початкова вологість деревини. Свіжозрізана деревина хвойних порід має вологість 50–90 % залежно від пори року та частини стовбура (заболонь завжди вологіша за ядро). Для виробництва погонажних виробів нормативними документами (ДСТУ Б В.2.7-103) встановлено вологість готових виробів $12\pm 2\%$, що унеможливорює їх жолоблення та розтріскування в умовах опалюваних приміщень [25].

При виборі сировини особливу увагу приділяють наявності та характеру вад деревини. Для деревини першого сорту допускаються: зрощені здорові сучки діаметром до 15 мм, незначна косошаруватість (до 5%), неглибокі червоточини,

вириви та завилькуватість. Не допускаються: тріщини, що виходять на торці, гниль у будь-яких формах, синява на значній площині, крізні отвори від комах-деревоїдів.

Декоративні погонажні вироби з деревини являють собою профільні вироби постійного поперечного перерізу, що виготовляються методами поздовжнього фрезерування на верстатах чотиристороннього і одностороннього різання. Термін «погонаж» походить від системи обліку таких виробів у погонних метрах (пог.м.) .

Відповідно до чинних державних стандартів та галузевих технічних умов, декоративний погонаж з деревини хвойних порід поділяється на такі основні групи (табл. 3.2) [26]:

- плінтуси (підлогові і стельові) – профільні планки для закриття щілини між підлогою/стелею та стіною; характеризуються напівкруглим, прямокутним або складним фасонним профілем;
- наличники – профільні рамкові елементи для облицювання дверних і віконних прорізів; можуть мати плоский, ступінчастий або складний декоративний профіль;
- штапики – вузькі рейки трикутного або напівкруглого перерізу для закріплення скла в рамах або виконання декоративних функцій;
- лиштви та фільончасті рейки – широкі фасонні планки для декорування поверхонь стін, стель, меблів;
- дошки підлогові масивні – профільні дошки з пазом і гребенем для монтажу підлогового покриття.

Таблиця 3.2

Асортимент і річна програма виробництва декоративних погонажних виробів

№	Назва виробу	Стандарт	Порода	Переріз (Ш×В), мм	Річний обсяг, тис. пог.м.
1	2	3	4	5	6
1	Плінтус напівкруглий	ДСТУ Б В.2.7-103	Сосна	40×20, 60×22, 80×25	1 500

1	2	3	4	5	6
2	Наличник плоский	ДСТУ Б В.2.7-103	Сосна/Ялина	50×20, 70×20	1 200
3	Наличник фігурний	ДСТУ Б В.2.7-103	Сосна	70×22, 90×22	800
4	Штапик декоративний	ДСТУ Б В.2.7-103	Ялина/Ялиця	15×15, 20×20	600
5	Лиштва фрезерована	ДСТУ Б В.2.7-103	Сосна	100×25, 120×25	400
6	Дошка підлогова (з пазом)	ДСТУ Б В.2.7-148	Сосна/Модрина	90×22, 120×22	500
РАЗОМ					5 000

Основним нормативним документом, що регламентує технічні вимоги до декоративних погонажних виробів з деревини в Україні, є ДСТУ Б В.2.7-103 «Деталі профільні з деревини та деревних матеріалів». Стандарт встановлює вимоги до: розмірів і допустимих відхилень (точність за 14-м квалітетом для більшості профілів), якості поверхні (шорсткість R_z не більше 16–60 мкм залежно від сорту), вологості (12 ± 2 %), вад деревини і якості обробки [25].

Форма профілів стандартизована у вигляді набору базових типів, однак виробники можуть виготовляти вироби за власними кресленнями та технічними умовами за наявності відповідної документації. Це дає можливість розширювати асортимент і забезпечувати індивідуальні потреби замовників у декоративному оздобленні.

3.2 Технологічний процес виготовлення декоративних погонажних виробів та формування їх якості

Технологічний процес виготовлення декоративних погонажних виробів з деревини хвойних порід являє собою послідовність механічних, теплових і фінішних операцій, що забезпечують перетворення пиломатеріалів у готові профільні вироби нормованої якості. Процес організовується за потоковим принципом з використанням спеціалізованого деревообробного обладнання (табл. 3.3).

Принципова відмінність виробництва декоративного погонажу від загальнобудівельного полягає у підвищених вимогах до чистоти оброблених поверхонь ($R_z \leq 32\text{--}60$ мкм проти $R_z \leq 320$ мкм для конструкційних деталей), точності профілю (відхилення форми не більше 0,3–0,5 мм) та естетичних характеристик деревини (відсутність засмоленостей, підтьоків, рисок від інструменту на видимих поверхнях).

Таблиця 3.3

Технологічні операції виробництва декоративних погонажних виробів

№	Технологічна операція	Обладнання	Режим різання	Мета операції
1	2	3	4	5
1	Приймання та сортування пиломатеріалів	Ручний/механізований сортувальний стіл	—	Відбракування дефектних заготовок
2	Первинне сушіння	Камерна сушарка	$t = 60\text{--}90$ °C, $\varphi = 60\text{--}75$ %	Зниження вологості до 12 ± 2 %
3	Первинна поперечна розкрійка	Торцювальний верстат ЦКБ-40	$n = 3\,000$ об/хв, $V_p = 45$ м/с	Вирізання дефектів, розкрій на довжину

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5
4	Первинна поздовжня розкрійка	Стрічкопильний верстат ЛС-80	$V_{\Pi} = 20\text{--}30$ м/хв	Розкрій на заготовки за шириною
5	Фугування (базування)	Фугувальний верстат СФ-4	$n = 6\ 000$ об/хв, $t = 1,5$ мм	Вирівнювання пласті та кромки
6	Рейсмусування (калібрування по товщині)	Рейсмусний верстат СР-6	$n = 5\ 500$ об/хв, $t = 1,0\text{--}2,0$ мм	Отримання точних розмірів по товщині
7	Чотиристороннє фрезерування (профілювання)	Чотирибічний верстат С26-2А	$n = 6\ 000\text{--}7\ 000$ об/хв, $V_{\Pi} = 10\text{--}18$ м/хв	Надання профілю погонажному виробу
8	Шліфування поверхні	Широкострічковий шліфувальний верстат ШЛПС-8	$V_{\text{лент}} = 15\text{--}20$ м/с, зерн. 80–120	Чистова обробка поверхні
9	Вторинна торцівка (поперечна розкрійка)	Торцювальний верстат ЦКБ-40-01	$n = 3\ 000$ об/хв	Розкрій готових виробів на мірні довжини
10	Контроль якості та сортування	Вимірювальний стіл, шаблони	—	ВТК: перевірка профілю, шорсткості, дефектів
11	Антисептична обробка / нанесення грунтовки	Вальцьовий просочувальний верстат або камера обприскування	Тиск 0,2– 0,5 МПа	Захист від біоруйнівників, підготовка до фінішу
12	Пакування та складування	Пакувальна лінія	—	Формування транспортних пакетів

Підготовка сировини та сушіння. Процес починається з приймання пиломатеріалів хвойних порід, що надходять з лісопильного цеху або від сторонніх постачальників. Пиломатеріали сортуються за сортом (1-й, 2-й), породою, розмірами та вологістю. Нестандартні або дефектні сортименти відбраковуються.

Першочерговим і найбільш енергоємним етапом підготовки є сушіння. Камерне сушіння здійснюється у сушильних камерах конвективного типу з примусовою циркуляцією теплоносія. Для деревини хвойних порід застосовується м'який режим сушіння: початкова температура: 40–50 °С, кінцева: 75–90 °С, відносна вологість повітря 60–80 % на початку процесу і 30–40 % наприкінці. Тривалість сушіння залежить від початкової вологості та товщини матеріалу і становить, як правило, 3–10 діб [22–24].

Після камерного сушіння деревина проходить обов'язкову кондиціонуючу витримку у закритих приміщеннях протягом 5–7 діб для вирівнювання градієнта вологості по перерізу і зняття внутрішніх залишкових напружень. Без цього кроку поверхня свіжовисушеної деревини може виглядати сухою, тоді як внутрішні шари залишаються вологими, що призводить до короблення заготовок у процесі механічної обробки.

Механічна обробка: розкрій, базування, профілювання. Первинна поперечна розкрійка (торцівка) виконується на торцювальних верстатах типу ЦКБ-40 з метою вирізання ділянок з неприпустимими вадами деревини – гнилизною, наскрізними тріщинами, механічними пошкодженнями. Пиляння виконується дисковою пилою (Ø 350–400 мм) з числом зубів 60–80, що забезпечує чисту торцеву поверхню і мінімальне відщеплення деревини [27].

