

ВІННИЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ МИХАЙЛА КОЦЮБИНСЬКОГО

Факультет мистецтв і художньо-освітніх технологій

Кафедра образотворчого, декоративного мистецтва,
технологій та безпеки життєдіяльності

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему: «Комбінування інноваційних і традиційних технік у сучасному
мистецтві художньої обробки деревини (змішана техніка, серія робіт 60*80,
поліптих)»**

Використання чужих ідей,
результатів і текстів мають
посилання
на відповідне джерело

студента 2 курсу групи МОДМ
галузі знань 02 Культура і мистецтво
спеціальності 023 Образотворче
мистецтво, декоративне мистецтво,
реставрація
Освітня програма Декоративне мистецтво
Бабчука Юрія Миколайовича
Науковий керівник:
кандидат мистецтвознавства, доктор пед.
наук, професор Зузяк Тетяна Петрівна

Розширена шкала _____

Кількість балів _____ Оцінка ECTS _____

Голова комісії _____
(підпис)

(ініціали, прізвище)

Члени комісії _____
(підпис)

(ініціали, прізвище)

(підпис)

(ініціали, прізвище)

(підпис)

(ініціали, прізвище)

м. Вінниця – 2025 рік

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ХУДОЖНЬОЇ ОБРОБКИ ДЕРЕВИНИ В КОНТЕКСТІ СУЧАСНОГО МИСТЕЦТВА	9
1.1. Історичні традиції художньої обробки деревини	9
1.2. Види, техніки та засоби художньої обробки деревини	15
1.3. Інноваційні технології в сучасній обробці деревини	23
Висновки до першого розділу	31
РОЗДІЛ 2. ХУДОЖНЬО-СТИЛІСТИЧНІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ КОМБІНУВАННЯ ТРАДИЦІЙНИХ І ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНІК	32
2.1. Аналіз сучасних художніх тенденцій у роботі з деревиною	32
2.2. Пірографія, випалювання та декоративне тонування як виражальні засоби	39
2.3. Поєднання лазерних технологій і ручних технік у декоративному мистецтві	44
2.4. Синтез традиції та інновації в художній обробці деревини	51
Висновки до другого розділу	60
РОЗДІЛ 3. ТВОРЧИЙ ПРОЄКТ: СЕРІЯ ТВОРІВ «ПОРТРЕТИ ПИСЬМЕННИКІВ» (ЗМІШАНА ТЕХНІКА, ПОЛПТИХ)	61
3.1. Концепція та ідейний задум серії робіт	61
3.2. Ескізно-пошуковий етап та комп'ютерне моделювання композицій	63
3.3. Матеріали, інструменти і технічні засоби візуального втілення творчої роботи	69
3.4. Технологічна послідовність виконання творів	72
3.5. Економічне обґрунтування	83
Висновки до третього розділу	90
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	92
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	94
ДОДАТКИ	104

ВСТУП

Актуальність дослідження. Художня обробка деревини посідає важливе місце в системі традиційного українського декоративно-ужиткового мистецтва. З давніх часів дерево виступало одним із найдоступніших і водночас найвиразніших матеріалів, що дає можливість майстрам створювати як утилітарні предмети побуту, так і високохудожні витвори.

Дерево, як універсальний і доступний матеріал, відігравало ключову роль у побуті, релігії, архітектурі та мистецтві різних народів світу. Від простих утилітарних предметів до вишуканих сакральних об'єктів, від символічних орнаментів до складних скульптур — художня обробка деревини стала невід'ємною частиною культурної спадщини людства. Відомими для всього світу є європейські та азійські школи, кожна з яких сформувала власні техніки, стилі та символіку.

Завдяки своїм природним властивостям — теплоті, фактурі, кольору, пластичності — дерево стало основою і для формування національної мистецької культури українців. Художня обробка деревини є давньою традицією в Україні, де деревообробне мистецтво набуло унікальних рис.

Сьогодні деревина як матеріал залишається однією з найактуальніших основ для художнього вираження, оскільки її природна фактура, колір і екологічність забезпечують широкі можливості для творчих експериментів. Сучасний митець окрім традиційних технік художньої обробки деревини, у своїх проектах активно застосовує різні інноваційні методи – лазерне різання, фрезерування, 3Д-друк, ЧПК пірографію та ін.

Поєднання інноваційних і традиційних технік у художній обробці деревини відкриває нові можливості, які дають можливість досягати ефектів, недосяжних у межах одного методу, що розширює межі традиційного ремесла. Цей підхід враховує і поєднує повагу до історичних ремісничих надбань із пошуком нових засобів, що відповідають потребам часу.

Теоретичний концепт досліджень з проблем художньої обробки деревини базується на працях українських науковців: історії розвитку декоративного мистецтва в Україні (Т. Кара-Васильєва, Г. Стельмащук, Г. Скрипник, Л. Плазовська, М. Станкевич, Г. Івашків, Г. Горинь, О. Никорак, Р. Яців, Г. Врочинська, О. Голубець, Я. Запаско); технік художньої обробки деревини (Д. Галушак, К. Кавас, М. Станкевич, Д. Сивак, Л. Гавриш); основ деревообробки (Й. Гушулей, Л. Оршанський); методики декорування виробів із дерева (Б. Тимків, Й. Приймак); оздоблення інтер'єрів художніми виробами з дерева (М. Гнатюк, П. Мельниченко).

В Україні наразі є також значна кількість підручників і посібників, у яких представлено основи деревообробки (Й. Гушулей, Л. Оршанський та ін.), методики декорування виробів із дерева (Б. Тимків, Й. Приймак) чи оздоблення інтер'єрів художніми виробами з дерева (М. Гнатюк, П. Мельниченко). Проте більшість із цих посібників підготовлені кілька десятиріч тому, а відтак у них не враховано ні останні тенденції в дизайні, ні найсучасніші технології художньої обробки деревини.

Проблемам підготовки фахівців з художньої обробки деревини присвячені праці В. Бойчука, І. Коваленка, Л. Оршанського, В. Цісарука та ін. У їхніх дослідженнях акцентовано увагу на необхідності нових підходів до організації професійної підготовки майбутніх фахівців з художньої обробки деревини. Найбільш дієвими методами підвищення якості підготовки таких фахівців науковцями визнано використання народних традицій у поєднанні з сучасним обладнанням і технологіями.

Розв'язання цих проблем потребує впровадження інноваційних технік обробки деревини у декоративно-ужитковому мистецтві, спрямованих на створення унікальних, екологічно чистих і функціонально-ефективних виробів з дерева.

Актуальність дослідження посилюється необхідністю збереження та осучаснення народних і класичних технік, поєднання їх із сучасними методами,

такими як лазерна різка, пірографія, декоративне тонування, для створення художніх творів, які є органічним синтезом минулого й сьогодення. Цей підхід не лише розширює художні можливості, а й сприяє розвитку культурної ідентичності через новаторські художні проекти.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження виконувалося в межах теми кафедри образотворчого, декоративного мистецтва, технологій та безпеки життєдіяльності Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського «Педагогічні умови проектування змісту професійно-практичної підготовки фахівців в галузях технологій, професійної освіти та мистецтва».

Метою дослідження є визначити можливості та реалізувати ефективно поєднання традиційних і інноваційних технік художньої обробки деревини у рамках портретної серії видатних українських митців формату 60×80 см (поліптих), використовуючи лазерну різку, пірографію на фанері та декоративне тонування.

Для досягнення мети дисертаційного дослідження поставлено такі **завдання**:

1. На основі аналізу сучасної наукової літератури визначити стан розв'язання досліджуваної проблеми та можливості поєднання традиційних і інноваційних технік художньої обробки деревини.
2. Охарактеризувати традиційні техніки та матеріали художньої обробки деревини, їх художнє та функціональне значення.
3. Визначити інноваційні технології та практики, що застосовуються в сучасній художній деревообробці.
4. Розробити концепцію і творчий проект серії художніх робіт (поліптиху 60×80) у змішаній техніці художньої обробки деревини, поєднуючи традиційні і сучасні підходи.
5. Визначити матеріали, інструменти та методи художньої й технологічної обробки деревини для реалізації проекту.

6. Створити серію виробів з використанням лазерної різки, пірографії, декоративного тонування, і лакування.

Об'єктом дослідження є художня обробка деревини як галузь декоративно-прикладного мистецтва.

Предметом дослідження є змішані техніки обробки фанери з використанням лазерної різки, пірографії та декоративного тонування.

У процесі дослідження використано комплекс науково-дослідницьких **методів**, а саме:

- *аналіз літературних, архівних та інших джерел* – використано для аналізу наукових, мистецтвознавчих, технологічних і довідкових матеріалів, що висвітлюють історію розвитку художньої обробки деревини, традиційні техніки різьблення, інтарсії, випалювання, а також сучасні інноваційні методи — лазерне різання, фрезерування, цифрове гравіювання тощо. Це дозволило визначити теоретичні засади та понятійно-категоріальний апарат дослідження;

- *історичний метод* – застосовано для простеження еволюції традицій художньої обробки деревини в українському мистецтві, виявлення закономірностей розвитку технік від народних ремесел до сучасних інноваційних форм;

- *порівняльний метод* – використано для зіставлення традиційних і сучасних технік обробки деревини, а також для аналізу відмінностей і спільних рис у художніх підходах майстрів минулого та сучасних митців;

- *мистецтвознавчий та художній аналіз* – застосовано для дослідження композиційних, пластичних, фактурних, колористичних і технологічних особливостей творів, виконаних у різних техніках. Завдяки цьому було здійснено оцінку виражальних можливостей комбінованих технік у створенні художнього образу;

- *метод вивчення й узагальнення передового досвіду* – використано для аналізу практики сучасних художників, дизайнерів і майстрів декоративного

мистецтва, які успішно поєднують традиційні та інноваційні прийоми в роботі з деревом. Це сприяло формуванню власного творчого підходу до реалізації теми;

- *спостереження за образотворчою, декоративною, реставраційною та педагогічною діяльністю викладачів і студентів* – застосовано з метою вивчення сучасних тенденцій у викладанні художньої обробки деревини, організації навчально-творчого процесу та формування професійних компетентностей у майбутніх художників;

- *метод аналізу аналогових об'єктів* – використано для дослідження вже створених мистецьких робіт у змішаній техніці, що стали аналогами або джерелами натхнення для розробки власної серії. Це дозволило виявити оптимальні технологічні та художні рішення;

- *метод опитування та бесід* – застосовано для отримання додаткової інформації від викладачів, керівників мистецьких закладів і студентів щодо ефективності використання інноваційних технологій у навчальному процесі та творчій діяльності;

- *комплексний аналіз* – застосовано для узагальнення результатів теоретичних, історико-культурних і практичних спостережень, що дало змогу сформулювати висновки щодо синтезу традиційних і сучасних технік у художній обробці деревини.

Наукова новизна та теоретичне значення дослідження полягає у визначенні художньо-технологічних засад комбінування інноваційних і традиційних технік у сучасному мистецтві художньої обробки деревини.

Уперше здійснено цілісне дослідження взаємодії класичних ручних прийомів (випалювання, тонування) з інноваційними методами (лазерне різання, гравіювання, цифрове моделювання форм) у створенні художнього образу. Розроблено авторську методику поєднання традиційних і сучасних засобів художньої обробки деревини, апробовану у серії творів формату 60×80 (поліптих),

які демонструють можливості змішаної техніки в актуальному мистецькому контексті.

Уточнено можливості використання ЧПК- у процесі створення серії портретних зображень на деревині, зокрема на прикладі портретів Т. Шевченка, Л. Українки, М. Коцюбинського та В. Стуса.

Подальшого розвитку набули практичні підходи до поєднання класичних ручних прийомів (випалювання, тонування) з інноваційними методами (лазерне різання, гравіювання, цифрове моделювання форм) у створенні художнього витвору.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості застосування розроблених художньо-технологічних принципів комбінування інноваційних і традиційних технік у сучасній практиці декоративно-прикладного мистецтва. Розроблені підходи до поєднання ручних і цифрових технологій доцільно впроваджувати у навчальний процес закладів мистецької освіти — під час вивчення дисциплін, пов'язаних із матеріалознавством, композицією та техніками художньої обробки деревини. Створена серія авторських творів може слугувати наочним матеріалом для виставкової діяльності, популяризації сучасних тенденцій у декоративному мистецтві та формування професійних компетентностей майбутніх художників.

Структура роботи. Кваліфікаційна робота складається із теоретичної та практичної частин. Теоретична частина охоплює вступ, три розділи, висновки, список використаних джерел, додатки. Практична частина – портретна серія (60х80, поліптих) видатних українських митців у змішаній техніці художньої обробки деревини». Загальний обсяг роботи – 109 сторінок.

РОЗДІЛ І. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ХУДОЖНЬОЇ ОБРОБКИ ДЕРЕВИНИ В КОНТЕКСТІ СУЧАСНОГО МИСТЕЦТВА

1.1. Історичні традиції художньої обробки деревини в українському мистецтві

Дерево — це прекрасний матеріал, який є загальнодоступним і легко піддається обробці простими інструментами. Упродовж багатьох століть люди активно використовували цей природний ресурс, поступово вивчаючи його унікальні фізико-механічні властивості — міцність, пружність, структуру, які роблять деревину ідеальним матеріалом для формування художніх творів. Вміння поєднувати ці властивості з художніми техніками забезпечує унікальність і тривалість існування твору.

Історія художньої обробки деревини в Україні сягає глибокої давнини. Археологічні знахідки свідчать, що ще в епоху палеоліту (20 тис. років до н.е.) люди використовували дерево для виготовлення знарядь праці, посуду, прикрас, а згодом — для будівництва житла та культових споруд. Уже в добу Київської Русі дерево стало основним матеріалом для зведення міст, храмів, палаців, оборонних споруд, а також для створення предметів побуту й обрядових речей [1; 40].

За часів Київської Русі XI- XII ст. предмети домашнього вжитку з дерева виготовляли самі селяни, а складніші вироби замовляли у місцевих майстрів. З часом деревообробні ремесла стосувалися виробництва посуду, дрібного бондарного начиння, ложок та інших виробів. Теслярі, бондарі і столяри виготовляли та реалізовували на ярмарках знаряддя праці, транспортні засоби, меблі та хатнє начиння, прикрашене різьбленням і розписом [20; 33].

Найбільш поширеним було пласке різьблення, яке застосовували для оздоблення господарських і побутових предметів (див. Додаток 1, рис. 1.1).

Візерунок, переважно геометричний, вирізали на поверхні виробу лініями або площинами, створюючи контраст світла й тіні. За допомогою рельєфного різьблення створювали опукле зображення. Цією технікою прикрашали здебільшого масштабні вироби – елементи архітектури, транспорту тощо. У композиціях рельєфного різьблення найчастіше використовували рослинні й тваринні мотиви. Ажурне різьблення з прорізаним наскрізь деревом також було відоме в давній Русі, але порівняно з іншими техніками вживалося рідше [44; 45].

Побутові потреби, соціальна структура суспільства, економічні умови визначали функціональне призначення виробів, вибір технік, матеріалів, орнаментів. У селянському середовищі переважали утилітарні речі (посуд, ложки, скрині, меблі, знаряддя праці), які водночас прикрашалися різьбленням, розписом, інкрустацією. У міському середовищі розвивалися цехові традиції, мануфактури, професійні школи, з'являлися складні меблі, інтер'єрні панелі, декоративні елементи архітектури.

У XIV–XVIII століттях ремісничі цехи та мануфактури активно брали участь у декоративному оформленні церков, предметів культу, меблів, створювали набійні дошки, пряникові форми, іконостаси. В цей період формуються регіональні стилі: Гуцульщина, Полісся, Лемківщина, Поділля, Київщина, кожен із яких мав свої особливості орнаменту, технік і композицій. У XIX–XX століттях народні художні промисли отримали новий поштовх до розвитку, з'явилися професійні школи, артілі, а згодом — державні підприємства та навчальні заклади.

Соціальні зміни, індустріалізація, поява фабрик і заводів у XIX–XX століттях призвели до трансформації ремесел: ручна праця поступово витіснялася механізованою, але водночас зростала роль художнього проектування, дизайнерських рішень, авторських майстерень. Відбувалася адаптація традицій до нових економічних умов, з'являлися сімейні династії майстрів, кооперативи, що сприяло збереженню й розвитку ремесла [46].

На початку XIX ст. на Гуцульщині ажурним і круглим різьбленням декорували іконостаси, свічники, жолобкуватим контурним - ікони, скрині, сволюки, токарний і бондарний посуд. У гуцульських селах тоді працювали десятки талановитих майстрів художньої обробки дерева [30; 31]. Однак лише у другій половині XIX ст. з початком творчості династії Шкрібляків (Юрій, Василь, Микола і Федір - батько з синами), що проживали у с. Яворів Косівського району, у традиційному художньому деревообробництві сталися важливі зміни, їхні вироби вишуканих форм оздоблені чітким декором, виконаним тонко й акуратно техніками різьблення, інкрустації металом або рогом, рідше – випалювання (див. Додаток 1, рис. 1.2).

У 30-х роках XX ст. набули поширення деревообробні промислові артілі. На меблевих фарбниках України створювалися різьбярські цехи, де декорували продукцію. У цехах виготовляли шкатулки, скриньки, декоративні тарілки, баклаги, бочечки, обкладинки для альбомів, топірці, свічники, жіночі прикраси, фігурки птахів та інші вироби з використанням токарних і столярних технік.

У 60-70-х роках художні вироби з дерева на Гуцульщині зазнають помітних змін: оновлюється форма, декор стає стриманішим. Різьблений та інкрустований орнамент вже не заповнює форми, залишаються вільні від декору площини, що виявляють природну красу деревини, полегшують сприйняття твору (див. Додаток 1, рис. 1.3). Проте орнамент художнього випалювання знаходить успішне застосування в оздобленні меблів, виготовленні панно, оформленні дерев'яних будівель.

Гуцульщина — один із найяскравіших центрів художньої обробки деревини. Тут сформувався унікальний стиль, що поєднує плоске, тригранно-виїмчасте різьблення, інкрустацію деревом, металом, перламутром, бісером, випалювання, розпис. Орнаменти — геометричні, рослинні, зооморфні, національна емблематика

(тризуб, герби, хрестики). Вироби: тарелі, скрині, топірці, свічники, музичні інструменти, меблі.

Полісся відоме традицією плоского різьблення на темних фонах, інкрустацією соломкою, простими геометричними орнаментами. Вироби: скрині, полиці, мисники, іконостаси, меблі. Лемківське різьблення відзначається рослинними мотивами, ажурно-рельєфним орнаментом, складними композиціями. Вироби: тарелі, хлібниці, скульптури малих форм. На Київщині, Полтавщині та Чернігівщині поширена плоска тригранно-виїмчаста різьба, геометричні орнаменти, зображення церков, хрестів, побутових сцен. Вироби: божниці, сільнички, миски, ложки, пряничні форми [37].

Наприкінці 60-х - на початку 70-х років у художній обробці дерева відбулися зміни, виникали десятки великих цехів і дільниць художньої обробки дерева при лісокомбінатах і колгоспах. Тут виготовляли переважно сувеніри: декоративні тарілки, скриньки, баклаги, цукерниці, точені іграшки, сопілки, альбоми та ін.

На Поділлі, у Вінницькій, Хмельницькій і Тернопільській областях виготовляли декоративно-ужиткові вироби, хатні прикраси тощо. Кращі художні твори з деревини центральних областей України (Полтавської, Кіровоградської, Черкаської) мають традиційну утилітарну форму, декоровані виїмчастою різьбою та розписом [38].

Отже, в Україні художня обробка деревини завжди відігравала важливу роль у народній культурі. Майстри виготовляли предмети побуту, транспортні засоби, знаряддя праці, меблі, іграшки, твори декоративноприкладного мистецтва. Сучасні українські майстри продовжують традиції своїх предків, використовуючи як давні, так і нові техніки. Їхні роботи виставляються на виставках, продаються в магазинах і галереях, а також використовуються для оздоблення будинків і громадських місць. Тому художня обробка деревини є мистецтвом, яке відображає красу та багатство української культури [35].

Художня обробка деревини завжди посідала значне місце в народній культурі України. Майстри виготовляли різноманітні побутові предмети, транспорт, інструменти, меблі, іграшки та декоративно-прикладні вироби. Сьогодні українські майстри продовжують цю багату традицію, застосовуючи як традиційні, так і сучасні техніки. Їхні роботи демонструються на виставках, реалізуються в магазинах і галереях, а також використовуються для оздоблення житлових і громадських приміщень. Таким чином, художня обробка деревини служить вираженням краси та культурного багатства України [46].

Сучасний етап характеризується відродженням традицій, поєднанням народних і новітніх технік, появою авторських майстерень, брендів, інтеграцією художньої обробки деревини у сферу дизайну, архітектури, сувенірної продукції та мистецьких інсталяцій.

У Європі художня обробка деревини має не менш давню історію. Відомо, що ще в епоху неоліту (VII–V тис. до н.е.) дерево використовувалося для виготовлення знарядь, посуду, човнів, а згодом — для будівництва житла, культових споруд, меблів. У Стародавньому Єгипті та Греції деревообробка досягла високого рівня: з'явилися перші школи різьблення, розвивалися техніки інкрустації, лакування, токарства.

У середньовічній Європі різьблення по дереву стало невід'ємною частиною архітектури храмів, замків, інтер'єрів, меблів. В епоху Відродження та бароко майстри створювали вишукані панелі, скульптури, іконостаси, використовуючи складні орнаменти, позолоту, інкрустацію слоновою кісткою, металом, перламутром. У XIX столітті з розвитком промисловості ручна різьба поступово поступається місцем механізованим, але водночас з'являються нові стилі — ар-нуво, ар-деко, модерн, які збагачують художню палітру європейського деревообробного мистецтва [37].

В Азії художня обробка деревини має свої унікальні риси. У Китаї та Японії дерево здавна використовувалося для будівництва храмів, палаців, житла, виготовлення меблів, предметів побуту, музичних інструментів. Китайські майстри розвинули техніки тонкої різьби, інкрустації лаком, перламутром, дорогоцінним камінням, створювали складні архітектурні конструкції, ширми, скрині, статуетки.

Японська традиція відзначається особливою увагою до природної краси матеріалу, простоти форм, гармонії з навколишнім середовищем. Відомі техніки сашімоно (з'єднання без цвяхів), курімоно (вирізування), хікімоно (точіння), маґемоно (гнуття), а також мистецтво нецке — мініатюрної скульптури. В Центральній Азії (зокрема в Узбекистані) розвинулося мистецтво різьблення по гіпсу, що поєднувалося з дерев'яною різьбою, створюючи унікальні інтер'єри мечетей, палаців, медресе [32].

З розвитком промисловості у XIX–XX століттях художня обробка деревини зазнала суттєвих змін. З'явилися механічні інструменти, токарні верстати з різними приводами (кінний, водяний, паровий, електричний), фабрики, заводи, що дозволило збільшити обсяги виробництва, стандартизувати вироби, знизити собівартість. Водночас ручна праця, індивідуальний підхід, авторські техніки поступово поступалися місцем масовому виробництву, що призвело до певної уніфікації форм, втрати унікальних рис [38].

Однак індустріалізація відкрила нові можливості для розвитку ремесла: з'явилися професійні школи, навчальні заклади, кооперативи, бренди, що сприяло збереженню й популяризації традицій. Сучасні майстри активно поєднують ручні та механізовані техніки, експериментують із матеріалами, створюють авторські колекції, інтегрують деревообробку у сферу дизайну, архітектури, мистецьких інсталяцій.

1.2. Види, техніки та засоби художньої обробки деревини

Художня обробка деревини поєднує в собі як формотворчі, так і декоративні техніки, а також використання різноманітних матеріалів і спеціалізованих інструментів.

Основні техніки художньої обробки деревини та їх визначення представлені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1.

Основні техніки та їх визначення художньої обробки деревини

Техніки	Опис техніки
Вирізування	Ручне моделювання форми виробу за допомогою сокири, ножа, різців, стругів. Використовується для створення побутових предметів, іграшок, скульптур.
Видовбування	Поступове вибирання матеріалу з масиву заготовки для утворення порожнини (човни-довбанки, ночви, ступи, черпаки).
Виточування (токарство)	Обробка дерев'яної заготовки на токарному верстаті для отримання циліндричних, сферичних, фасонних форм (посуд, прикраси, іграшки).
Бондарство	Виготовлення місткого посуду з обручів (барил, цеберки, діжки).
Столярство	Створення меблів, музичних інструментів, художньої сувенірної продукції, з використанням профілювання, склеювання, з'єднання деталей.

Різьблення	Основна декоративна техніка, що включає плоске, плоскорельєфне, контррельєфне, рельєфне, ажурне (наскрізне), об'ємне різьблення.
Інкрустація	Оздоблення виробів вставками з дерева інших порід, металу, перламутру, бісеру, кістки.
Інтарсія, маркетрі, мозаїка	Створення зображень і орнаментів із тонких пластин різних порід дерева, врізаних у поверхню виробу.
Випалювання	Нанесення орнаменту розжареними металевими штампами або пензлями.
Розпис	Декорування виробів фарбами (гуаш, темпера, олія, анілінові барвники).

Традиційними інструментами для художньої обробки деревини є такі:

- Сокира, тесак — для грубої обробки, вирізування, видовбування.
- Ніж, струг, різці — для моделювання форми, створення деталей.
- Долото, стамеска — для вибирання матеріалу, формування рельєфу, створення заглиблень.
- Гачки, фігурні різці, клюкарзи — для тонкої роботи, виготовлення округлих, складних елементів.
- Токарні верстати — лучковий, ручний, ножний, механічний (кінний, водяний, паровий, електричний привід).
- Лобзик, випалювач — для ажурного різьблення, випалювання.
- Столярний циркуль, шліфувальний папір, ватний тампон — для розмітки, шліфування, полірування.
- Свердла, молоток, шило, ножівка — допоміжні інструменти для з'єднання, свердління, розпилювання.

В останні десятиліття з'явилися професійні бренди інструментів для різьблення (наприклад, український виробник STRYI), які виготовляють стамески, ножі, гачки, набори для початківців і професіоналів, забезпечуючи високу якість, ергономіку та довговічність інструменту (див. Додаток 1, рис. 2.4).

При виборі деревини перевага надається породам з невеликою вологістю (8-12%), які не коробляться, не тріскаються (груша, явір, вільха, береза, бук). Художня обробка поєднує технічну майстерність з естетичними рішеннями, включаючи декорування поверхні виробів: профілювання, розпис, інкрустацію, випалювання тощо.

Таким чином, художня обробка деревини є комплексною діяльністю, що включає види, техніки і засоби, направлені як на формоутворення, так і на декоративне оздоблення виробів із дерева, забезпечуючи їх функціональність та естетичну цінність у різних видах декоративно-прикладного мистецтва [3; 10].

Порівняльні характеристики технік обробки деревини в Україні, інших європейських країнах та Азії представлені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2.