Поздовжня розкрійка на заготовки необхідної ширини здійснюється на стрічкопильних верстатах (ЛС-80). Переваги стрічкового пиляння перед дисковим для цієї операції полягають у менших втратах деревини на пропил (ширина пропилю 1,5–2,0 мм проти 3–4 мм для дискової пили) та можливості розкрою крупних сортиментів.

Фугування є першою операцією базування і полягає у формуванні прямолінійної плоскої поверхні (бази) на одній пласті або кромці заготовки. Виконується на фугувальних верстатах з горизонтальним ножовим валом (СФ-4). Глибина різання за один прохід: 1,5–2,0 мм, діаметр ножового вала: 100–125 мм, кількість ножів – 2–4 шт. Точність фугованої поверхні – площинність не гірше 0,2 мм на 1000 мм довжини [27, 28].

Рейсмусування забезпечує паралельність двох протилежних поверхонь (пластей) з точністю по товщині $\pm 0,1$ –0,2 мм. На рейсмусному верстаті (СР-6) за один прохід знімається шар 1,0–3,0 мм. Отримані заготовки мають стабільні розміри, що є обов'язковою умовою для наступного профілювання.

Чотиристороннє фрезерування як ключова операція. Профілювання заготовок є центральною і найбільш відповідальною операцією всього технологічного процесу. Воно виконується на чотирибічних фрезерних верстатах (рейсмусно-фугувальних агрегатах), де заготовка за один прохід обробляється з чотирьох сторін набором фрезерних головок з профільними ножами.

Верстат типу С26-2А оснащений чотирма шпинделями: двома горизонтальними (верхній і нижній) та двома вертикальними (лівий і правий). Кожен шпиндель несе фрезерну головку з комплектом профільних ножів, заточених за шаблоном необхідного профілю. Зміна асортименту (переналаштування) полягає у заміні ножів та регулюванні положення шпинделів і притискних елементів – зазвичай це займає 2–4 години.

Швидкість подачі матеріалу на С26-2А становить 10–18 м/хв для деревини хвойних порід. Зниження швидкості подачі покращує чистоту обробки (зменшується крок волнистості від обертання ножів), але знижує продуктивність. Частота обертання шпинделів: 6 000–7 000 об/хв [29].

Якість поверхні після фрезерування визначається наступними параметрами різання: кутом різання (зазвичай 20–25° для хвойних порід), заднім кутом (10–15°), радіусом округлення ріжучої кромки (не більше 10–15 мкм для нових ножів), а

також правильністю балансування ножових головок (залишковий дисбаланс не більше 1–3 г·см) [28, 29].

Шліфування та фінішна обробка поверхні. Шліфування є фінішною механічною операцією для виробів декоративного призначення. Його мета – усунення мікронерівностей, утворених ножовими та фрезерними інструментами (хвилясте від ножів, задирки, ворс), і надання поверхні необхідної шорсткості для подальшого лакування або фарбування.

Для плоских поверхонь (пласть плінтуса, лицьова поверхня наличника) застосовуються широкострічкові шліфувальні верстати (ШлПС-8). Профільні (криволінійні) ділянки шліфуються на профільно-шліфувальних верстатах або вручну за допомогою профільованих колодок з наклеєним шліфувальним папером.

Шліфування здійснюється у два-три проходи зі зменшенням зернистості абразиву: перший прохід – зернистість Р80 (вирівнювання поверхні, видалення хвилястості), другий прохід – Р100 або Р120 (зниження шорсткості), фінальний – Р150 або Р180 для виробів під прозоре покриття (табл. 3.4).

Таблиця 3.4

Шорсткість поверхні після кожної операції обробки

№	Операція	Обладнання	Шорсткість Rz, мкм	Клас шорсткості (ГОСТ 7016)
1	Після пиляння	ЛС-80	320–800	3–4
2	Після фугування	СФ-4	60–120	6–7
3	Після рейсмусування	СР-6	60–100	6–7
4	Після фрезерування (С26-2А)	С26-2А	32–60	7–8
5	Після шліфування (зерн. 80)	ШлПС-8	16–32	8–9
6	Після шліфування (зерн. 120)	ШлПС-8	8–16	9–10

Після механічної обробки готові вироби проходять антисептичну обробку шляхом занурення у ванну з водорозчинним антисептиком або методом вальцьового нанесення. Використовуються антисептики на основі борної кислоти або солей міді (KHBBFK, Boramon), що відповідають вимогам ДСТУ EN 335 щодо захисту деревини від гниття і синяви [30, 31].

Аналіз відходів та показники виходу готової продукції. Ефективне управління матеріальними потоками та мінімізація відходів є одним з ключових завдань організації виробництва погонажних виробів. Деревина хвойних порід є дорогоцінною природною сировиною, і кожен відсоток покращення виходу готової продукції безпосередньо відображається на собівартості та прибутковості підприємства.

Технологічні втрати деревини в процесі виробництва декоративного погонажу виникають на кожній операції механічної обробки. Їх класифікація, джерела утворення та орієнтовні норми наведені в табл. 3.5.

Таблиця 3.5

Структура технологічних втрат деревини та вихід готової продукції

№	Вид втрат	Де виникають	Норма втрат, %	Приклад утилізації
1	2	3	4	5
1	Опилки	Усі операції різання	4–6	Паливо, виробництво пелет
2	Стружка фугувальна	Фугування, рейсмус, С26-2А	8–12	Паливо, деревостружкові плити
3	Шліфувальний пил	ШЛПС-8	1–2	Спалювання
4	Торцівкові відрізки (некондиція)	Первинна та вторинна торцівка	5–8	Паливо, технологічна тріска

Продовження таблиці 3.5

1	2	3	4	5
5	Сортування: відбракування	ВТК (перший та другий сорт)	3–5	Продаж нижчого сорт, паливо
РАЗОМ	Загальні технологічні втрати	—	21–33	—
—	Вихід готової продукції	—	67–79 %	—

Загальний вихід готової продукції з пиломатеріалів становить 67–79 % залежно від сорту вихідної сировини, складності профілю та вимог до якості. Для виробів першого сорту з профілем середньої складності типовий вихід складає 72–75 %. Цей показник є значно вищим, ніж при виробництві меблевого щита або паркету (55–65 %), що пояснюється меншою кількістю операцій поперечного розкрою [31].

Всі утворені відходи (стружка, тирса, обрізки) підлягають обов'язковій утилізації. Технологічна стружка від чотиристороннього верстата є найціннішим видом відходів – вона може використовуватися для виробництва деревостружкових плит. Тирса і шліфувальний пил спалюються у котельні для вироблення тепла, необхідного для роботи сушильних камер. Таким чином, підприємство забезпечує майже повну замкнутість матеріального циклу.

3.3 Розрахунок завантаженості основного технологічного обладнання та аналіз виробничих потужностей

Результати розрахунку завантаженості. Нижче наведено розрахунок потрібного фонду часу та коефіцієнта завантаженості для кожної одиниці основного технологічного обладнання.

Для торцювального верстата ЦКБ-40 (первинна торцівка): норма виробітку 2 500 тис. пог.м./год;

$$T_{\text{потр}} = 5\,000 / 2\,500 = 2,0 \text{ тис. год} = 2\,000 \text{ год};$$

$$K_{\text{зав}} = 2\,000 / 3\,600 \times 100 \% = 55,6 \%.$$

Для стрічкопильного верстата ЛС-80 (поздовжня розкрійка): норма виробітку 1 800 тис. пог.м./год;

$$T_{\text{потр}} = 5\,000 / 1\,800 = 2\,778 \text{ год};$$

$$K_{\text{зав}} = 2\,778 / 3\,600 \times 100 \% = 77,2 \%.$$

Для фугувального верстата СФ-4: норма виробітку 1 600 тис. пог.м./год;

$$T_{\text{потр}} = 5\,000 / 1\,600 = 3\,125 \text{ год};$$

$$K_{\text{зав}} = 3\,125 / 3\,600 \times 100 \% = 86,8 \%.$$

Для рейсмусного верстата СР-6: норма виробітку 1 700 тис. пог. м./год;

$$T_{\text{потр}} = 5\,000 / 1\,700 = 2\,941 \text{ год};$$

$$K_{\text{зав}} = 2\,941 / 3\,600 \times 100 \% = 81,7 \%.$$

Для чотиристороннього верстата С26-2А (ключова операція профілювання): норма виробітку 1 200 тис. пог.м./год;

$$T_{\text{потр}} = 5\,000 / 1\,200 = 4\,167 \text{ год};$$

$$K_{\text{зав}} = 4\,167 / 3\,600 \times 100 \% = 115,8 \% - \text{перевантаження}.$$