Порівняльна таблиця технік обробки деревини: Україна, Європа, Азія

Техніка / Регіон	Україна	Європа	Азія
Різьблення	Плоске, тригранно- виймчасте, рельєфне, ажурне, скульптурне, сніцарське	Барокове, готичне, ренесансне, рокайльне	Тонке, храмове, мініатюрне (нецке), гравірування
Інкрустація	Дерево, метал, перламутр, бісер, кістка	Слонова кістка, метал, перламутр	Лак, перламутр, дорогоцінне каміння

Техніка / Регіон	Україна	Європа	Азія
Токарство	Поєднання з різьбленням, посуд, прикраси, іграшки	Декоративні елементи меблів, балясини	Витончені вази, посуд, бамбукові вироби
Бондарство	Барила, діжки, цеберки, маснички	Бочки, діжки	Лакові бочки, чайні ємності
Столярство	Меблі, мисники, полиці, музичні інструменти	Готичні, ренесансні меблі	Японські перегородки, скрині
Випалювання	Іграшки, архітектура, декор	Декор меблів	Лаковані вироби, ширми
Розпис	Гуаш, темпера, анілінові фарби, розпис по дереву	Іконопис, меблі, декоративний живопис	Лакова мініатюра, каліграфія
Інтарсія, маркетрі	Прикарпаття, Закарпаття, меблі, посуд	Італійське, французьке мистецтво	Перламутрова інтарсія, лаковані вироби
Матеріали	Липа, груша, явір, вільха, клен, дуб, горіх, осика, яблуня, тис, кедр	Дуб, бук, горіх, червоне дерево, чорне дерево	Тик, сандал, бамбук, палісандр
Інструменти	Сокира, ніж, різці, стамески, долота, гачки, токарні верстати	Різці, молотки, шліфувальні інструменти	Різці, гравірувальні голки, лакувальні пензлі

Техніка / Регіон	Україна	Європа	Азія
Символіка	Дерево життя, хрест, тризуб, сонце, птахи, рослини	Християнська, міфологічна, геральдична	Буддійські, даоські, конфуціанські символи
Естетичні принципи	Ритм, симетрія, гармонія, простота, сакральність	Пропорції, симетрія, багатство декору	Вабі, сабі, юген, асиметрія, натяк, незавершеність

Ця таблиця ілюструє як спільні риси, так і унікальні особливості технік обробки деревини в різних культурних традиціях. Українська школа вирізняється багатством геометричних і рослинних орнаментів, поєднанням різьблення з інкрустацією, випалюванням, розписом. Європейська традиція акцентує на складних стилях, багатстві декору, використанні різних матеріалів. Азійська — на тонкості виконання, символічності, гармонії з природою, використанні лаку, перламутру, бамбуку.

Крім представлених у таблиці традиційних прийомів і технік, є інші їхні різновиди й поєднання, наприклад, «штампування» металевими пробійниками, аналогічне карбуванню; зіставлення плетених частин із гладкими поверхнями; контурне різьблення тонованих площин-елементів; викладання орнаментів соломкою тощо. Найбільше різновидів має різьблення, що представлені на схемі (рис. 1.1).



Рис. 1.1 Основні техніки художньої обробки деревини

На особливу увагу заслуговує виточування або токарство. У процесі обертання дерев'яну заготовку на токарному верстаті обробляють плоскими й півкруглими долотами, фігурними різцями, гачками тощо. В історії токарства відомі такі конструкції верстатів: лучковий з почерговим рухом, ручний з поперечно-обертним рухом, ножний обертовий, ножний обертовий з маховиком, механічний з кінним приводом, водяним, паровим, електричним двигунами. Сучасні народні майстри й професійні художники широко використовують техніку виточування не лише для виробництва різноманітного посуду, а й для виготовлення жіночих прикрас, дитячих іграшок тощо.

До найдавніших технік художнього декорування виробів із дерева належить різьблення. Воно поділяється на плоске, плоскорельєфне, контррельєфне, ажурне та об'ємне. Найпоширеніше плоске різьблення буває контурним, виїмчастим, трьохгранновиїмчастим та ін. Його виконують одним ножом або кількома різцями (долотами). Виїмчасте різьблення виконують півкруглим долотом. Трьохгранновиїмчасте різьблення виконують прямим, скісним, кутнім і півкруглим

долотами. Плоскорельєфне різблення, що має кілька висотних рівнів від фону, виконують великою кількістю доліт та інших допоміжних інструментів [9].

Контррельєфне різблення – це різблення зі зворотним рельєфним зображенням у глибині деревини з чітковираженням рельєфним контуром по периметру зображення. Контррельєфне різблення виконують аналогічно, як і трьохгранновиймчасте, але воно набагато глибше за рахунок використання доліт із закругленими фасками для вибирання деревини.

Ажурне різблення нагадує плоскорельєфне, але має наскрізь прорізане тло. Кругле різблення інколи застосовується у виготовленні й оздобленні святкового посуду, музичних інструментів, палиць, дитячих іграшок тощо.

Окремої уваги заслуговує мозаїка – орнаментальний набір із різнокольорових шматочків однорідних матеріалів (дерева, металу, мінералів, смальти), що з'єднані між собою спеціальною склеювальною сумішшю.

Інтарсія – метод зображення або візерунки, які виконуються способом врізування шматочків дерева, різних за фактурою і кольором, врівень з поверхнею виробу або суцільно вкривають його поверхню (маркетрі). Таким чином найчастіше оздоблюють меблі, виготовляють декоративні панно тощо (див. Додаток 1, рис. 2.5).

Характерні ознаки інтарсії:

- матеріал: натуральне дерево з різною текстурою (горіх, дуб, бук, клен, вишня, груша тощо);
- техніка: врізання тонких пластинок у поверхню, часто з попереднім кресленням;
- естетика: теплі кольори, природна глибина, художня виразність.

Інкрустація – техніка орнаментального оздоблення виробів шматочками твердих матеріалів (дерева, металу, рогу, слонової кістки, перламутру, бісеру і под.), які вирізають і вкладають у поверхню. Декоративний ефект інкрустованого візерунка ґрунтується на контрастному зіставленні тональних і колірних

різнохарактерних матеріалів. Інкрустація дозволяє створювати багатобарвні, контрастні, фактурні композиції, підкреслювати форму виробу, додавати символічних елементів. Деревина різних порід дає широкий спектр відтінків — від білого до чорного, від золотистого до червоного, коричневого, сірого. Металеві вставки додають блиску, підсилюють декоративність, а перламутр — іридесценції, вишуканості. Бісер, кістка, ріг — підкреслюють етнічний характер, додають унікальності [11; 12].

Випалювання традиційно виконують на світлих породах дерева: ялині, смереці, сосні, клені. Здебільшого ним оздоблюють бондарний посуд, рідше меблі. Нині випалювання застосовують при декоруванні дитячих іграшок та елементів народної дерев'яної архітектури. Розрізняють два способи випалювання — розжареними металевими штампиками («штансами»), з відбитків яких складають різноманітні орнаменти, й електрописаком, що дає чіткий контурний малюнок.

Досить зручною, але й оригінальною технікою художньої обробки деревини є розпис. Рисунок наносять пензлями по заґрунтованій або незаґрунтованій поверхні виробу темперою, гуашшю, олійними й аніліновими фарбами, нітроемалями. З кінця XIX ст. розписані вироби почали покривати лаком, що оберігало їх від забруднення.

Нині в Україні набуло широкого розповсюдження об'ємне станкове скульптурне різблення. Станкова скульптура називається так тому, що виконується на скульптурному «станку». Техніка виконання об'ємноскульптурного різблення суттєво відрізняється від виконання вищенаведених видів різблення, оскільки потребує великого досвіду, знань і технічних навичок. Різьбяр повинен володіти об'ємно-просторовим баченням, композиційним та художнім відчуттям [9].

Поряд із традиційними техніками художньої обробки деревини нині широко використовуються інноваційні технології.

1.3. Інноваційні технології в сучасній художній обробці деревини

Сучасна художня обробка деревини поєднує традиційні ремісницькі навички з цифровими і матеріальними інноваціями. Це створює нові можливості для форми, текстури та функцій. Серед сучасних технологій і методів обробки деревини найбільшого поширення набули такі: цифрове моделювання і параметричний дизайн, числове програмне фрезерування, лазерне гравірування і різання, а також гібридні техніки. Сучасні технології художньої обробки деревини охоплюють широкий спектр методів, які поєднують традиційні прийоми з новітніми технологічними інноваціями. До таких технологій належить різьблення, інкрустація, розпис, токарна обробка, а також пірографія – техніка художнього випалювання по дереву.

Для цифрового моделювання майстри використовують CAD/parametric-системи (Rhinceros + Grasshopper, Fusion 360) для проектування складних кривих, фасет і модульних систем; дає змогу швидко генерувати варіанти та оптимізувати структуру під матеріал. Числове програмне фрезерування дозволяє виконувати точну різьбу, деконструкцію шару, створювати рельєфи й повторювані елементи; підходить для серійного виробництва та експериментів із товщиною шару. Лазерне гравірування і різання використовується для тонкої графіки, мікрорельєфу, інкрустації, точного розкрійного креслення; дозволяє поєднувати різні товщини шпонів та створювати інтерференційні ефекти [29].

Гібридні техніки передбачають комбінування ручного та цифрового управління. Масштабний робочий процес відбувається за такою схемою: цифровий макет → CNC/лазер → ручна фінішна обробка, інкрустація, полірування та художня патина. Це зберігає художню індивідуальність і забезпечує більшу точність. Технологію 3D-друку використовують для формоутворення шаблонів і матриць. Використовують 3D-принтери для створення шаблонів, форм для пресування

шпонів, матриць для лиття декоративних елементів або тимчасових каркасів для ламінування (див. Додаток 1, рис. 1.6) [48; 49].

Епоксидні смоли, біосумісні смоли, термопластичні суміші та інноваційні клеї для ламінування забезпечують прозоре закріплення, можливість інкапсуляції предметів або створення полімер-дерев'яних композитів. Нанотехнології використовують для обробки поверхні. Нанопокриття для підвищення зносостійкості, водовідштовхувальні та анти-ультрафіолетові шари, тонкі декоративні плівки з контролем блиску та текстури. Роботизовані маніпулятори використовують для шліфування, різблення і фарбування у великих інсталяціях; використовують для важких або повторюваних операцій. Віртуальну та доповнену реальність VR/AR застосовують у проєктуванні і презентації. Віртуальне прототипування розмірів, освітлення і взаємодії з інтер'єром; AR — для демонстрації робіт у майбутньому просторі замовника.

З цими технологіями художня обробка деревини стає довершеним художньо-виробничим процесом: від визначення концепту виробу через цифрове проєктування і прототипування до виробництва і презентації.

Структура процесу виготовлення виробів із використанням сучасних технік художньої обробки деревини охоплює чотири взаємопов'язані етапи (рис. 1). Така модель забезпечує логічну послідовність.

Структура процесу, подана на (рис 1.1) і охоплює чотири взаємопов'язані етапи: концептуальне опрацювання, цифрове проєктування, прототипування та виробництво. Така модель забезпечує логічну послідовність технологічних операцій і стабільну якість кінцевого виробу.

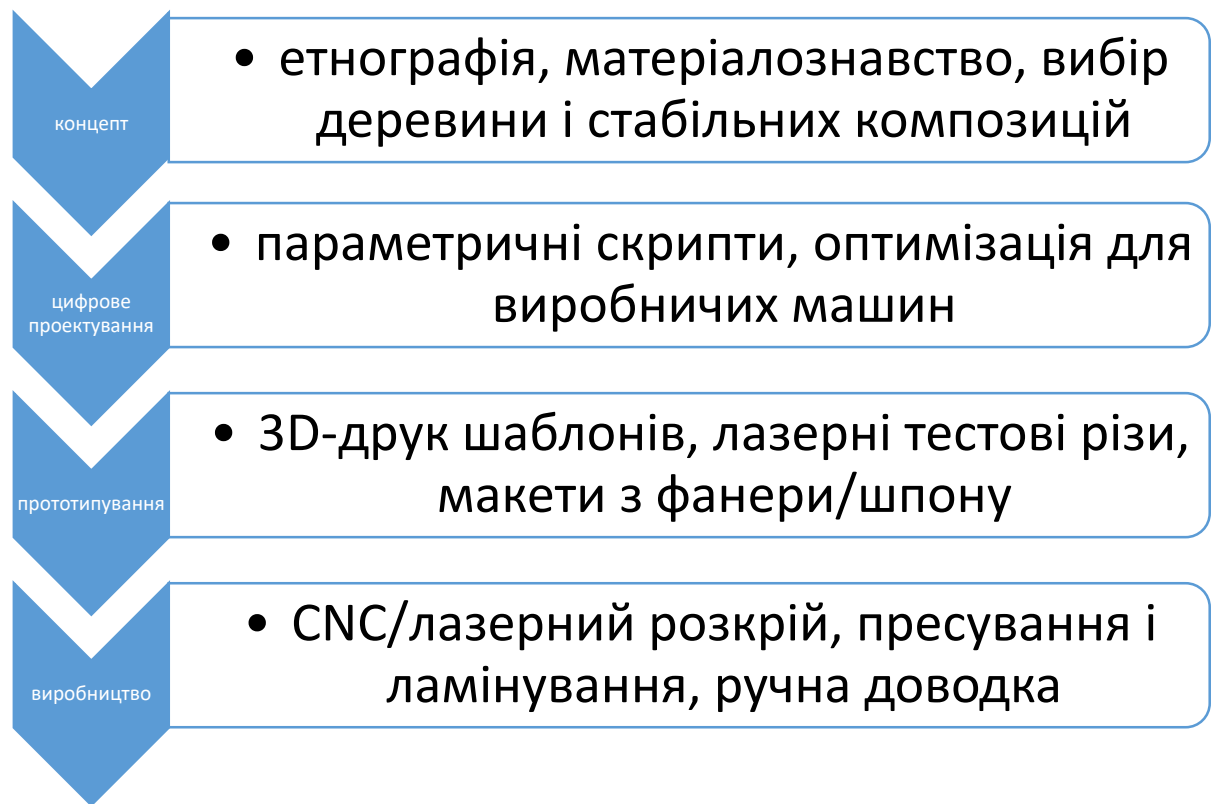


Рис.1.2 Схема поетапного виготовлення виробів із використанням сучасних технік художньої обробки деревини

Звершується виробництво нанопокриттям, нанесенням смоли, поліруванням, нанесенням декоративної патини. Перевагами таких інновацій є точність виконання і можливість повторюваності у великих масштабах зі збереженням авторської ідеї. Стало реальним відтворення фрактальних і мінімалістичних структур. Значно скоротився час переходу від ідеї до її реалізації в готових виробах. Таким чином оздоблені вироби знаходять широке застосування в інтер'єрах, меблях, інсталяціях тощо.