Для широкострічкового шліфувального верстата ШЛПС-8: норма виробітку 2 000 тис. пог.м./год;

$$T_{\text{потр}} = 5\,000 / 2\,000 = 2\,500 \text{ год};$$

$$K_{\text{зав}} = 2\,500 / 3\,600 \times 100 \% = 69,4 \%.$$

Для торцювального верстата ЦКБ-40-01 (вторинна торцівка): норма виробітку 2 500 тис. пог. м./год. Всі розрахунки завантаженості основного обладнання зведено у табл. 3.6.

$$T_{\text{потр}} = 2\,000 \text{ год};$$

$$K_{\text{зав}} = 55,6 \, \%.$$

Таблиця 3.6

Зведена відомість розрахунку завантаженості основного обладнання

Обладнання	Річна програма , тис. пм	Норма виробітку , пм/год	Потрібний фонд часу, год	Ефективний фонд часу, год	Коефіцієнт завантаженості , %
Торцювальний верстат ЦКБ-40	5 000	2 500	2 000	3 600	55,6
Стрічкопильний верстат ЛС-80	5 000	1 800	2 778	3 600	77,2
Фугувальний верстат СФ-4	5 000	1 600	3 125	3 600	86,8
Рейсмусний верстат СР-6	5 000	1 700	2 941	3 600	81,7
Чотирибічний верстат С26-2А	5 000	1 200	4 167	3 600	115,8 *
Шліфувальний верстат ШЛПС-8	5 000	2 000	2 500	3 600	69,4
Торцювальний верстат ЦКБ-40-01	5 000	2 500	2 000	3 600	55,6

* Чотирибічний верстат С26-2А при роботі в одній одиниці є «вузьким місцем» виробництва – його завантаженість (115,8 %) перевищує ефективний фонд

часу. Це означає, що при заданій річній програмі 5 000 тис. пог. м. одного верстата недостатньо.

Обґрунтування необхідної кількості обладнання. Виходячи з результатів розрахунку, для операції профілювання (чотирибічний верстат С26-2А) необхідно встановити 2 одиниці обладнання. Перерахований коефіцієнт завантаженості для двох одиниць:

$$K_{зав(2 од.)} = 4\,167 / (2 \times 3\,600) \times 100 \% = 4\,167 / 7\,200 \times 100 \% = 57,9 \%$$

Коефіцієнт 57,9 % для двох одиниць є дещо нижчим від нормативного діапазону 70–85 %, проте це виправдано специфікою виробництва: операція профілювання є найбільш відповідальною, вимагає частих переналаштувань при зміні асортименту (кожен вид виробу – своя оснастка), а також потребує часу на технічне обслуговування (заточування та балансування ножових головок). Наявність резервної потужності дозволяє гнучко реагувати на сезонні коливання попиту та нарощувати обсяги виробництва без додаткових інвестицій.

Для всіх інших видів обладнання достатньо однієї одиниці, оскільки їх розрахункові коефіцієнти завантаженості знаходяться у нормативному діапазоні (тал. 3.7).

Таблиця 3.7

Уточнена відомість завантаженості обладнання з урахуванням кількості одиниць

Обладнання	Кількість одиниць	Потрібний фонд часу, год	Загальний фонд часу (×од), год	Ефективний фонд (×K _p =0,9), год	Уточнений K _{зав} , %
1	2	3	4	5	6
Торцювальний верстат ЦКБ-40	1	2 000	4 000	3 600	55,6
Стрічкопильний верстат ЛС-80	1	2 778	4 000	3 600	77,2
Фугувальний верстат СФ-4	1	3 125	4 000	3 600	86,8
Рейсмусний верстат СР-6	1	2 941	4 000	3 600	81,7

Продовження таблиці 3.7

1	2	3	4	5	6
Чотирибічний верстат С26-2А	2	4 167	8 000	7 200	57,9
Шліфувальний верстат ШЛПС- 8	1	2 500	4 000	3 600	69,4
Торцювальний верстат ЦКБ- 40-01	1	2 000	4 000	3 600	55,6

Таким чином, прийнятий склад основного технологічного обладнання забезпечує виконання річної програми 5 000 тис. пог. м. при нормативному рівні завантаженості (55–87 %) по більшості видів обладнання. Найбільш завантаженим є фугувальний верстат СФ-4 (86,8 %) та рейсмусний верстат СР-6 (81,7 %), що відповідає нормі. Наявність двох чотирибічних верстатів забезпечує гнучкість виробничого процесу та є обґрунтованим технологічним рішенням.

Організація інструментального господарства та технічне обслуговування обладнання. Ефективність технологічного процесу виробництва декоративного погонажу значною мірою залежить від стану різального інструменту. Для чотиристороннього верстата С26-2А застосовуються профільні ножі зі швидкорізальних сталей (Р6М5, Р18) або твердосплавні пластини (НВ – hardwood/softwood grade). Твердосплавний інструмент має стійкість у 15–20 разів вищу порівняно з HSS-ножами, але значно дорожчий і вимагає спеціального обладнання для заточування (алмазних кругів).

Для підтримання якості продукції на заданому рівні встановлюється норматив стійкості інструменту – максимальна кількість погонних метрів, що обробляється до чергового перезаточування. Для ножів С26-2А з HSS-сталі цей норматив становить 3 000–5 000 пог. м., для твердосплавних: 15 000–25 000 пог. м. залежно від профілю та породи деревини.

На підприємстві організовується інструментальна майстерня, оснащена: заточувальним верстатом з ЧПК для профільних ножів, балансувальним стендом для ножових головок, контрольно-вимірювальним обладнанням (профілометр, мікроскоп для контролю ріжучої кромки). Ведеться картотека інструменту із зазначенням кількості заточувань та залишкового ресурсу кожного ножа.

Технічне обслуговування основного обладнання проводиться відповідно до графіку планово-попереджувального ремонту (ППР): щоденне обслуговування (змащування, очищення від стружки, перевірка кріплень) – виконується оператором верстата; щотижневе обслуговування (перевірка і регулювання притискних елементів, перевірка биття шпинделів) – виконується слюсарем-механіком; щомісячне обслуговування (заміна мастила у підшипниках, діагностика шпинделів, регулювання приводів подачі).

Таким чином, за результатами аналізу та розрахунків встановлено, що технологічний процес забезпечує вихід готової продукції на рівні 67–79 % (з технологічними втратами 21–33 %), а більшість обладнання працює в нормативному діапазоні завантаження 55–87 %. Виявлено «вузьке місце» – чотирибічний верстат С26-2А (115,8 %), для якого обґрунтовано встановлення двох одиниць із зниженням завантаженості до 57,9 %, що забезпечує збалансованість виробничої системи та стабільне виконання програми.

РОЗДІЛ IV

ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ПОГОНАЖНИХ ВИРОБІВ НА ПІДПРИЄМСТВІ

4.1 Аналіз існуючих проблем та ідентифікація резервів підвищення ефективності виробництва

Для системної ідентифікації слабких місць і потенціалу вдосконалення технологічного процесу виробництва погонажних виробів доцільно застосувати метод SWOT-аналізу, що дозволяє структурувати сильні та слабкі сторони виробництва, а також зовнішні можливості й загрози. Використання даного методу дає змогу комплексно оцінити стан виробничої системи, визначити чинники, які обмежують продуктивність підприємства, та виявити резерви для підвищення ефективності використання матеріальних, трудових і технічних ресурсів [31–34].

До сильних сторін виробництва декоративного погонажу належать використання доступної та відносно недорогої сировини з хвойних порід деревини, високий рівень механізації основних технологічних операцій, а також стабільний попит на продукцію з боку будівельної та меблевої галузей. Крім того, сучасне профілювальне обладнання забезпечує високу точність геометричних розмірів виробів і належну якість поверхні, що дозволяє випускати конкурентоспроможну продукцію та розширювати асортимент відповідно до вимог споживачів (табл. 4.1).

Водночас аналіз виробничого процесу дозволив виявити низку проблем, які негативно впливають на ефективність виробництва. Основними з них є значні технологічні втрати деревини під час розкрою та механічної обробки, необхідність частого переналагодження профілювального обладнання при зміні асортименту продукції, а також нерівномірне завантаження окремих верстатів. Особливої уваги потребує операція чотиристороннього профілювання, яка є найбільш

відповідальною та характеризується високою трудомісткістю налаштування інструменту і значним впливом на загальну продуктивність виробничої лінії [32].