Проте цей інноваційний підхід має і свої складнощі та недоліки. До складнощів відносимо спеціальну підготовку фахівців, які мають володіти основами CAD, навичками управління CNC/лазером, знаннями з матеріалознавства смол, володіти базовими вміннями 3D-дизайну, а також техніками фінішної обробки. Розширюється також базовий набір обладнання: простий CNC-маркер,

лазер середнього класу, настільний 3D-принтер, базовий набір для епоксидних покриттів. До недоліків відносимо зниження екологічності виробів і певну втрату автентичності, саме художньої цінності та унікальності виробу [5].

Отже, інноваційні технології значно розширюють художні можливості деревини, але найкращі результати дає усвідомлене поєднання цифрових інструментів і традиційного ремесла з акцентом на екологічність і збереження культурної ідентичності.

Значно трансформували художню обробку деревини сучасні станки з програмним управлінням (CNC), які поєднують точність інженерії з можливостями дизайнерської свободи. Вони підвищують продуктивність, відкривають нові форми і дозволяють інтегрувати цифрові процеси в ремісничу практику. Далі розглянемо детальніше використання сучасних станків з програмним управлінням для художньої обробки деревини.

Для художньої обробки деревини наразі використовують такі типи станків (див. Додаток 1, рис. 1.7) і їх художні застосунки:

- CNC-фрезерні центри, які підходять для різьблення в глибині, створення рельєфів, складних 3D-форм і точних фасок; використовують для меблів, панелей і скульптур.
- Маршрутизатори з ЧПК настільного і промислового класу, що є зручними для серійних і модульних елементів, вирізання контурів і гравіювання; добре поєднуються зі шпонуванням і ламінуванням.
- Лазерні станки з ЧПК, які використовуються для тонкого гравіювання, мікрорізів, інкрустації і різання тонкого шпону або фанери.
- Комбіновані роботи-маніпулятори, що застосовуються в масштабних інсталяціях і для автоматизованої фінішної обробки: шліфування, фарбування, нанесення лаків.

Для виготовлення виробів використовують спеціальні гравірувальні, V-подібні і сферичні фрези для різних текстур; матеріали хвостовика і покриття для зменшення нагріву (див. Додаток 1, рис. 1.8). Необхідно враховувати твердість порід, напрям волокон, глибину різу і подачі для уникнення сколів і перегріву. Використовують тверді породи для деталей з високою точністю; шпон і ламінати – для тонкої графіки; композити – для складних комбінованих виробів.

У дослідженнях японських науковців [72;73;74;75;76] представлено інтелектуальну систему обробки на основі верстата з ЧПУ та роторним блоком для ефективного та легкого виробництва багатьох видів художньо оформлених дерев'яних виробів. Також представлено постпроцесор з генератором нечіткої швидкості подачі для ефективної роботи системи обробки. Постпроцесор дозволяє верстату з ЧПУ легко передавати рельєфний малюнок з поверхні плоскої моделі на циліндричну заготовку. Генератор нечіткої швидкості подачі генерує відповідні значення швидкості подачі відповідно до кривизни кожного рельєфного малюнка. Експериментальні результати показують, що художньо оформлені дерев'яні вироби можна успішно вирізати за допомогою запропонованої системи обробки [74].

У статті [74] вперше представлено систему 3D-проекування та обробки на основі верстата з ЧПУ та роторним блоком для ефективного створення привабливих малярних валиків. Запропоновано постпроцесор для перетворення базової траєкторії інструменту, яка називається даними про розташування різця (дані CL), у дані ЧПУ, відображаючи подачу піку по осі у на кут повороту роторного блоку. Система 3D-обробки з постпроцесором дозволяє легко перенести рельєфний дизайн на плоску поверхню моделі на циліндричну поверхню моделі. Постпроцесор має ще одну функцію, яка систематично регулює швидкість подачі відповідно до кривизни кожного дизайну, щоб запобігти відколюванню обробленої поверхні. Постпроцесор генерує відповідні коди швидкості подачі, використовуючи простий метод нечітких міркувань, перевіряючи краї в рельєфних дизайнах. Експериментальні результати

показують, що дерев'яні малярні валики з привабливим рельєфним дизайном можна успішно обробити без небажаного відколювання країв. Далі запропонований генератор нечіткої швидкості подачі додатково застосовується до робота для полірування форм, завдяки чому час полірування можна скоротити приблизно на 30% порівняно з випадком без генератора [72].

Автори [83] вказують на те, що п'ятиосьова обробка поверхонь вільної форми має важливу перевагу над триосьовою обробкою, тобто більший ступінь гнучкості в позиціонуванні ріжучого інструмента відносно поверхні. У п'ятиосьовій обробки дерев'яних поверхонь вільної форми є три основні фази створення траєкторії руху інструменту: (1) генерація точок контакту різця (CC); (2) формування точок розташування різця (CL), які визначають траєкторію, якою рухається опорна точка різального інструменту; (3) створення конкретної програми обробки деталей верстата (файл G-коду). Автори пропонують поверхню довільної форми визначати як трикутну багатогранну сітку. Точки CC створюються з визначення сітки поверхні за допомогою методу різальної площини. Крім того, точки CC позиціонуються на основі вивчення кількох важливих факторів: геометричних обмежень, отриманих з обмежень осей верстата, підрізання поверхні вільної форми ріжучим інструментом та зіткнення інструменту з оброблюваною заготовкою або верстатом. Точки CL потім можуть бути згенеровані вздовж отриманих точок CC, враховуючи конкретні стратегії обробки, такі як висота гострих зрізів та плавна зміна положення інструменту. Критичні питання стосуються уникнення проблем з обробкою на етапі генерації траєкторії інструменту. Таким чином, цей метод дозволяє уникнути неефективних методів п'ятиосьової обробки, автоматично створюючи та перевіряючи можливу траєкторію інструменту перед фактичним різанням [72].

Для дослідження теорії постобробки авторами статті [54; 82] було використано гібридний 5-ступеневий паралельно-кінематичний верстат,

побудований з використанням механізму TRR-XY. Досліджено вплив форм різців та конструкції верстата на постобробку. Автори дійшли висновку, що для модифікації постобробки різних інструментів, що використовуються в реальному різанні, потрібні лише деякі специфічні параметри. У дослідження включено кут нахилу та кут рискання різця відносно нормального напрямку поверхні різання. Авторами також було використано параметричні представлення різних форм різців, визначені стандартом DIN, код ЧПУ було згенеровано за допомогою програмного забезпечення LABVIEW. Моделювання проводилося для перевірки правильності роботи на основі кількох розроблених траєкторій руху інструменту [54; 82].

Дослідники з Австрії пропонують шліфування некруглих заготовок на циліндрично-шліфувальних верстатах з ЧПК. Це нова техніка, яка відкриває широке поле нових можливостей як у проектуванні, так і у виробництві. Значні економічні резерви можна використовувати для деталей, що складаються з комбінації круглих та некруглих поперечних перерізів. Ці деталі тепер можна повністю обробити за одну операцію. Дослідницький проект «Некругле шліфування на верстатах з ЧПК», який виконується в Технічному університеті Граца, Австрія, підтримується кількома дослідницькими фондами, національним урядом та австрійською промисловістю [58, 81].

Проте більшу цінність мають вироби, в яких застосовано гібридний підхід, тобто поєднано технології CNC і ручну майстерність. За такого підходу CNC виконує грубу форму і точні повторювані елементи, а потім художній майстер робить фінішну різьбу, текстуру і патину для надання виробу індивідуальності. Перевагою такого підходу є можливість створення складних рельєфів, інтерактивних поверхонь і багатошарових інкрустацій, які важко отримати суто ручними методами.

У деяких сучасних публікаціях представлені критерії якості поверхні рельєфних художньо-промислових дерев'яних виробів, оброблених на верстатах з

ЧПК. Порівнюються трудомісткість і вартість обробки з подальшою рельєфною ручною обробкою типових виробів. Виявлено функціональні залежності трудомісткості та вартості обробки від кроку поперечної подачі фрезерного верстата та наведено наявність його раціональних значень, що мінімізують загальну трудомісткість обробки та ручної обробки, а також загальні витрати на обробку [73; 75; 76].

Отже, сучасні станки з програмним управлінням значно посилюють художні можливості роботи з деревом, але їхня ефективність залежить від усвідомленої інтеграції в творчий процес, належного підбору інструментів і збереження ремісничої експертизи.

Висновки до першого розділу

Історичні традиції художньої обробки деревини засвідчують глибоку культурну й духовну цінність цього виду мистецтва. Вони формувалися впродовж століть, відображаючи національні особливості, символіку та естетичні пріоритети різних епох. Традиційні техніки стали основою для подальшого розвитку й залишаються важливим джерелом натхнення для сучасних майстрів.

Види, техніки та засоби художньої обробки деревини демонструють багатство й різноманітність підходів: різьблення, інтарсія, маркетрі, випалювання, інкрустація та інші. Кожна техніка має власні художні можливості та функціональне призначення, що дозволяє створювати як декоративні, так і утилітарні вироби. Вибір засобів залежить від задуму майстра, властивостей матеріалу та культурного контексту.

Інноваційні технології в сучасній обробці деревини (лазерне різьблення, цифрове моделювання, комбінування традиційних і цифрових методів) відкривають нові горизонти для творчості. Вони забезпечують високу точність, економію ресурсів і можливість інтеграції дерев'яних виробів у сучасний дизайн та архітектуру. Поєднання класичних традицій із новітніми технологіями сприяє збереженню культурної спадщини та водночас формує актуальні тенденції у сфері художньої обробки деревини.

РОЗДІЛ 2. ХУДОЖНЬО-СТИЛІСТИЧНІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ КОМБІНУВАННЯ ТРАДИЦІЙНИХ ТА ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНІК

2.1. Аналіз сучасних художніх тенденцій у роботі з деревиною

Сучасна деревообробка переходить від традиційного ремісничого виробництва, яке значною мірою залежало від емпіричного досвіду майстра та фізичних обмежень матеріалу, до високотехнологічного, інтегрованого та цифрово керованого процесу [47]. Ця зміна вимагає від фахівців глибокого розуміння синергії між інноваціями у матеріалознавстві, прецизійними виробничими системами та розвитком художнього світосприйняття [43]. У сучасному контексті деревина розглядається не лише як конструктивний елемент, але і як засіб системної трансформації в архітектурній культурі та дизайні [2; 64]. Такий підхід вимагає розгляду матеріалу через призму його життєвого циклу, екологічної ролі та здатності нести культурне й соціальне значення.

Традиційно, цінність дерев'яного виробу визначалася його функціональністю (наприклад, міцність або корисність) та якістю виготовлення, що вимірювалася дотриманням ремісничих норм. Однак нині фокус уваги споживача переноситься на естетичну, пластичну та експресивну цінність матеріалу.

В академічних колах і мистецьких практиках деревину почали розглядати як об'єкт, що піддається суто пластичній обробці (*treated purely plastically*). Це означає, що критерії оцінки змістилися: цінність дерев'яної скульптури чи дизайнерського об'єкта більше не обмежується лише його функцією чи технічними вимогами виробництва. Натомість, він розглядається з художньої перспективи, виступаючи як віддзеркалення почуттів митця та носій його креативного потенціалу. Сучасна

дерев'яна скульптура та дизайн активно прагнуть нести надзвичайну енергію в мистецтві, творчості та вираженні [47].

Для реалізації цього художнього імперативу — необхідності надання деревині максимальної експресивності — вимагається відхід від багатьох фізичних обмежень, які накладала класична деревообробка. Це створює прямий зв'язок між найсучаснішими технологіями модифікації матеріалу та прагненнями художників. Лише технологічні інновації дозволяють матеріалу повною мірою служити носієм складної естетичної та символічної ідеї.

Сучасні художні тенденції формуються на перетині технологічних проривів, які дозволяють майстрам обходити природну анізотропію та гігроскопічність деревини, забезпечуючи створення інноваційних складних форм та структур [47].

Новітні напрями мистецтва у роботі з деревиною поєднують традиційні техніки з інноваційними матеріалами, цифровими технологіями та екологічною естетикою. Вони спрямовані на емоційний вплив, функціональність і культурну ідентичність. Основними напрямом, які формують сучасне декоративно-ужиткове мистецтво на основі деревини, є такі: використання локальних порід дерева, збереження природної текстури (тріщини, сучки, нерівності стають естетичними елементами), використання природного контуру дерева в меблях і панно [4].

Набувають широкого застосування інноваційні техніки та цифрові технології. Лазерне гравіювання та CNC-фрезерування дозволяють створювати складні орнаменти з високою точністю. Використовують 3D-моделювання для попереднього візуального планування виробів. Набуває популярності поєднання з іншими матеріалами: епоксидна смола, метал, скло — для контрасту та глибини.