Таблиця 4.1

SWOT-аналіз виробництва декоративних погонажних виробів

СИЛЬНІ СТОРОНИ (Strengths)	СЛАБКІ СТОРОНИ (Weaknesses)
С1. Наявне технологічне обладнання забезпечує повний цикл виробництва; С2. Сосна та ялина – доступна місцева сировина; С3. Кваліфікований персонал з досвідом деревообробки; С4. Широкий асортимент профілів (6 видів виробів); С5. Безвідходне виробництво (відходи – в котельню).	СЛ1. Чотирибічний верстат С26-2А – вузьке місце (Кзав=115,8 % при 1 одиниці); СЛ2. Тривалі простої при переналаштуванні на новий профіль (2–4 год); СЛ3. Ручний контроль якості – суб'єктивний та повільний; СЛ4. Висока енергоємність камерного сушіння; СЛ5. Відсутність автоматизованого обліку руху матеріалів
МОЖЛИВОСТІ (Opportunities)	ЗАГРОЗИ (Threats)
М1. Зростаючий ринок будівельного оздоблення в Україні; М2. Державні програми підтримки деревообробних підприємств; М3. Сучасні ЧПК-верстати суттєво скорочують час переналаштування; М4. Впровадження систем рекуперації тепла знижує витрати на сушіння; М5. Цифровізація обліку (MES/ERP) підвищує прозорість виробництва	З1. Підвищення цін на сировину (пиломатеріали); З2. Конкуренція з імпортними виробами (ПВХ-плінтус, МДФ-погонаж); З3. Нестабільність курсу гривні (імпортне обладнання/інструмент); З4. Дефіцит кваліфікованих операторів ЧПК на ринку праці; З5. Жорсткіші екологічні вимоги до деревообробки

Основними резервами підвищення ефективності виробництва є впровадження автоматизованих систем оптимізації розкрою деревини,

використання сучасного твердосплавного інструменту з підвищеною стійкістю, удосконалення системи планово-попереджувального ремонту обладнання та оптимізація виробничих потоків. Додатковими напрямками вдосконалення можуть бути розширення застосування пальцево-зрошених заготовок, автоматизація контролю якості продукції та більш повне використання відходів деревообробки для енергетичних потреб підприємства. Реалізація зазначених заходів дозволить підвищити продуктивність праці, зменшити собівартість продукції, скоротити втрати сировини та забезпечити зростання конкурентоспроможності підприємства на ринку погонажних виробів.

Діагностика втрат виробничого часу. Аналіз хронометражних карток і журналів простоїв за один квартал виявив таку структуру невиробничих втрат робочого часу по основному технологічному обладнанню (у відсотках від номінального фонду) [33]:

- простої на переналаштування (зміна асортименту/профілю): 18,4 % від номінального фонду часу на операції профілювання (C26-2A);
- очікування матеріалів (заготовок) на операціях через незбалансованість потоку: 8,2 %;
- технічне обслуговування, заточка та заміна інструменту: 7,6 %;
- регулювання та усунення наслідків браку: 4,1 %;
- організаційні перерви та інше: 2,7 %.

Таким чином, загальні втрати виробничого часу на ділянці профілювання сягають 41 % від номінального фонду. Найбільша питома вага належить переналаштуванням (18,4 %), що є цільовою точкою для першочергового втручання. Виробничі системи, засновані на принципах ощадливого виробництва (Lean Manufacturing), класифікують переналаштування як один з «семи видів втрат» (muda) і пропонують системний метод їх скорочення – SMED (Single-Minute Exchange of Die) [32].

Сутність методу SMED та його застосування в деревообробці. Методологія SMED (Single-Minute Exchange of Die – «заміна інструменту за одну хвилину») розроблена японським інженером Сінго Сігео у 1950–1980 роках і первісно застосовувалась у штампувальному виробництві. Сьогодні SMED є загальноновизнаним інструментом ощадливого виробництва і успішно впроваджується у деревообробній галузі, зокрема на підприємствах з виробництва погонажу та меблів [33].

Ключова ідея SMED полягає у розмежуванні внутрішніх і зовнішніх елементів переналаштування. Внутрішні елементи – операції, що можуть виконуватися лише при зупиненому верстаті (демонтаж і монтаж ножових головок, регулювання положення шпинделів). Зовнішні елементи – операції, що можуть виконуватися заздалегідь, до зупинки верстата (підготовка інструменту, перевірка заточки ножів, отримання завдання і технологічних карт). Перетворення максимальної кількості внутрішніх елементів на зовнішні, а також паралелізація і спрощення внутрішніх операцій дозволяють різко скоротити загальний час переналаштування.

За результатами хронометражу переналаштування верстата C26-2A при зміні профілю (наприклад, з плінтуса 60×22 мм на наличник фігурний 70×22 мм) встановлено поточний час: 220 хвилин (3,7 год). Детальний аналіз наведено в табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Аналіз та оптимізація операцій переналаштування верстата C26-2A за SMED

№	Елемент переналаштування	Тип (внутр./зовн.)	Час до SMED, хв	Тип після	Час після SMED, хв
1	2	3	4	5	6
1	Пошук і доставка комплекту ножів	Внутр.	25	Зовн.	0 (підготовлено заздалегідь)

Продовження таблиці 4.2

1	2	3	4	5	6
2	Демонтаж ножових головок	Внутр.	40	Внутр.	20 (швидкозатискні патрони)
3	Встановлення нових ножів і регулювання	Внутр.	60	Внутр.	20 (базові упори + відеопідказка)
4	Налаштування притискних роликів і направляючих	Внутр.	30	Внутр.	10 (розмічені шкали)
5	Пробний запуск і виправлення відхилень	Внутр.	45	Внутр.	10 (перевірочний шаблон)
6	Оформлення документації	Внутр.	20	Зовн.	0 (заповнюється до зупинки)
РАЗОМ			220 хв ($\approx 3,7$ год)		60 хв ($\approx 1,0$ год)

Як видно з табл. 4.2, впровадження SMED дозволяє скоротити час переналаштування з 220 до 60 хвилин, тобто більш ніж утричі. Ключові заходи для досягнення цього результату [34]:

1. Введення системи «інструментальних візків» – для кожного виду профілю формується окремий комплект ножів у маркованому контейнері. Наступний комплект готується заздалегідь, паралельно з виробництвом поточної партії.

2. Переведення ножових головок на швидкозатискні патрони (типу Hydro-Grip або аналоги) замість традиційних болтових з'єднань. Це скорочує час монтажу-демонтажу однієї головки з 20 до 7–8 хвилин.

3. Встановлення на станині верстата розмічених шкал і базових упорів з маркуванням під кожний тип профілю, що виключає потребу у вимірюванні і підборі регулювань «наосліп».

4. Розроблення відеоінструкцій та контрольних карт переналаштування для кожного профілю, доступних оператору через планшет, кріплений безпосередньо на верстаті.

5. Перенесення оформлення документації (запис у журналі, підпис карти якості) до зовнішньої операції – виконується під час роботи верстата на пробному запуску.

Економічний ефект від скорочення часу переналаштування. Розрахунок економічного ефекту від впровадження SMED базується на визначенні додаткового ефективного фонду часу, що вивільняється завдяки скороченню простоїв.

Середня кількість переналаштувань на рік: за умови виробництва 6 видів виробів з розбивкою по партіях – приблизно 96 переналаштувань/рік (у середньому 8 на місяць).

$$\Delta T = n \times (T_{\text{поч}} - T_{\text{smed}}) = 96 \times (220 - 60) = 96 \times 160 = 15\,360 \text{ хв} = 256 \text{ год/рік}$$

де n – кількість переналаштувань на рік;

$T_{\text{поч}}$ – початковий час одного переналаштування, хв;

T_{smed} – час переналаштування після SMED, хв.

Додатковий обсяг продукції, що може бути вироблений за вивільнений час (при продуктивності C26-2A = 1 200 пог.м./год):

$$\Delta Q = \Delta T \times H_{\text{вир}} = 256 \times 1\,200 = 307\,200 \text{ пм} \approx 307 \text{ тис. пог.м./рік}$$

При середній ціні реалізації 420 грн/100 пог.м. і рентабельності продукції 18 %:

$$E_{\text{річ}} = \Delta Q \times C \times P = 307\,000 \text{ пог.м.} \times (420/100) \times 0,18 \approx 231,9 \text{ тис. грн/рік}$$

Капітальні витрати на впровадження SMED (швидкозатискні патрони, маркування, розробка відеоінструкцій, навчання персоналу) становлять 30000–60000 грн. Термін окупності:

$$T_{\text{ок}} = K_{\text{випр}} / E_{\text{річ}} = 45\,000 / 231\,900 \approx 0,2 \text{ роки (близько 2,5 місяці)}$$

Таким чином, впровадження SMED є заходом з найвищим пріоритетом та найкоротшим терміном окупності серед усіх пропонованих заходів.

Впровадження ЧПК чотирибічного верстата для операції профілювання. Аналіз завантаженості обладнання, проведений у розділі 3, підтвердив, що чотирибічний верстат С26-2А є технологічним вузьким місцем виробництва – при однобічному режимі роботи його завантаженість становить 115,8 %. Для компенсації цього дефіциту потужності прийнято рішення про встановлення другої одиниці обладнання (табл. 4.3). Пропонується придбати не ідентичний С26-2А, а сучасний чотирибічний верстат з числовим програмним керуванням (ЧПК), що дозволить одночасно вирішити проблему потужності і підвищити гнучкість та якість виробництва.

Таблиця 4.3

Порівняльна характеристика наявного та пропонованого обладнання для операції профілювання

Показник	Верстат С26-2А (наявний)	ЧПК чотирибічний верстат (пропонований)
1	2	3
Час переналаштування на новий профіль	2–4 год	15–30 хв
Кількість профілів у пам'яті	Обмежена наявним інструментом	500+ програм
Точність профілю, мм	±0,3–0,5	±0,05–0,1
Шорсткість поверхні Rz, мкм	32–60	16–32
Продуктивність, пм/год	1 000–1 400	1 400–1 800
Кількість обслуговуючих операторів	2 особи / верстат	1 особа / верстат
Витрати на інструмент (відносно)	100 %	65–75 %

1	2	3
Мінімальна партія без збитків, тис. пм	50–100	5–10
Орієнтовна вартість придбання, тис. грн	Наявне	1 800–2 500

Технічні характеристики пропонованого обладнання. Пропонується придбання чотирибічного верстата з ЧПК класу «Weinig Powermat 700» або вітчизняного аналогу «Руслан-500» з такими ключовими технічними характеристиками:

- кількість шпинделів: 6 (2 горизонтальних + 2 вертикальних + 2 додаткових для складних профілів);
- частота обертання шпинделів: 3 000–9 000 об/хв (плавно регульована);
- швидкість подачі: 6–25 м/хв (регулюється з пульта ЧПК);
- максимальний переріз заготовки: 230×130 мм;
- пам'ять програм: необмежена (зберігання на вбудованому носії або мережевому сервері);
- система позиціонування шпинделів: сервоприводи з точністю $\pm 0,01$ мм;
- інтерфейс оператора: сенсорна панель 15 з графічним відображенням профілю;
- вбудована система аспірації: продуктивність 4 000 м³/год.

Економічне обґрунтування придбання ЧПК верстата. Вартість ЧПК верстата залежно від виробника та комплектації: 1800000–2500000 грн. Розрахунок економічного ефекту від його впровадження враховує декілька складових.

Перша складова – підвищення продуктивності. Продуктивність ЧПК верстата – 1 400–1 800 пог.м./год проти 1 200 пог.м./год у С26-2А. Приріст продуктивності: +200–600 пм/год. При роботі додаткового верстата 3 600 год/рік (ефективний фонд):

$$\Delta Q_{\text{прирост}} = 400 \text{ пог.м./год} \times 3\,600 \text{ год} = 1\,440\,000 \text{ пог.м} = 1\,440 \text{ тис. пог.м/рік}$$

Друга складова – скорочення витрат на інструмент. Застосування ЧПК верстата з оптимізацією режимів різання і точним позиціонуванням подовжує стійкість інструменту, знижуючи витрати на нього приблизно на 30–35 % порівняно з С26-2А.

Третя складова – зниження витрат на заробітну плату. ЧПК верстат обслуговується одним оператором замість двох, що дає економію:

$$E_{\text{зн}} = C_{\text{ставка опер.}} \times 12 \text{ міс.} = 18\,000 \text{ грн/міс.} \times 12 = 216\,000 \text{ грн/рік}$$

Сукупний річний економічний ефект від впровадження ЧПК верстата (з урахуванням приросту обсягів виробництва, економії на інструменті та зарплаті) складає 620 000–850 000 грн/рік. Простий термін окупності:

$$T_{\text{ок}} = K / E_{\text{річ}} = 2\,150\,000 / 735\,000 \approx 2,9 \text{ роки}$$

Термін окупності 2,9 роки є прийнятним для технологічного обладнання і значно нижчим від нормативного для деревообробних підприємств (5–8 років).

Оптимізація процесу сушіння деревини шляхом впровадження системи рекуперації тепла. Камерне сушіння деревини є найбільш енергоємним процесом у виробництві погонажних виробів. Питома витрата теплової енергії при конвективному сушінні хвойних пиломатеріалів у традиційних камерах становить 3500–4500 кДж на кілограм випаруваної вологи, або близько 350–450 кВт·год/м³ висушеного матеріалу.

При річній потребі у сушінні приблизно 3 500 м³ пиломатеріалів (з початкової вологості 65 % до кінцевої 12 %) маса вологи, що видаляється, становить:

$$W_{\text{вол}} = V \times \rho \times (W_{\text{поч}} - W_{\text{кін}}) / 100 = 3\,500 \times 500 \times (65 - 12) / 100 = 927\,500 \text{ кг} \approx 928 \text{ т/рік}$$

де V – обсяг сировини, м³;

ρ – щільність хвойних пиломатеріалів при $W = 65 \%$, кг/м³;

$W_{поч}$, $W_{кін}$ – початкова та кінцева вологість, %.

Поточні витрати теплової енергії на сушіння:

$$Q_{річн} = W_{вол} \times W_{поч} = 928\,000 \times 4\,000 = 3\,712\,000\,000 \text{ кДж/рік} \approx 1\,031 \text{ МВт} \cdot \text{год/рік}$$

Технічне рішення: система рекуперації тепла відпрацьованого повітря. Відпрацьоване повітря, що виводиться з сушильної камери, має температуру 50–70 °С і відносну вологість 80–95 %. Воно містить значний тепловий потенціал, який при традиційній схемі безповоротно втрачається в атмосферу. Система рекуперації тепла (теплообмінник «відпрацьоване повітря – свіже повітря») дозволяє утилізувати 35–45 % теплового потенціалу відхідного потоку (тал. 4.4).

Таблиця 4.4

Порівняння режимів та ефективності сушіння деревини

Параметр	Конвективне сушіння (наявне)	Конвективне + рекуперація (пропонується)	НВЧ-сушіння (перспектива)
Тривалість циклу сушіння, діб	5–10	4–7	0,5–2
Питомі витрати тепла, кДж/кг випаруваної води	3 500–4 500	2 100–2 800	1 500–2 000
Нерівномірність сушіння, %	±3–5	±2–3	±1–2
Ризик внутрішніх тріщин	Середній	Низький	Низький
Витрати на обладнання (відносно)	100 %	130–150 %	250–300 %
Термін окупності, роки	—	2–3	5–8

Конструктивно система рекуперації являє собою пластинчастий або роторний теплообмінник, вмонтований у вентиляційний тракт камери. Свіже повітря, що

надходить з вулиці, підігрівається відхідним потоком і надходить у камеру вже частково нагрітим, знижуючи потребу в основному нагрівальному елементі (парові реєстри або калорифери).

Розрахунок річної економії теплової енергії при ККД рекуператора 40 %:

$$\Delta Q_{\text{екон}} = Q_{\text{річн}} \times \eta = 1\,031 \text{ МВт} \cdot \text{год} \times 0,40 = 412 \text{ МВт} \cdot \text{год/рік}$$

Вартість економленої теплоенергії (при ціні 1900 грн/Гкал $\approx$ 1,64 грн/кВт·год):

$$E_{\text{енерг}} = 412\,000 \text{ кВт} \cdot \text{год} \times 1,64 \text{ грн} = 675\,680 \text{ грн/рік} \approx 676 \text{ тис. грн/рік}$$

Однак слід зазначити, що підприємство частково використовує власне тверде паливо (відходи виробництва) для котельні. З урахуванням цього реальна грошова економія оцінюється в 120000–180000 грн/рік (частина заощадженої теплоенергії замінює закупівельне паливо, частина – знижує витрати на ресурс котла).

Додатковий ефект від рекуперації – скорочення тривалості сушильного циклу на 20–25 % (за рахунок підвищення початкової температури і стабільності умов у камері), що безпосередньо збільшує пропускну здатність сушарки.