Інтеграція цифрових інструментів стала фундаментальною для сучасної роботи з деревиною. Традиційні методи роботи з шаблонами та ручне різання часто обмежували складність геометричних форм та точність виконання. Використання програмних комплексів для 3D-моделювання (CAD/CAM) є ключовим елементом

сучасного процесу. Вони дозволяють дизайнерам та архітекторам не просто проектувати складні вироби, але й здійснювати віртуальне тестування їхніх характеристик, наприклад, моделювати напруження, деформації або аеродинамічні властивості, ще до початку фізичного виробництва. Цей етап значно підвищує ефективність роботи, мінімізує помилки та дозволяє майстрам створювати унікальні, складні конструкції з деревини з високою якістю та точністю.

Фрезерні верстати з числовим програмним керуванням (ЧПК) та системи лазерного гравіювання та різання забезпечують перехід від віртуального дизайну до фізичного об'єкта з високою прецизією [13,29,77]. Ці системи дозволяють виконувати дрібні текстурні роботи, складні внутрішні вирізи та багат шарові різьблення, які були б недоступні або надто трудомісткі для традиційних ручних інструментів. Технології ЧПК стали стандартом для великомасштабних архітектурних дерев'яних елементів і складних художніх інсталяцій.

Сучасні технології виготовлення декоративних елементів інтер'єру з деревини засновані на використанні фрезерного устаткування із числовим програмним керуванням (ЧПК). Під час виготовлення виробу верстати з ЧПК працюють за програмами, складених в САМ-системах [7]. До основних недоліків обробки на верстатах зі ЧПК відносять суттєві капітальні вкладення в устаткування, необхідність використання спеціально створених програмних продуктів, значну тривалість чистової обробки, складність створення тривимірної моделі й відсутність ексклюзивності продукції [42].

Найбільш значущий прорив у художній обробці деревини пов'язаний із методами її структурної модифікації, які змінюють фізичні властивості матеріалу, усуваючи його природні недоліки. У статті [42] автор описує, якого прогресу нині досягнуто щодо вдосконалення методів обробки та використання гнутої та клеєної деревини і як засоби біовогнезахисту відкрили нові резерви цього матеріалу. Погоджуємось із науковцем, що «астосування 3D-технологій у сполученні з

традиційними матеріалами відкриває можливості зниження витрат на виробництво» і що «найважливішою перевагою використання 3D-друку у виробництві елементів інтер'єру є можливість створювати надскладні архітектурні форми та дизайн, які раніше було складно чи навіть неможливо реалізувати» [42], а також підтримуємо висновки іноземних науковців і практиків, що 3D-друку з деревинно композиційних матеріалів [6], зокрема з целюлози та лігніну, відкриває гарні перспективи для майбутнього виробництва дерев'яних меблів [49].

Нині усе більшого поширення набувають технології глибокого оброблення деревини Deep Wood Processing (DWP). DWP являє собою складний процес, який включає термообробку та обробку деревини під високим тиском [13; 14]. Цей метод має критичне значення для художнього та дизайнерського застосування, оскільки він дозволяє істотно підвищити експлуатаційні характеристики матеріалу. Основними результатами застосування DWP є підвищення стійкості деревини до вологи (гігроскопічності) та її захист від шкідників. Крім того, DWP може поліпшити фізичні властивості деревини, такі як її щільність і твердість, що робить її придатною для створення деталей з текстурою і виглядом, схожими на цінні, часто екзотичні, породи, підвищуючи таким чином її художню цінність та функціональність.

Для створення вигнутих, біоморфних або складних геометричних форм, які виходять за межі прямокутних конструкцій, застосовуються технології гідро- і маслопресування. Ці методи використовують тиск води або мастила для тимчасової пластифікації деревини, що дозволяє її зігнути, а потім зафіксувати у необхідній формі [14]. Цей підхід є критично важливим для виготовлення інноваційних і складних конструкцій у меблевому дизайні та архітектурній оболонці.

Застосування DWP та пресування суттєво зменшує природні обмеження деревини, пов'язані з її анізотропією (різні властивості в різних напрямках волокон). Фактично, ці технології дозволяють перетворити деревину на квазі-ізотропний

матеріал, який може підкорятися складним геометричним законам, встановленим 3D-моделюванням. Такий технологічний дозвіл є каталізатором для нової хвилі дерев'яної скульптури та архітектури, вільної від традиційних конструктивних обмежень.

У статті [14] представлено основні технології виготовлення гнутих деталей для меблевих виробів. Автор описує різні способи гнуття деревини, (випилювання криволінійних заготовок, гнуття масивної деревини з попереднім гідротермічним обробленням та з пропилуванням, а також методи склеювання під час гнуття). Для підвищення еластичності перед гнуттям автор пропонує застосовувати технології пластифікації деревини, зокрема пропарювання, проварювання, оброблення аміаком та прогрівання у полі СВЧ [14].

Крім того, сучасна практика включає поєднання натуральної деревини із синтетичними матеріалами. Це не просто інженерне рішення, а свідомий художній вибір, що дозволяє використовувати деревину для її унікальних текстур, теплоти та природного вигляду, тоді як синтетика (полімери або композити) забезпечує структурну міцність або створює контрастні естетичні ефекти. Ця гібридизація підкреслює перехід до інтегрованого дизайну, що розмиває межу між традиційним декоративно-ужитковим мистецтвом та високотехнологічним промисловим дизайном.

Сучасний художній виріб із деревини має відповідати високим вимогам не лише естетики, а й довговічності та екологічної безпеки. Цей баланс досягається завдяки інноваціям у матеріалознавстві, особливо у сфері покриттів та модифікаторів. Застосування наноматеріалів, зокрема нанопокриттів, є провідним напрямком досліджень для поліпшення характеристик деревини. Наночастинки інтегруються в поверхневий шар матеріалу, забезпечуючи значні переваги порівняно з традиційними лакофарбовими виробами: стійкість до вологи, вогнестійкість, міцність і захист.

Найважливішою перевагою цих технологій для художнього дизайну є те, що нанопокриття можуть забезпечувати необхідний інженерний захист, зберігаючи при цьому природний вигляд деревини. Сучасний художній тренд часто цінує сиру, автентичну текстуру матеріалу, а функціональні нанопокриття вирішують конфлікт між цим естетичним запитом та архітектурними стандартами безпеки та довговічності. Це створює концепцію функціональної естетики, де захист є настільки досконалим, що він стає практично невидимим, дозволяючи необробленому вигляду матеріалу домінувати в художньому вираженні [49, 50].

У контексті зростаючих потреб виробництва та обмежених запасів вільної деревини, особливо для країн з обмеженими лісовими ресурсами, як-от Україна, актуалізується питання використання альтернативної сировини. Розробка та впровадження нових технологічних схем одержання целюлози для хімічного перероблення з вітчизняної недеревної рослинної сировини є важливою науково-практичною задачею. Це не лише вирішує проблему дефіциту ресурсів, але й сприяє принципам циркулярної економіки, перетворюючи сільськогосподарські відходи на високоцінні матеріали для художньої обробки.

Паралельно з нанотехнологіями, сучасні тенденції вимагають високої екологічної відповідальності. Це стимулює новітні розробки в сфері екологічних матеріалів, включаючи безпечні для здоров'я покриття та фарби [57]. Ключова вимога полягає у тому, щоб ці матеріали не містили шкідливих речовин, але при цьому забезпечували високу стійкість і довговічність виробів із деревини. Це дозволяє створювати художні об'єкти, які є не тільки візуально привабливими, але й відповідають суворим стандартам екологічної безпеки та гігієни, що є обов'язковим елементом сучасного дизайну інтер'єру.

Сучасне мистецтво деревини зосереджене на її глибокій пластичній цінності та здатності інтегрувати культурний контекст у технічно складні та естетично витончені форми. Перехід до суто пластичної обробки деревини визначає новий

художній дискурс. У цьому контексті деревина розглядається як матеріал, що має величезний потенціал для творчості та вираження. Художній успіх виробу визначається його здатністю бути ефективним віддзеркаленням емоційного та творчого стану митця.

Технологічні прориви (DWP, гідро- та маслопресування), є прямими каталізаторами цього художнього розвитку. Можливість створювати складні, вигнуті форми знімає архітектурні обмеження матеріалу. Ця технологічна можливість повністю відповідає потребі митця у максимальній експресії. Завдяки модифікації структури деревини, художник може тепер ефективніше виражати складні почуття та творчу енергію через біоморфні, нетрадиційні форми, які раніше були неможливі без використання композитних матеріалів. Таким чином, технології не просто покращують якість обробки, а є необхідною умовою для формування нової, вільної від ремісничих обмежень, хвилі дерев'яної скульптури.

Інтеграція апсайклінгу низькосортної деревини та використання недеревної рослинної сировини (НДРС) для отримання наноцелюлози має прямий вплив на економічну модель художньої деревообробки. Якщо високотехнологічний художній об'єкт створюється з ресурсів, які раніше вважалися відходами (апсайклінг), за допомогою прецизійних цифрових технологій (ЧПК), це перетворює відходи на високомаржинальний, етично виправданий продукт.

2.2 Пірографія, випалювання та декоративне тонування як виражальні засоби

Пірографія отримала оновлений розвиток завдяки сучасним засобам, таким як електровипалювачі, лазерне гравіювання і використання програмованих ЧПК (числовим програмним керуванням) пристроїв, що дозволяє досягати високої точності і деталізації у роботах. Пірографія представляє собою випалювання малюнків на дерев'яній поверхні за допомогою спеціального інструменту – електровипалювача, у якого робочим елементом виступає металеве перо, виготовлене з ніхромового дроту різної товщини (див. Додаток 2, рис. 2.1). Вибір пера впливає на товщину ліній і дозволяє створювати складні та різноманітні візерунки [11;12;23]. Окрім електроприладів, існує старовинний метод пірографії з використанням збираючої лінзи для фокусування сонячних променів, але він менш контролюваний порівняно з електротехнічними засобами.

У сучасному мистецтві пірографія активно поєднує традиційні ручні техніки з програмованою лазерною гравіровкою, яка забезпечує бездоганну точність і масштабування малюнків, що часто використовується в художньому промислі та декоративно-ужитковому мистецтві. Також застосовуються захисні покриття, такі як акрилові лаки, що зберігають інтенсивність випаленого зображення, оберігають його від вицвітання, вологи та механічних пошкоджень [22].

Пірографія як метод художньої обробки деревини дозволяє створювати унікальні декоративні вироби з високим рівнем деталізації і довговічністю. Вона має застосування у виробництві сувенірів, інтер'єрних елементів, подарункових виробів та художніх панно[2; 8; 24; 38]. Технологія ефективна для виробництва як невеликих серій, так і індивідуальних ексклюзивних замовлень, оскільки поєднує простоту і можливості машинного керування.

Сучасні методи пірографії можна поділити на кілька основних видів, які різняться за технікою нанесення малюнка, інструментами та рівнем автоматизації: ручна пірографія, лазерне гравіювання, числове програмне керування, пірографія з використанням лінзи.

Під час ручної пірографії художник використовує електровипалювач з ніхромовим пером різної товщини. Рухи пера по дереву контролюються вручну, що дозволяє створювати унікальні орнаменти з різною товщиною і відтінками ліній (залежно від швидкості руху пера, сили натиску і кута нахилу). Такий спосіб вимагає навичок і терпіння, однак зберігає індивідуальний художній почерк.

Лазерне гравіювання базується на використанні лазерних пристроїв для високоточних випалювань. Лазер дозволяє створювати складні, точні візерунки, повторювані тисячократно, що особливо цінно у виробництві сувенірів та декоративних виробів великого тиражу. Перевага — висока швидкість роботи і мінімальна потреба в ручній праці [62; 79].

Числове програмне керування є автоматизованим процесом, у якому використовується спеціальне обладнання з комп'ютерним керуванням, яке заздалегідь програмує малюнок, відтворюючи його з високою точністю. Цей спосіб застосовується в промисловому та художньому виробництві для серійного виготовлення виробів з унікальними візерунками. Переваги — стабільність результату, мінімальна підготовка користувача, широкий спектр матеріалів [22].

Метод випалювання сонячним променем через збираючу лінзу, який є екологічним, але менш контрольованим. Вимагає гарної погоди і багато часу, через що ця техніка нині рідко застосовується у порівнянні з електроприладами.

Розгляне порівняння основних методів пірографії таблиця 2.1.

Таблиця 2.1

Метод	Інструменти	Точність	Рівень автоматизації	Використання
Ручна пірографія	Електровипалювач	Середня	Низький	Унікальні вироби, художнє мистецтво
Лазерне гравіювання	Лазерний гравер	Висока	Високий	Промислове виробництво, сувеніри
ЧПК	Числове програмне керування	Висока	Високий	Серійне виробництво, масштабування
Лінзова пірографія	Збираюча лінза	Низька	Відсутній	Рідко, майже історичний метод

Метою розробки ЧПК-пірографії є автоматизація створення ескізу двовимірного зображення на прямокутній дерев'яній заготовці. Малювання за допомогою ЧПК-пірографії здійснюється шляхом переміщення пірографічного пера по поверхні дерев'яної заготовки за допомогою програмування. Поточні дослідження зосереджені на малюванні малюнка або тексту шляхом випалювання дерева. За допомогою цієї установки ЧПК-пірографії можна малювати складні лінійні малюнки, включаючи різний текст. Результат дуже точний у порівнянні з іншими доступними методами, такими як ручний та графічний методи. Ця установка в основному використовує Inkscape з розширенням GRBL [71]. Завдяки G-коду бажані виходи можуть бути швидко завантажені.