Впровадження автоматизованої системи контролю якості готової продукції. У сучасному виробництві декоративних погонажних виробів якість поверхні є критичним конкурентним параметром. Споживачі будівельного оздоблення все частіше вимагають продукцію першого сорту, вільну від задирок, рисок, синяви та інших видимих дефектів. Ручний візуальний контроль, що застосовується на підприємстві, має суттєві обмеження (табл. 4.5).

Порівняльна характеристика методів контролю якості погонажних виробів

Показник	Ручний ВТК (наявний)	Автоматизований відеоконтроль (пропонується)
Виявлення дефектів поверхні (задири, риски)	70–80 %	96–99 %
Контроль розмірів профілю	Вибірковий (5–10 % партії)	100 % потоку
Швидкість контролю, пм/хв	10–15	До 30
Суб'єктивність оцінки	Висока (залежить від оператора)	Відсутня
Витрати на контроль (на 1000 пм), грн	120–180	30–50
Зменшення рекламаций від клієнтів	—	40–60 %
Вартість системи, тис. грн	—	350–500

Технічна архітектура системи автоматизованого контролю. Пропонована система автоматизованого контролю якості (АКЯ) складається з таких основних компонентів [33, 34]:

1. Блок сканування – лінійні відеокамери з роздільною здатністю 0,1 мм/піксель (4 камери: верх, низ, ліворуч, праворуч), що забезпечують огляд всього периметра профілю в режимі реального часу. Швидкість сканування – до 30 пог.м/хв.

2. Блок лазерного профілометра – лазерний трикутник, що вимірює геометрію профілю поперечного перерізу з точністю $\pm 0,05$ мм у 500 точках по периметру. Вимірювання виконуються кожні 200 мм по довжині виробу.

3. Блок обробки зображень – промисловий комп'ютер з програмним забезпеченням машинного зору (OpenCV або спеціалізовані пакети типу Cognex

VisionPro). ПЗ навчене на базі даних з 5000+ зображень дефектів і еталонів.

4. Механізм відхилення бракованих виробів – пневматичний штовхач, що спрацьовує через 0,3–0,5 с після виявлення дефекту та відхиляє брак у окремий бункер.

5. Модуль статистики та звітності – формує зведення за кожну зміну: кількість відхилених виробів, типи і координати дефектів, тренди якості. Дані передаються в систему управління виробництвом.

Вартість впровадження системи АКЯ: 350000–500000 грн. Термін окупності 2–3 роки, враховуючи скорочення витрат на ручний контроль та зниження рекламаций від клієнтів.

Оптимізація розкрою пиломатеріалів за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення. Операція первинної розкрійки пиломатеріалів має безпосередній вплив на коефіцієнт використання сировини – найдорожчого ресурсу у структурі собівартості погонажних виробів. При ручному способі формування карт розкрою (схем пиляння) майстер, спираючись на власний досвід, визначає послідовність і напрям розрізів. Цей підхід дає вихід заготовок 71–74 %, тоді як математично оптимальне розв'язання задачі нестингу (розміщення деталей на листі/сортименті) дозволяє досягти 78–82 % (талл. 4.6).

Таблиця 4.6

Ефективність розкрою до та після впровадження програмного забезпечення

Показник	До оптимізації розкрою	Після впровадження ПЗ оптимізації
1	2	3
Метод формування карт розкрою	Ручний (досвід майстра)	Автоматичний (алгоритм нестингу)
Середній вихід заготовок, %	71–74	78–82
Час формування карти розкрою, хв	30–60	2–5

1	2	3
Облік залишків та обрізків	Відсутній	Автоматичний облік у базі
Зниження витрат на сировину на 1 тис. пог.м., грн	—	180–250
Річна економія при програмі 5 000 тис. пог.м., тис. грн	—	900–1 250

Вибір та характеристика програмного забезпечення. Для підприємств деревообробної галузі існує ряд спеціалізованих програмних рішень для оптимізації розкрою лінійного матеріалу (пиломатеріалів): Cut Rite (Holzma), OptiCut, WoodWOP Nesting, а також вітчизняні аналоги. Ці програми вирішують задачу одновимірної нестінгу: розміщення набору заготовок різної довжини на пиломатеріалах різної довжини з мінімізацією відходів.

Алгоритм оптимізації враховує: перелік необхідних заготовок (за видами виробів і розмірами), наявний запас пиломатеріалів різних довжин і сортів, мінімальну довжину залишку (що підлягає зберіганню або списується), норматив вирізки дефектів. Результат – оптимальні карти розкрою для кожного пиломатеріалу з відображенням на екрані та можливістю передачі на автоматичний торцювальний верстат з числовим позиціонуванням упора.

Вартість ліцензії на програмне забезпечення оптимізації розкрою: 40000–70000 грн (одноразова ліцензія з підтримкою 1 рік). Додаткові витрати на навчання персоналу та інтеграцію з обліковою системою: 15000–25000 грн.

Економічний ефект від оптимізації розкрою. Підвищення виходу заготовок з 72,5 % (середнє наявне) до 80 % (середнє після оптимізації) при річному споживанні пиломатеріалів 3 500 м³ і ціні 4 800 грн/м³:

$$E_{загот} = V \times \Delta_{Вихід} \times Ц = 3\,500 \times (0,80 - 0,725) \times 4\,800 = 3\,500 \times 0,075 \times 4\,800 = 1260\,000 \text{ грн/рік}$$

Однак слід зважити, що не весь «зекономлений» матеріал перетворюється на готову продукцію – частина піде на покриття бракованих виробів. Консервативна оцінка реальної економії – 70 % від розрахункової:

$$E_{\text{консерв}} = 1\,260\,000 \times 0,70 \approx 882\,000 \text{ грн/рік} \approx 882 \text{ тис. грн/рік}$$

Це робить оптимізацію розкрою одним із найбільш економічно привабливих заходів у даному переліку при мінімальних капітальних вкладеннях.

Впровадження системи оперативного обліку матеріалів та незавершеного виробництва. Ефективне управління матеріальними потоками є необхідною умовою для реалізації всіх попередніх пропозицій. Відсутність оперативного обліку руху матеріалів між операціями призводить до: несвоєчасного виявлення дефіциту заготовок на окремих ділянках; надлишкового накопичення запасів незавершеного виробництва (НЗВ), що заморожує оборотні кошти; неможливості відстежити партію при виникненні рекламаций (відсутність трасування).

Пропонується впровадити спрощений MES-модуль (Manufacturing Execution System) на базі доступних веб-платформ або адаптації наявної облікової системи 1С:Підприємство. Функціональний мінімум системи: реєстрація руху партій матеріалів між операціями шляхом сканування штрих-коду/QR-коду на супровідній картці; оперативний облік залишків НЗВ на кожній ділянці; автоматичне формування відомостей списання матеріалів; журнал якості з прив'язкою дефектів до конкретних партій сировини.

Впровадження такої системи дозволяє: виявляти вузькі місця потоку в режимі реального часу; знизити рівень НЗВ на 15–25 % (вивільнення оборотних коштів); скоротити витрати часу майстра та технолога на облікові операції на 60–70 %; підвищити оперативність реагування на відхилення якості.

Вартість впровадження: 100 000–150 000 грн. Розрахунковий річний ефект: 60000–90000 грн за рахунок зниження НЗВ і підвищення ефективності управлінського персоналу. Термін окупності: 1,2–2 роки.

4.2 Оцінка економічної ефективності запропонованих заходів

Економічна ефективність запропонованих заходів полягає у підвищенні продуктивності праці, більш повному використанні виробничих потужностей та зниженні собівартості виготовлення декоративних погонажних виробів. Реалізація заходів щодо оптимізації технологічного процесу, удосконалення організації виробництва та підвищення рівня технічного оснащення сприятиме скороченню непродуктивних витрат часу, зменшенню кількості переналагоджень обладнання та підвищенню стабільності виробничих процесів.

Особливо важливим є зниження втрат деревини під час розкрою, стругання, профілювання та шліфування, оскільки витрати на сировину становлять значну частку у структурі собівартості продукції. Використання сучасного твердосплавного інструменту дозволить суттєво збільшити міжзаточувальний ресурс різальних елементів, зменшити витрати на технічне обслуговування та скоротити тривалість простоїв обладнання. Одночасно впровадження автоматизованих систем контролю якості та оптимізації розкрою забезпечить підвищення виходу придатної продукції, скорочення обсягів браку та ефективніше використання пиломатеріалів. Важливим резервом економії також є комплексне використання відходів деревообробки, які можуть бути використані як паливо для сушильних камер або реалізовані як сировина для виробництва деревостружкових плит і паливних гранул.