Фактично ЧПК-пірографія – це автоматизована машина, яка випалює на заданій заготовці (деревині) дизайн, необхідний користувачеві. Дизайн може бути написаний у вигляді програми з використанням G-кодів та M-кодів, або він може

бути згенерований автоматично за допомогою програмного забезпечення, такого як Inkscape або BenBox. За допомогою цієї машини можна досягти більш художнього та реалістичного зображення. Ця машина може зменшити всі людські помилки, які виникають під час ручного проектування. Основна увага приділяється розширенню меж мистецтва за допомогою цифрових й технологій [70].

Отже, сучасні методи пірографії відрізняються ступенем автоматизації, точністю та масштабованістю виготовлення виробів. Вибір методу залежить від цілей: чи це художнє індивідуальне мистецтво, чи серійне виготовлення сувенірної продукції.

Ще одним видом пірографії є 3D-друк з використанням деревини різного кольору. Відомо, що кольори поліпшують естетичні та функціональні аспекти тривимірних (3D) друків об'єктів за допомогою екструзії матеріалу (MEX). Однак існуючі методи 3D-друку вимагають додаткових матеріалів та обладнання, які або складно калібрувати, або є занадто дорогими для пересічних користувачів 3D-друку. У статтях [55; 59; 63; 70; 78; 79] представлено техніку виготовлення, яку названо 3D-друкованою пірографією, яка дозволяє друкувати кілька відтінків кольору та градієнтів за допомогою деревного філаменту та екструдера з одним соплом. Автори дослідили вплив температури та швидкості друку на колірні властивості поверхні виробу і довели, що 3D-друк з кількома кольорами відкриває багато можливостей для візуального вираження та насичених застосувань, які неможливо реалізувати з монохроматичними об'єктами. Фактично автори представили 3D-друковану пірографію, як просту, але нову техніку, яка динамічно змінює температуру сопла принтера для обвуглювання деревної поверхні під час 3D-друку.

У Youtube представлено відео про 3D-друковану пірографію – нову техніку та програмну систему, яка дозволяє користувачам друкувати на 3D-принтері артефакти з кількома різними відтінками одного кольору, використовуючи

деревний філамент, екструдований з однофотонного FFF-принтера. Цей підхід не вимагає ручного втручання (наприклад, зміни філаментів) або оновлення обладнання. Натомість, він використовує техніку пірографії, обвуглювання деревини для зміни її кольору та застосовує її до 3D-друку, генеруючи G-код, який динамічно контролює температуру сопла (і, отже, частинки деревини у філаменті) під час процесу друку [59].

На процес обвуглювання впливають два різні параметри: температура сопла та швидкість екструзії, з якою нитка проходить через сопло (тобто тривалість нагрівання нитки). У статтях [53; 61; 84; 85] авторами описано вплив цих двох параметрів на колір матеріалу, визначено максимальну кількість помітно різних кольорів, які можна надрукувати, та найнадійніший спосіб отримання стабільних результатів.

2.3 Поєднання лазерних технологій і ручних технік у декоративному мистецтві

Процес лазерного гравірування – це технологія, що належить до стратегій обробки матеріалів. Це безконтактний процес, де сфокусований лазерний промінь поглинається матеріалом і перетворюється на теплову енергію на поверхні, що призводить до випаровування матеріалу, залишаючи слід на поверхні. На відміну від інших традиційних методів, лазерне гравірування не потребує використання чорнильних орбітальних головок і використовується на широкому спектрі матеріалів, включаючи метали, пластмаси, кераміку, скло, дерево та шкіру, а також пофарбовані поверхні та фотографічні емульсії.

Суха деревина складається переважно з целюлози (40–50%), лігніну (20–30%), геміцелюлози (20–30%) та екстрактивних речовин (3–10%). Різна структура окремих компонентів деревини впливає на механічні, фізичні та хімічні властивості. Для модифікації деревини з метою покращення корисних властивостей використовуються різні методи, наприклад, висока температура, вологість, світло, ультрафіолетове випромінювання або різні хімічні речовини. Зміна кольору необхідна в кількох сферах використання деревини, особливо в меблевій промисловості. Одним з факторів, що впливають на зміну кольору деревини, є електромагнітне випромінювання, що поглинається деревиною у відносно широкому діапазоні довжин хвиль. Деревні полімери демонструють різну здатність поглинати ультрафіолетове світло, утворюючи радикали. Лігнін надзвичайно чутливий до ультрафіолетового опромінення, що призводить до утворення ароматичних вільних радикалів (феноксильних радикалів), які далі реагують з киснем, утворюючи карбонільні та карбоксильні групи, що пов'язано зі зміною кольору деревини внаслідок появи ненасичених карбонільних сполук (хінонів). Целюлоза та геміцелюлози не поглинають видиме світло. Природні лігніни, виділені

з мінімальними хімічними або фізичними змінами, мають блідо-жовтий колір. Більше того, багато деревини поглинають світло понад 500 нм через наявність фенольних речовин, таких як флавоноїди, стильбени, лігнани, таніни та хінони. Поглинання електромагнітного випромінювання деревиною призводить до її фотодеградації. Найбільший вплив на цей процес має УФ-випромінювання, 80–95% якого здатний поглинати лігнін. Деградація викликає утворення вільних радикалів, які реагують з киснем та утворюють хромофори, що значно впливає на зміну кольору деревини. Наприклад, УФ-опромінення ялини зменшує вміст лігніну на поверхні до 20% від початкових значень, і фотопожовтіння дуже добре корелює з деградацією лігніну.

У науковій літературі є лише поодинокі праці, присвячені дослідженню взаємодії лазерного опромінення з деревиною. Зміни хімічної структури деревини, опроміненої УФ-лазером, залежать головним чином від кількості поглиненої енергії. Швидкість деградації УФ-лазером зазвичай дуже висока. Термічні ефекти, такі як плавлення, а також карбонізація целюлози, були виявлені для довжин хвиль ІЧ- та УФ-лазерів [78].

Термічна обробка може здійснюватися електричним, інфрачервоним або мікрохвильовим нагріванням. Нетрадиційним джерелом нагрівання поверхні деревини є потужний CO₂-лазер, хоча його сферою застосування зазвичай є різання, гравіювання та маркування. Лазерна потужність для обробки поверхонь може викликати бажані зміни кольору, хоча в літературі бракує даних про таке використання. Вплив CO₂-лазера на деревину можна використовувати як новий метод фарбування [41; 69].

Використання опромінення CO₂-лазера в деревині має кілька переваг. На відміну від традиційних методів фарбування, ми можемо змінювати колір (у типовому діапазоні кольорів деревини) лише шляхом подачі енергії у вигляді електромагнітного випромінювання. У випадку використання промислового CO₂-

лазера можна легко змінювати кількість вхідної енергії – або змінюючи відстань від опроміненої поверхні до вихідної фокусної лінзи, або змінюючи швидкість подачі лазерної головки [53; 77]. Вимірюючи інтенсивність опромінення, можна точно визначити кількість подаваної енергії. В інших технологічних процедурах, що використовуються для зміни кольору деревини (обробка паром, сушіння, варіння), це зазвичай досить складно.

У промисловості для гравіювання використовується багато типів лазерів, але найбільш використовуваним є CO₂, який використовувався для різання та гравіювання деревини (див. Додаток 2, рис. 2.2). Крім того, CO₂-лазер є ефективним лазером з високою потужністю та доступним у продажу [29; 67; 69].

Лазерне глибоке гравіювання є однією з найперспективніших технологій, що використовуються в операціях гравіювання дерева. У цьому методі лазерний промінь використовується для абляції масиву деревини за заздалегідь визначеними шаблонами. Скульптура отримується шляхом повторення цього процесу на кожному наступному тонкому шарі. Ступінь точності форми, швидкість видалення та якість поверхні під час процесу гравіювання суворо залежать від властивостей матеріалів, характеристик лазерного джерела та параметрів лазера. Вплив параметрів процесу на швидкість видалення матеріалу при гравіюванні червоної деревини за допомогою CO₂-лазера з довжиною хвилі $\lambda=10,6$ мкм представлено в статтях [53; 62; 67; 69; 70; 77; 78; 79]. Досліджувані параметри: потужність лазера, швидкість сканування та відстань перекриття ліній; кожен з них має різне значення (20, 25, 30, 35 та 40 Вт), (100, 300, 500, 700, 1000 мм/хв⁻¹) та (0,03, 0,06, 0,1, 0,2, 0,3 мм) відповідно. Робочі параметри були розроблені з використанням методології L25 Taguchi для планування експерименту. Експериментальні результати показали, що CO₂-лазер може успішно гравіювати червоне дерево, отримуючи різну глибину гравіювання. Максимальна та мінімальна отримана глибина становили 4,25 мм та

0,01 мм. Результати показують, що взаємодія глибини гравіювання змінюється залежно від параметрів лазера.

Лазерні технології мають багато переваг порівняно з традиційними методами: безконтактна обробка зразків, висока точність, низька зона термічного впливу, висока швидкість, гнучкість, універсальність, легка автоматизація та комп'ютерне керування, а також короткий час обробки та низька вартість [79]. Однією з найважливіших причин розвитку технології лазерної обробки є її обробка з високою точністю, а також складні форми та обробка різних матеріалів [53; 62; 67; 69; 70; 77; 78; 79].

Під час досліджень особливостей лазерного гравіювання визначають вплив потужності вихідного променя CO₂-лазера та швидкості сканування на шорсткість поверхні та зміну кольору деревини. Дослідники І. Кубовський та Ф. Качик аналізували зміну кольору деревини клена внаслідок опромінення CO₂-лазером з використанням різної вихідної потужності [67; 69].

У статті [67] розглядаються зміни кольору та зміни компонентів деревини, спричинені опроміненням лазерним променем. Букова плита розміром 500 мм × 150 мм × 15 мм була опромінена променем CO₂-лазера за різних експозицій (виражених як доза опромінення). Зміни кольору вимірювалися спектрофотометром та описувалися в кольоровій системі CIELAB. Зміни основних компонентів деревини спостерігалися за допомогою інфрачервоної спектроскопії з перетворенням Фур'є (FTIR), а вуглеводи аналізувалися за допомогою газової хроматографії їх альдонітрилацетатів. Зі збільшенням дози опромінення (від 14 до 57 Дж см⁻¹) спостерігалася постійне зростання загальної різниці кольорів. Переважно спостерігалася деградація геміцелюлози, тоді як при вищій дозі енергії відбувалася конденсація лігніну.

Інші дослідники вивчали вплив лазерного променя на морфологію деревини. Вони використовували CO₂ та ексимерний лазер з різними параметрами процесу,

інтенсивністю, часом і фокусом на морфології поверхні. Вони виявили, що при використанні CO₂-лазера та тривалості імпульсу в діапазоні 1 мс спостерігалася плавлення дерев'яних поверхонь без карбонізації. Глибина розплавленого шару була в діапазоні від 2 мкм до 7 мкм, але карбонізація з'являється при використанні ексимерного лазера [77; 79].

За допомогою експериментів доведено, наприклад, що секвоя добре взаємодіє з CO₂-лазером і демонструє різні взаємодії, на які впливає зміна параметрів процесу. Площа розміром 30*15 мм була вигравірувана, як планувалося, на основі експериментального дизайну Тагучі. Було виявлено, що як потужність лазера, так і швидкість гравіювання впливають на розмір і колір гравіювання CO₂-лазером. Крім того, лінія перекриття впливає на характеристики гравіювання.

Автором статті [78] було проведено детальне дослідження фотодеградації деревних поверхонь ксеноновим джерелом світла та УФ-лазером. Шпон срібної берези, каучукового дерева, сосни звичайної та чирієвої сосни опромінювали ксеноновим джерелом світла або аргоновим іонним лазером з довжиною хвилі 244 нм. Зміни хімічної структури деревних поверхонь контролювали за допомогою УФ-резонансної раманівської спектроскопії (UVR), фотоакустичної інфрачервоної спектроскопії з перетворенням Фур'є (FTIR-PAS) та УФ-видимої відбивної спектроскопії. Глибинне дослідження профілю деревних поверхонь, опромінених ксеноновою лампою, проводили шляхом вимірювання спектрів FTIR-PAS при різних швидкостях руху дзеркала.

Спектри UVR та FTIR-PAS опромінених деревних поверхонь показали деградацію ароматичної структури лігніну в поєднанні з сильним утворенням карбонільних структур. Спектри FTIR-PAS, виміряні на деревних поверхнях, опромінених ксеноном, вказують на те, що лігнін твердих порід деградує швидше, ніж лігнін м'яких порід. Спектри УФ (UVR) деревини, опроміненої ксеноном, демонструють значне зниження інтенсивності ароматичних структур при 1602

см⁻¹. Це супроводжується значним розширенням смуги та помітним зсувом у бік довших хвильових чисел, що пояснюється утворенням о- та р-хінонових структур як продуктів деградації. Утворення хінонових структур також підтверджується генерацією широкої смуги поглинання між 350 та 600 нм у спектрах відбиття в УФ-видимому діапазоні опромінених деревних поверхонь. Спостерігалось значне розширення в області 1500–1000 см⁻¹ у спектрах УФР через утворення ненасичених структур в результаті деградації лігніну. Спектри УФР лазерно опроміненої деревини демонстрували подібну поведінку, тобто загальне розширення та швидке зниження інтенсивності ароматичної структури лігніну. Швидкість деградації лазером була дуже високою. Однак ступінь розширення смуги був вищим у деревині, опроміненій ксеноном, що вказує на утворення кількох різних типів структур порівняно з лазерним опроміненням, яке утворює лише певний тип структур. Спектри УФР-спектрів опроміненого лазером паперу ватман показали значну фотодеградацію целюлози УФ-лазером. Швидкість УФ-деградації лігніну була набагато вищою, ніж целюлози [69; 78].