У результаті впровадження запропонованих заходів очікується збільшення обсягів випуску продукції без суттєвого розширення виробничих площ і чисельності персоналу, покращення техніко-економічних показників роботи підприємства та підвищення його конкурентоспроможності на внутрішньому й зовнішньому ринках. Зниження собівартості одиниці продукції та підвищення її якості сприятимуть зростанню прибутку підприємства, скороченню терміну

окупності інвестицій у модернізацію виробництва та забезпеченню стабільного економічного розвитку в довгостроковій перспективі (табл. 4.7).

Таблиця 4.7

**Зведена економічна оцінка пропозицій щодо підвищення ефективності
виробництва**

№	Захід	Капітальні витрати, тис. грн	Річний економічний ефект, тис. грн	Термін окупності, роки	Пріоритет впровадження
1	Придбання ЧПК чотирибічного верстата (заміна С26- 2А)	1 800–2 500	620–850	2,5–3,5	Високий
2	Система рекуперації тепла сушильних камер	280–380	120–180	2,0–3,0	Високий
3	Автоматизована система відеоконтролю якості	350–500	140–220	2,0–3,0	Середній
4	Впровадження системи SMED для скорочення переналаштування	30–60	80–130	0,3–0,6	Найвищий
5	Автоматизований облік матеріалів (MES- модуль)	100–150	60–90	1,2–2,0	Середній
6	Оптимізація розкрою (програмне забезпечення)	40–70	90–140	0,4–0,7	Найвищий
РАЗОМ		2 600–3 660	1 110–1 610	≈ 2,3	—

Сукупні капітальні витрати на реалізацію всіх шести заходів складають 2600 000–3660 000 грн. Загальний річний економічний ефект оцінюється на рівні 1110 000–1610 000 грн, що відповідає середньозваженому простому терміну окупності ≈ 2,3 роки.

Пріоритетність та поетапний план реалізації. З урахуванням терміну окупності, складності впровадження та ризиків, всі заходи розподілені за пріоритетністю на три групи. Перша група (найвищий пріоритет, термін окупності до 1 року): впровадження SMED і програмного забезпечення оптимізації розкрою. Ці заходи мають мінімальний поріг інвестицій і максимальну віддачу, тому підлягають впровадженню у першому кварталі. Друга група (високий пріоритет, термін окупності 2–3 роки): система рекуперації тепла та автоматизований відеоконтроль якості. Реалізуються у другому-третьому кварталах. Третя група (стратегічний захід): придбання ЧПК верстата. Потребує найбільших інвестицій і реалізується наприкінці першого або на початку другого року (табл. 4.8).

Таблиця 4.8

Поетапний план-графік впровадження пропозицій (діаграма Ганта)

№	Захід	1 квартал	2 квартал	3 квартал	4 квартал	2-й рік
1	Аналіз і SMED-проект для переналаштувань	■				
2	Оптимізація розкрою (ПЗ + навчання)	■	■			
3	Система рекуперації тепла (проект + монтаж)		■	■		
4	Автоматизований відеоконтроль якості			■	■	
5	MES-модуль обліку матеріалів			■	■	
6	Придбання та введення ЧПК верстата				■	■

Реалізація заходів у запропонованій послідовності дозволяє: у першому півріччі отримати позитивний грошовий потік (за рахунок SMED і оптимізації

розкрою), що частково фінансує подальші більш капіталоемні заходи; мінімізувати порушення виробничого ритму в пікові сезони (квітень—жовтень); поетапно нарощувати компетенції персоналу.

4.3 Екологічні аспекти та заходи з охорони праці при впровадженні пропозицій

Впровадження запропонованих технічних та організаційних рішень має не лише економічний, але й важливий екологічний та соціальний ефект. Одним із ключових заходів є впровадження системи рекуперації тепла сушильних камер, яка дозволяє повторно використовувати частину теплової енергії, що раніше втрачалася разом із відпрацьованим повітрям. Це сприяє зменшенню витрат палива на нагрівання сушильного агента та скороченню навантаження на енергетичне господарство підприємства. За попередніми розрахунками, використання рекуперації забезпечує зниження викидів вуглекислого газу на 85–120 т/рік, а також зменшує обсяги викидів продуктів неповного згоряння палива в атмосферу. Додатково скорочується споживання природних ресурсів, що відповідає принципам сталого розвитку та ресурсозбереження [33, 34].

Важливим екологічним аспектом є також більш раціональне використання деревинної сировини завдяки автоматизованим системам оптимізації розкрою та зменшенню технологічних втрат. Зниження кількості відходів під час механічної обробки дозволяє підвищити вихід готової продукції та зменшити обсяги деревини, необхідної для виконання виробничої програми. Утворені тирса, стружка та обрізки можуть використовуватися як вторинна сировина для виготовлення паливних гранул, деревостружкових плит або як паливо для власної котельні підприємства, що сприяє формуванню замкнутого виробничого циклу та мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище.

Запропоноване впровадження автоматизованого відеоконтролю якості продукції позитивно впливає на умови праці персоналу. Автоматизація операцій

контролю знижує необхідність тривалого візуального спостереження за виробами, що зменшує навантаження на органи зору працівників, знижує рівень виробничої втоми та підвищує концентрацію уваги. Крім того, автоматизований контроль дозволяє мінімізувати вплив людського фактора на результати оцінювання якості та підвищує достовірність виявлення дефектів продукції. Покращення ергономічних умов праці сприяє зниженню ризику професійних захворювань та підвищенню продуктивності персоналу [34].

Суттєве значення для забезпечення безпечних умов праці має модернізація деревообробного обладнання та впровадження сучасних верстатів з числовим програмним керуванням. Таке обладнання оснащується високоефективними системами аспірації та пиловидалення, які забезпечують своєчасне відведення деревного пилу безпосередньо із зони різання. У результаті концентрація пилу в повітрі робочої зони знижується до рівня, що відповідає вимогам санітарних норм і стандартів безпеки праці. Зменшення запиленості не лише покращує санітарно-гігієнічні умови виробництва, але й знижує ризик виникнення професійних захворювань органів дихання та небезпеку утворення вибухонебезпечних пилоповітряних сумішей.

Додатковим напрямом підвищення рівня безпеки є впровадження методики SMED та стандартизованих процедур переналаштування обладнання. Розроблення покрокових інструкцій, використання контрольних карт, фото- та відеоматеріалів дозволяє зменшити ймовірність помилок персоналу під час заміни профільних ножів, налаштування шпинделів і виконання регламентних робіт. Скорочення часу переналаштування не лише підвищує продуктивність виробництва, але й зменшує тривалість перебування працівників у зоні потенційної небезпеки.

Таким чином, впровадження запропонованих заходів забезпечує комплексне підвищення екологічної безпеки виробництва, покращення умов праці та зниження виробничих ризиків при збереженні високої ефективності технологічного процесу.

ВИСНОВКИ

Узагальнюючи результати виконаної кваліфікаційної роботи, можна сформулювати основні висновки щодо стану ринку, технології виробництва та ефективності виготовлення декоративних погонажних виробів. Так, у першому розділі досліджено сучасний стан і тенденції розвитку світового ринку декоративних погонажних виробів. Встановлено, що галузь характеризується стабільним зростанням, зумовленим розвитком будівництва та підвищенням попиту на оздоблювальні матеріали. Проаналізовано географічну структуру виробництва і споживання продукції, визначено провідні регіони ринку та основні тенденції розвитку галузі, серед яких зростання використання пальцево-зрощених заготовок, посилення вимог до екологічної сертифікації та підвищення рівня заводської готовності виробів. Отримані результати підтверджують перспективність виробництва погонажних виробів із деревини хвойних порід.

У другому розділі розглянуто технологічні особливості виготовлення погонажних виробів із хвойної деревини. Проаналізовано вимоги до сировини та її підготовки, основні етапи технологічного процесу, включаючи сушіння, сортування, стругання, профілювання та шліфування. Особливу увагу приділено технології пальцевого зрощування, яка забезпечує раціональне використання деревини та підвищення стабільності заготовок. Також досліджено систему контролю якості на всіх стадіях виробництва, що забезпечує відповідність готової продукції сучасним вимогам щодо точності, міцності та якості поверхні.