Дерев'яні поверхні, що піддаються впливу зовнішніх умов, швидко руйнуються, оскільки лігнін сильно поглинає ультрафіолетове світло, що призводить до радикально-індукованої деполімеризації складових деревини [70]. Використання УФ-лазерів замість традиційних ламп може ще більше прискорити фотодеградацію деревних поверхонь і, отже, може значно скоротити тривалість експозиції з годин до хвилин. Крім того, довжину хвилі та енергію лазерного опромінення можна дуже точно контролювати.

У сучасному декоративному мистецтві спостерігається зростаюча тенденція до інтеграції цифрових технологій із традиційними ремісничими практиками. Одним із найяскравіших прикладів цього симбіозу є поєднання лазерного різання, гравіювання та ручної обробки. Такий підхід відкриває нові горизонти для

художників, дизайнерів і майстрів, дозволяючи поєднувати точність машин із теплом людських рук [65].

Основними напрямками застосування лазерних технологій в художній обробці деревини є лазерне різання (точне вирізання складних форм з дерева, акрилу, шкіри, тканини, металу), лазерне гравіювання (нанесення візерунків, текстур, написів на поверхню матеріалу) і 3D-гравіювання (створення рельєфних зображень на дереві).

Прикладами застосування такого комбінованого підходу є сучасні ікони та обереги, де поєднані лазерне гравіювання орнаментів і ручна позолота; інтер'єрні панно, де лазерне різання дерева поєднане з ручним патинуванням, декоративні елементи в предметах інтер'єру, де деталі з лазерними візурунками збираються вручну [51; 66].

Отже, поєднання лазерних технологій і ручних технік — це не просто технічний прийом, а нова філософія декоративного мистецтва. Вона дозволяє зберігати автентичність, водночас відкриваючи двері до глобального ринку, інновацій та міждисциплінарного діалогу.

2.4. Синтез традицій та інновацій у художній обробці деревини

Сучасна візія художньої обробки деревини часто ґрунтується на поєднанні регіональних традицій і світового досвіду. Митці активно черпають натхнення з національної спадщини, інтегруючи традиційні мотиви, але виконують їх за допомогою найсучасніших технічних засобів, часто здобутих під час навчання у провідних світових освітніх центрах. Цей синтез забезпечує унікальне поєднання автентичного змісту та інноваційної форми. Художній успіх твору вимірюється не лише майстерністю, а й здатністю об'єкта залишатися культурно значущим та соціально прийнятним протягом тривалого часу. Це етично виправдовує його життєвий цикл та витрати ресурсів на його створення.

Для сучасного дизайну характерним є упровадженням нових матеріалів, стилів і форм, а також експериментування у різних напрямках. Актуальним є використання виробів з дерева у поєднанні з іншими матеріалами. Деревина є класичним і вічним матеріалом. Її вишуканість, унікальність і універсальність дають можливість для поєднання з іншими матеріалами й текстурами, тому її використання стало досить популярним у сучасному дизайні інтер'єрів [52; 65; 81].

Сучасні тенденції в інтер'єрному дизайні з використанням художньо обробленої деревини включають різноманітні вироби, які надають приміщенню тепла, природності та унікального стилю. Модними нині є акцентні стіни та панелі, які виготовлені з художньо обробленої деревини, часто з використанням різьблення або геометричних візерунків. Вони додають глибини і текстури інтер'єру (рис. 2.1). Не втратили своєї актуальності меблі з інкрустацією. Столи, шафи, комоди та інші меблі з інкрустацією дорогоцінними породами деревини або іншими матеріалами (наприклад, металом, каменем, синтетичними смолами) є модними елементами декору. Сучасні інтер'єри часто включають дерев'яні стільці та лавки з унікальним

дизайном і художньою обробкою, які служать не лише функціональними предметами, а й декоративними акцентами [47].



Рис.2.1 Інкрустовані дверці шафи (автор – Віктор Пришляк. 2023 р.)

Художньо різьблені рами для дзеркал, картин, дверей і віконних рам стають усе більш популярними завдяки своїй здатності додати витонченості та вишуканості [17; 60]. Останнім часом набули популярності світильники з художньо обробленої деревини, включаючи підвісні, настінні та настільні лампи. Вони додають тепла та унікального стилю в будь-який інтер'єр (рис.2.2).



Рис.2.2 Світильник (автор – Віктор Пришляк. 2024 р.)

Дерев'яні решітки та перегородки з художнім різьбленням використовуються для зонування простору, додаючи при цьому естетичної привабливості. Вони можуть бути виконані в різних стилях, від класичного до сучасного (рис.2.3).



Рис. 2.3 Перегородка зі стовбурів дерев (автор – Віктор Пришляк. 2023 р.)

Особливо вишуканий вигляд має інтер'єр з художньо виконаним паркетом зі складними візерунками та різними видами деревини створює розкішний та елегантний вигляд. На сучасних кухнях дерев'яні обробні дошки, підставки, миски та інші аксесуари з художньою обробкою додають природності та унікального стилю кухонному простору [30].

Особливості та унікальності інтер'єру надають декоративні панно та скульптури. Настінні панно з деревини з різьбленням або інкрустацією, а також дерев'яні скульптури стають центровими елементами інтер'єру, додаючи йому індивідуальності та художньої цінності. Ці вироби не лише підкреслюють природну красу деревини, а й додають інтер'єру естетичної цінності, роблячи його більш затишним і стильним [21; 39].

Виготовлення усіх цих предметів декору для сучасних стильних інтер'єрів є дуже складним процесом і в технологічному, і в художньому аспектах. Але попит на них зростає, а тому дуже цінними на ринку праці є фахівці, які обізнані не лише з модними тенденціями, а й готові до виготовлення таких виробів. А це означає, що знання про сучасні технології художньої обробки деревини мають бути імплементовані у зміст підготовки майбутніх фахівців (майбутніх дизайнерів, майстрів із художньої обробки деревини)

Аналіз інновацій у сфері дизайну інтер'єрів і технологічних рішень показує, що найновіші технології художньої обробки деревини значно розширили можливості майстрів, дозволяючи створювати складні й високоякісні вироби. Наприклад, лазерне гравірування та різання за допомогою спеціальних верстатів дає можливість створювати високоточні гравірування та різати деревину з мінімальними втратами матеріалу. Це дозволяє створювати складні візерунки та деталі, які раніше було важко або неможливо виконати вручну [26;29;47].

Використання фрезерних верстатів з числовим програмним управлінням уможливило автоматизувати процес різьблення по дереву. Це дає можливість створювати складні форми та візерунки з високою точністю і повторюваністю. В художній обробці деревини нині використовують і 3D-принтери [48]. І хоча справжня деревина не може бути надрукована на 3D-принтері, існують композити, що містять деревину (наприклад, змішані з PLA), які можуть бути використані для створення деталей з текстурою і виглядом, схожими на дерево [49].

Технологія глибокого оброблення деревини (Deep Wood Processing) передбачає термообробку та обробку під високим тиском, що дозволяє підвищити стійкість деревини до вологи та шкідників, а також поліпшити її фізичні властивості.

Використання наноматеріалів для обробки деревини може значно покращити її характеристики, такі як стійкість до вологи, вогнестійкість і міцність. Наприклад,

нанопокриття можуть захищати деревину від зовнішніх впливів, зберігаючи її природний вигляд.

Новітні розробки в сфері екологічних матеріалів включають безпечні для здоров'я покриття та фарби, які не містять шкідливих речовин, але забезпечують високу стійкість і довговічність виробів з деревини. Технології гідро- і маслопресування, які використовують тиск води або мастила застосовують для створення вигнутих форм із деревини, що дозволяє виготовляти інноваційні та складні конструкції [56; 57].

Використання програм для 3D-моделювання дозволяє проектувати складні вироби з деревини, тестувати їх характеристики і проводити віртуальне налаштування перед початком виробництва [9; 21].

Ці технології значно підвищують ефективність і можливості майстрів, дозволяючи створювати унікальні і складні вироби з деревини з високою якістю та точністю.

Із сучасними художніми виробами з дерева (див. Додаток 2, рис. 2.2) можна ознайомитись на сайті української фірми Kochut, яка спеціалізується на výroбах з дерева та епоксидної смоли (<https://wood.kochut.org/shop/>).

Останнім часом спостерігаємо тенденції до створення красивих і оригінальних виробів з деревини. Гарним прикладом є вироби з дерева та епоксидної смоли, виготовлені студентами (рис. 2.4). Це чарівне поєднання природи та синтетичного матеріалу породило чудові шедеври, які покращують естетику будь-якого будинку.



Рис.2.4 Декоративне панно «Соти»
(автори – Юрій Бабчук, Підручний Вадим, 2023 р.)

Властивості епоксидної смоли дають можливість замінити нею дорогий натуральний камінь, а також скло та гарячі емалі. Найчастіше вироби з епоксидної смоли є окремим видом декоративно-ужиткового мистецтва та відокремленим об'єктом дизайну, оскільки цей матеріал дозволяє створювати унікальні вироби, що не поступаються за художніми та естетичними характеристиками навіть ювелірним прикрасам. Епоксидна смола стійка до дії хімічних сполук, має гарну твердість, високу адгезію до металів, художні властивості (прозорість у чистому вигляді, глянцева блиск, здатність до фарбування в рідкому стані, поєднання з різними матеріалами), що відкриває великі можливості для використання полімерів з епоксидної смоли у декоративно ужитковому мистецтві [2; 4; 21].

Одним із актуальних трендів сьогодення є використання епоксидної смоли в дизайні оселі, меблів. Поєднання дерева та епоксидної смоли відкриває нескінченні можливості персоналізації, дозволяючи майстрам демонструвати свою творчість і створювати унікальні вироби з дерева, які прикрасять будь-який житловий простір.

Епоксидну смолу використовують не лише в дизайні для створення естетичного виробу, вона має і практичне застосування в багатьох сферах. У більшості випадків епоксидну смолу застосовують у виготовленні предметів побуту та елементів інтер'єру, створюють різні види поверхонь, наливні підлоги, підвіконня, стільниці. У декорі її використовують для покриття виробів, щоб отримати ідеально гладеньку поверхню і гідроізолювати об'єкт.

Властивості епоксидної смоли спонукають багатьох фахівців до творчості та дозволяють працювати з нею у різних напрямках, що дає можливість розвиватися художнику, дизайнеру, проєктувальнику і створювати їм нові форми.

Інноваційні технології художньої обробки деревини дають можливість фахівцям втілювати свої творчі ідеї в життя, використовуючи нові методи й матеріали, створювати нестандартні форми, текстури та дизайн, експериментувати зі складними формами та структурами деревини [2].

Отже, інноваційні художні техніки й технології обробки деревини в декоративно-ужитковому мистецтві є важливим елементом сучасного творчого процесу, який сприяє розвитку і трансформації мистецтва.

Сучасна художня робота з деревиною характеризується глибокою конвергенцією високотехнологічних інженерних методів та філософських і культурних вимог до матеріалу. Цей аналіз підтверджує, що художні досягнення останніх років не є ізольованими стилістичними рішеннями, а є прямим наслідком інтеграції передових технологій, таких як Deep Wood Processing, гідропресування, та нанотехнології, керовані прецизійним 3D-моделюванням [9; 18].

Проте спостерігаємо і повернення до традицій. Поступово відбувається відродження інтарсії та маркетрі: сюжетні композиції, орнаменти, сцени з життя — часто з етнічними мотивами. Все частіше використовуються народні символи: дерево життя, птахи, квіти, геометричні мотиви. Дерев'яні панно з сюжетами

застосовують як засіб візуального наративу в освітніх і терапевтичних просторах [28].

Сучасні реалістичні зображення дерев'яної мозаїки з теплими відтінками, природною текстурою та складним геометричним візерунком може згенерувати штучний інтелект [25; 27].

Зображення (див. Додаток 2, рис. 2.4) демонструє класичну інтарсію: шматочки дерева різних порід і відтінків ретельно підібрані та врізані в основу, утворюючи складний орнамент. Візерунок може бути геометричним, рослинним або навіть сюжетним — усе залежить від задуму майстра.

В Україні та світі спостерігається активне відродження традицій художньої обробки деревини. Діють професійні навчальні заклади: Львівська національна академія мистецтв, Косівський державний інститут прикладного і декоративного мистецтва, Вижницький фаховий коледж мистецтва та дизайну імені Василя Шкрібляка, Київський державний інститут декоративно-прикладного мистецтва і дизайну імені Михайла Бойчука, численні училища, технікуми, гуртки, майстер-класи, онлайн-курси [15;16; 34].

Створюються авторські майстерні, інтерактивні простори, виставки, фестивалі, конкурси. Сучасні майстри поєднують традиційні техніки з новітніми технологіями, створюють унікальні вироби, інтегрують деревообробку у сферу дизайну, архітектури, моди, мистецтва.

Разом з тим у художній обробці деревини можна бачити й глобальні впливи, наприклад: поєднання скандинавського мінімалізму з українською орнаментикою; японської філософії wabi-sabi — акцент на недосконалість і природність — у сучасному українському дизайні: українських технік з африканськими чи балканськими мотивами [36; 68].

В університетах України (наприклад, у Вінниці та Львові) активно досліджуються нові художні техніки обробки деревини, що поєднують традицію з

інновацією. Відкриті майстерні та воркшопи сприяють популяризації ремесла серед молоді.

У ХХІ столітті спостерігається відродження традиційних технік і матеріалів у сучасному дизайні. Майстри поєднують давні технології з новими матеріалами (епоксидна смола, акрилові фарби, лазерне різьблення, цифровий друк), створюють унікальні вироби, що поєднують екологічність, естетику, функціональність. Відкриваються школи, курси, майстер-класи з традиційних технік (Косівське училище, Яворівська школа, Львівська академія мистецтв). Популярні екологічні матеріали (соломка, натуральні барвники, еко-лаки), біорозкладні покриття, реставрація старовинних виробів із використанням автентичних технологій. Вироби українських майстрів експонуються на міжнародних виставках, користуються попитом у Європі, США, Канаді, Японії.