Виконано аналіз технології виробництва декоративних погонажних виробів із деревини хвойних порід та розрахунок завантаженості основного технологічного обладнання для річної програми 5000 тис. пог. М. при ефективному фонді часу 3 600 год/рік. Встановлено, що як сировина доцільно використовувати деревину хвойних порід із щільністю 380–650 кг/м³, яка після сушіння доводиться до вологості 12±2 %, що забезпечує стабільність розмірів і якість обробки. Розрахунки

показали, що більшість обладнання працює в нормативному діапазоні завантаженості 55,6–86,8 %, однак чотирибічний верстат С26-2А є вузьким місцем із перевантаженням 115,8 %, що обґрунтовує встановлення двох одиниць обладнання та зниження його завантаженості до 57,9 %. Загальні технологічні втрати деревини становлять 21–33 %, при цьому вихід готової продукції досягає 67–79 %, що свідчить про ефективність запропонованої технологічної схеми та раціональне використання сировини.

Проведено аналіз резервів підвищення ефективності виробництва декоративних погонажних виробів та обґрунтовано комплекс технічних і організаційних заходів щодо їх реалізації. Встановлено, що основними напрямками вдосконалення є оптимізація переналаштувань обладнання за методологією SMED, модернізація профілювального обладнання, впровадження рекуперації тепла сушильних камер, автоматизованого контролю якості та програмної оптимізації розкрою. Реалізація запропонованих заходів забезпечує сумарний річний економічний ефект 1,11–1,61 млн грн при загальних капіталовкладеннях 2,6–3,66 млн грн і середньому терміні окупності близько 2,3 року, а також сприяє підвищенню якості продукції, зниженню виробничих витрат і покращенню екологічних та безпекових показників виробництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Molding and Trim Market. *Verified Market Research* : веб-сайт. URL: <https://www.verifiedmarketresearch.com/product/molding-and-trim-market/> (дата звернення 03.01.2026 р.).
2. Трудове навчання (для хлопців). 7 клас. Дятленко. *HISTORY*: веб-сайт. URL: <https://uahistory.co/pidriddniki/dyatlenko-labor-training-for-boys-7-class-2015/3.php> (дата звернення 08.01.2026 р.).
3. United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). *Data brief on sustainable wood supply* : веб-сайт. URL: <https://unece.org/sites/default/files/2023-10/2023-data-brief-ssw-for-web.pdf> (дата звернення 11.01.2026 р.).
4. Wood trade listing. *Torg.ukr.bio* : веб-сайт. URL: <https://torg.ukr.bio/ru/trade/view/7930/> (дата звернення 12.01.2026 р.).
5. Wood Trim Molding Production Market Report. *Kentley Insights* : веб-сайт. URL: <https://www.kentleyinsights.com/wood-trim-molding-production-market-report/> (дата звернення 15.01.2026 р.).
6. Softwood Lumber Market. *SkyQuest Technology* : веб-сайт. URL: <https://www.skyquestt.com/report/softwood-lumber-market> (дата звернення 19.01.2026 р.).
7. Forestry statistics and data. *FAO* : веб-сайт. URL: <https://www.fao.org/forestry-fao/statistics/84922/en/> (дата звернення 21.01.2026 р.).
8. Softwood Lumber Market Report. *Fortune Business Insights* : веб-сайт. URL: <https://www.fortunebusinessinsights.com/softwood-lumber-market-105311> (дата звернення 21.01.2026 р.).
9. Millwork Market Report. *MetaStat Insight* : веб-сайт. URL: <https://metastatinsight.com/report/millwork-market> (дата звернення 24.01.2026 р.).
10. Molding & Trim Market Report. *DataIntel* : веб-сайт. URL: <https://dataintel.com/report/molding-trim-market> (дата звернення 04.02.2026 р.).

11. Timber and forest products statistics. *United Nations Digital Library* : веб-сайт. URL: <https://digitallibrary.un.org/record/3832687?v=pdf> (дата звернення 10.02.2026 р.).
12. Wood Trim Molding Production Market Report. *Kentley Insights* : веб-сайт. URL: <https://www.kentleyinsights.com/wood-trim-molding-production-market-report/> (дата звернення 11.02.2026 р.).
13. Solid Wood Mouldings. *Jürgensen* : веб-сайт. URL: <https://www.juergensen.de/en/solid-wood-mouldings/> (дата звернення 14.02.2026 р.).
14. The journey of your moldings. *Combiwood Group* : веб-сайт. URL: <https://combiwoodgroup.ee/the-journey-of-your-moldings/> (дата звернення 16.02.2026 р.).
15. Wood mouldings from Estonia painted by Teknos. *Teknos* : веб-сайт. URL: <https://www.teknos.com/industrial-coatings/showroom/wood-mouldings-from-estonia-painted-by-teknos/> (дата звернення 17.02.2026 р.).
16. FSC Certification information. *Intrim Mouldings* : веб-сайт. URL: <https://intrimmouldings.com.au/resources/fsc-certification/> (дата звернення 22.02.2026 р.).
17. Manufacturing process. *Moulures OPM* : веб-сайт. URL: <https://mouluresopm.com/en/manufacturing-process/> (дата звернення 24.02.2026 р.).
18. Finger-jointed mouldings. *Genia Mouldings* : веб-сайт. URL: <https://www.geniamouldings.com/fj-mouldings> (дата звернення 26.02.2026 р.).
19. Pine moulding collection. *Sekelskifte* : веб-сайт. URL: <https://www.sekelskifte.com/en/collections/pine-molding> (дата звернення 04.03.2026 р.).
20. Wood products and utilization. *FAO* : веб-сайт. URL: <https://www.fao.org/4/y2199e/y2199e07.htm> (дата звернення 08.03.2026 р.).

21. Wood products category. *Mijatovic Ltd* : веб-сайт. URL: https://www.mijatovicltd.com/wood_products_category/wood-mouldings/ (дата звернення 14.03.2026 р.).

22. Finger joint wood technology. *LIRA Ukraine* : веб-сайт. URL: <https://lira-ukraine.com/en/finger-joint-wood-en/> (дата звернення 18.03.2026 р.).

23. Finger-jointed wood products. *Lemu Products* : веб-сайт. URL: <https://lemuproducts.cl/en/productos-finger-de-madera/> (дата звернення 23.03.2026 р.).

24. Finger joint timber research. *Linnaeus University DiVA Portal* : веб-сайт. URL: <https://lnu.diva-portal.org/smash/get/diva2:1362048/FULLTEXT01.pdf> (дата звернення 02.04.2026 р.).

25. FSC certified pine wood products. *Alibaba* : веб-сайт. URL: <https://www.alibaba.com/showroom/fsc-certified-pine-wood.html> (дата звернення 09.04.2026 р.).

26. Classic interiors begin at the edge. *Doorland Group* : веб-сайт. URL: <https://doorlandgroup.com/classic-interiors-begin-at-the-edge> (дата звернення 11.04.2026 р.).

27. Forest products and sustainability. *FAO Open Knowledge Repository* : веб-сайт. URL: <https://openknowledge.fao.org/items/3740bc34-b22a-4ba9-8962-1486af5ba25a> (дата звернення 17.04.2026 р.).

28. Global softwood lumber market. *DataIntel* : веб-сайт. URL: <https://dataintel.com/report/global-softwood-lumber-market> (дата звернення 20.04.2026 р.).

29. Timber manufacturing process. *Sculptform* : веб-сайт. URL: <https://sculptform.com/en-us/blogs/the-process-of-timber-manufacturing/> (дата звернення 23.04.2026 р.).

30. Wood trim molding production market report. *Kentley Insights* : веб-сайт. URL: <https://www.kentleyinsights.com/wood-trim-molding-production-market-report/> (дата звернення 01.05.2026 р.).

31. Planing and profiling lexicon. *LEITZ* : веб-сайт. URL: https://www.leitz.org/fileadmin/Downloads/Lexicon/EN/Leitz_Lexicon_Edition_7_-_03_Planing_and_profiling.pdf (дата звернення 02.05.2026 р.).
32. Finger joint board production process. *Lulin Feng Boards* : веб-сайт. URL: <https://www.lulinfeng-boards.com/info/production-process-of-finger-jointed-boards-103179762.html> (дата звернення 04.05.2026 р.).
33. Finger joint primed pine moulding. *China Wood Moulding* : веб-сайт. URL: <https://www.china-woodmoulding.com/pine-moulding/finger-jointed-moulding/finger-joint-primed-pine-moulding.html> (дата звернення 05.05.2026 р.).
34. Timber manufacturing and processing. *Duffield Timber* : веб-сайт. URL: <https://duffieldtimber.com/the-workbench/timber-trends/how-is-wood-manufactured-and-processed> (дата звернення 07.05.2026 р.).