Висновки до другого розділу

Художня обробка дерева — це найдавніший напрям декоративно-прикладного мистецтва, що полягає у створенні оригінальних виробів з дерева різноманітного функціонального призначення. За формотворчими техніками художнє деревообробництво поділяють на такі галузі: бондарство, деревообробне токарство, столярство і декоративне різьблення.

Мистецтво художньої обробки деревини має багатовікову історію, що охоплює широкий діапазон технік і стилістичних напрямів. Його витoki сягають у доісторичні епохи, коли люди вперше почали використовувати дерево як матеріал для побутових потреб і творчого самовираження. З плином часу вдосконалювалися технології, розширювався інструментарій та матеріальна база, що сприяло створенню дедалі складніших і більш витончених дерев'яних виробів.

Художня обробка деревини — це унікальне явище, що поєднує утилітарність і високу естетику, глибоку символіку і майстерність виконання, національні традиції й універсальні цінності. В Україні, Європі, Азії сформувалися власні школи, техніки, стилі, що відображають історичний досвід, світогляд, релігію, побут, соціальний устрій кожного народу. Незважаючи на виклики індустріалізації, глобалізації, зміни матеріалів і технологій, художня обробка деревини залишається живою традицією, що надихає сучасних майстрів, дизайнерів, митців, зберігає ідентичність, формує культурний простір.

Збереження, популяризація, розвиток цього мистецтва — важливе завдання для сучасного суспільства, адже саме в дереві заковано пам'ять поколінь, мудрість предків, прагнення до краси, гармонії, духовного вдосконалення.

РОЗДІЛ 3. ТВОРЧИЙ ПРОЄКТ: СЕРІЯ ТВОРІВ «ПОРТРЕТИ ПИСЬМЕННИКІВ – Т.Г. ШЕВЧЕНКА, Л. УКРАЇНКИ, М. КОЦЮБИНСЬКОГО, В. СТУС» (ЗМІШАНА ТЕХНІКА, ПОЛІПТИХ)

3.1. Концепція та ідейний задум серії робіт

Початкова концепція представленої нами серії творів мала на меті поєднати інновації з традиційними техніками обробки дерева для створення нових художніх зображень важливих постатей класичної української літератури. Вибір саме цього тематичного напрямку впливає з нашого бажання дослідити, як можна ефективно використовувати сучасні технології для створення сакральних та символічних портретів, що вкорінені в соціальній, історичній та культурній пам'яті України.

Концепція творчої роботи включає основні техніки виконання:

- *лазерне гравірування* дає можливість створювати чіткі контури, детальні портрети та декоративні елементи, підкреслюючи сучасне технологічне відчуття роботи;
- *пірографія* (випалювання по дереву) додає роботі текстури, глибини та теплих тонів, передаючи шарм традиційної майстерності;
- *декоративне глазурування* – це завершальний крок, який надає роботі насичених кольорів та природної текстури. Воно не лише захищає виріб, але й надає йому ідеального візуального ефекту;
- *лакування фарбопультотом* – фіксує отриманий результат, надає роботам благородного блиску, захищає від зовнішніх впливів і додає професійної завершеності.

Українська література є одним із найважливіших чинників формування національної ідентичності. Такі особистості, як Тарас Шевченко, Леся Українка, Михайло Коцюбинський та Василь Стус, представляють різні фази розвитку

української культури, але їх об'єднує спільна мета яка спрямована на збереження і передавання української самобутності.

Ідейний задум серії робіт був зорієнтованим на практичне застосування портретів в освітньо-виховній діяльності Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського. Ці знакові українські постаті уособлюють національну ідентичність, культурну спадщину та моральні цінності. Їхні портрети матимуть не лише естетичну цінність, а й слугуватимуть виховним інструментом, заохочуючи студентів глибше пізнавати історію й літературу України, та формувати у них громадянську свідомість засобами мистецтва.

Письменники, представлені в серії портретів, формують символічну «вісь українського гуманізму»:

- **Т. Шевченко** — засновник національного дискурсу, творець культурного коду;
- **Л. Українка** — інтелектуальна модернізаторка, носійка європейського світогляду;
- **М. Коцюбинський** — майстер психологізму та художнього імпресіонізму;
- **В. Стус** — уособлення моральної непохитності та екзистенційної свободи.

Таким чином, вибір серії «Портрети письменників» зумовлений моїм бажанням створити мистецький проєкт, де представляючи ключових постатей української культури у змішаній техніці, ми зможемо показати їхні образи в новому художньому контексті, пропонуючи сучасній аудиторії новий міждисциплінарний погляд на культурну пам'ять.

3.2 Ескізно-пошуковий етап та комп'ютерне моделювання композицій

У роботі над серією портретів Т. Шевченка, Лесі Українки, М. Коцюбинського та В. Стуса я намагався сформувати єдину стилістичну систему серії, попри індивідуальність кожного персонажу. Для цього мною було проведено аналіз графічних зображень письменників, архівних фотографій, а також сучасних інтерпритацій.

Перший етап роботи передбачав виконання серії ескізів, де було враховано розміщення портрету на площині, пропорційні співвідношення силуету та підбір характерних рис, що забезпечують впізнаваність образів поетів (рис. 3.1).

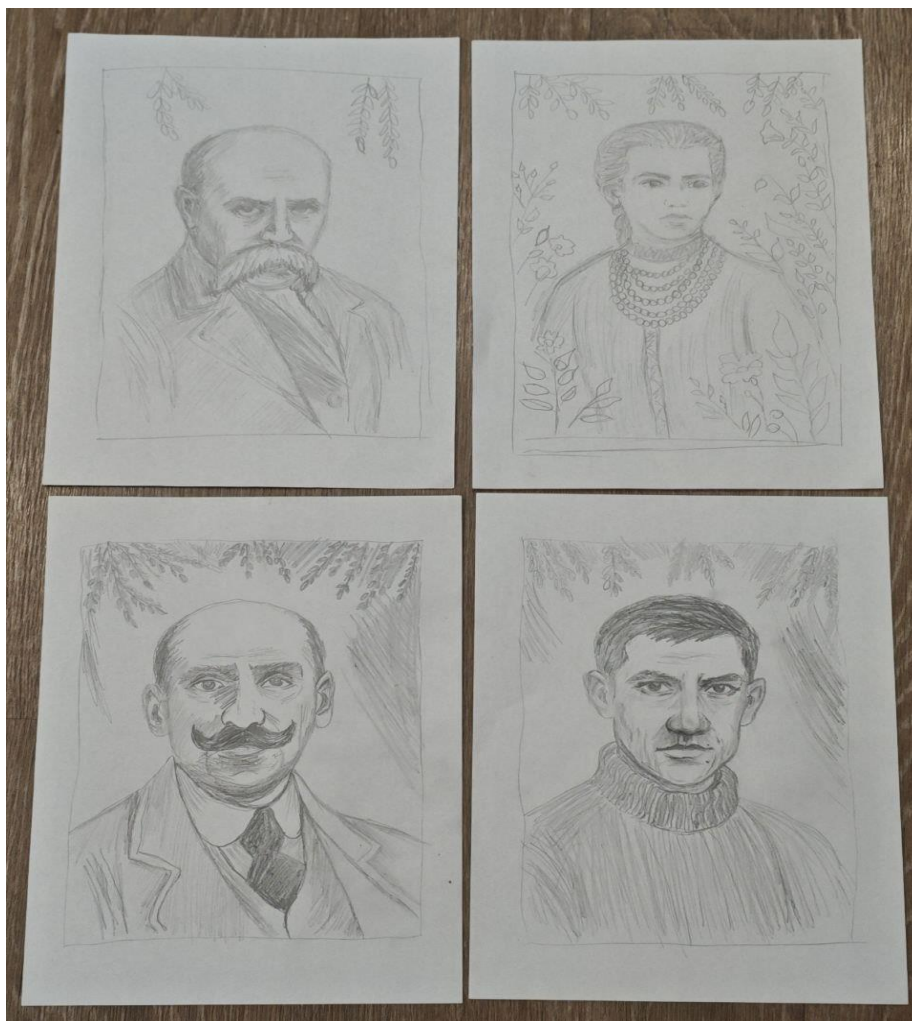


Рис 3.1 Початкова серія виконаних ескізів

На другому етапі роботи у межах інноваційного підходу я скористався генеративною моделлю штучного інтелекту яка допомогла згенерувати цифрові зображення письменників (рис. 3.2) на основі попередньо підготовлених ескізів. Для цього кожен початковий ескіз був відсканований або оцифрований у високій роздільній здатності. ШІ отримав референс та інструкцію щодо стилю, де вказувалися тональні та колірні акценти, характерні для кожного письменника, а також бажаний рівень деталізації. Зображення аналізувалися, і вносилися незначні корективи, які відповідали концепції серії та технічним вимогам гравіювання.

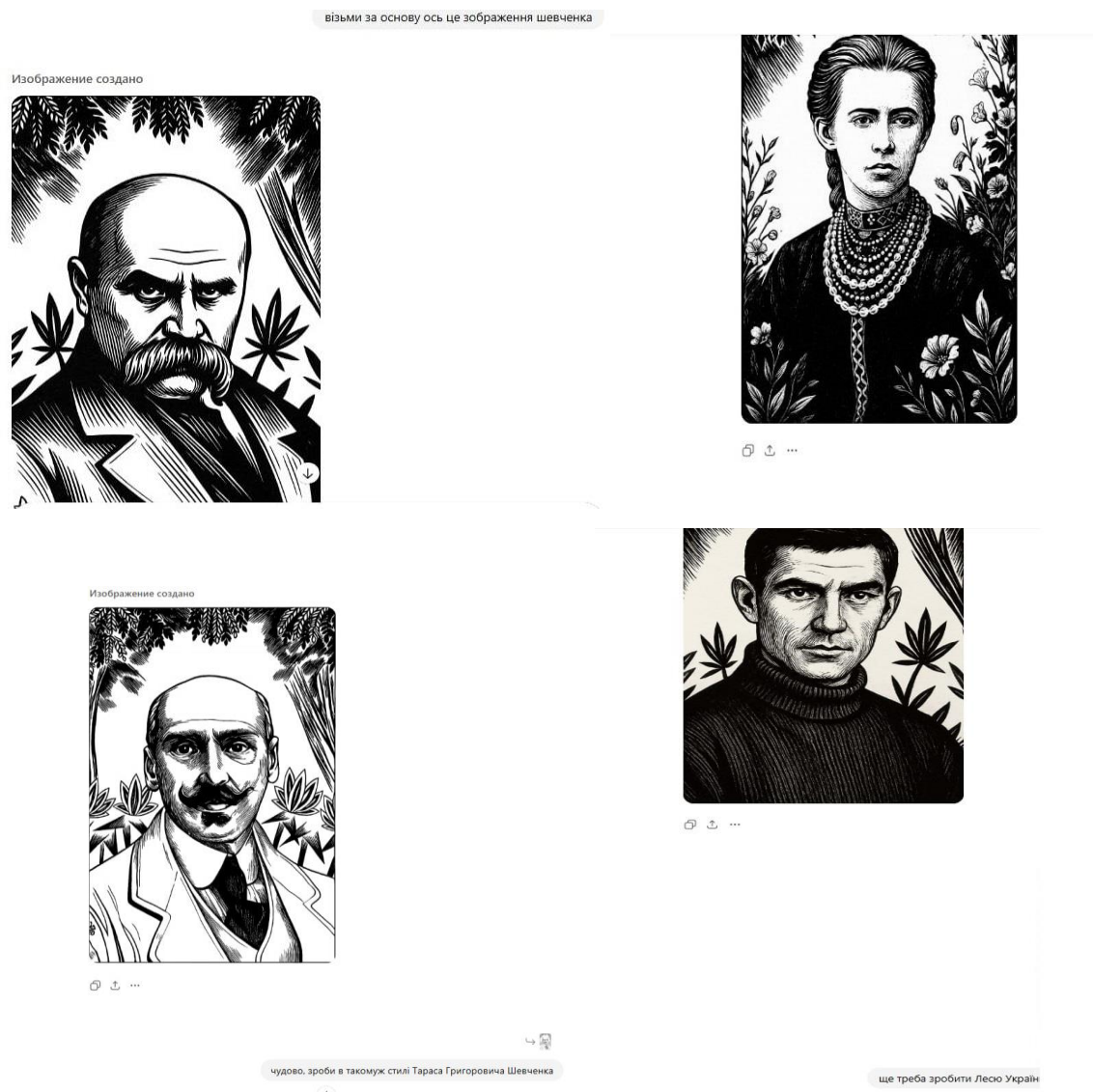


Рис. 3.2 Згенероване зображення письменників штучним інтелектом

Отримані за допомогою штучного інтелекту растрові файли письменників необхідно було перевести у якісний векторний формат. Подібне перетворення є важливим для лазерного гравіювання, яке потребує високої точності контурів та стабільності графічної структури незалежно від масштабування. Для цього була використана спеціалізована програма Vector Magic, що забезпечує якісне трасування зображень у напівавтоматичному режимі.

Векторизація здійснювалася у кілька етапів:

1. До програмного інтерфейсу імпортувався файл у растровому форматі (JPG або PNG), після чого програма провела автоматичний аналіз його структурних характеристик (контурної гами, контрастності, та наявності ключових контурів);
2. Для забезпечення точного контролю над формуванням ліній і збереженням портретної характеристики було обрано ручний (custom) режим, який дає змогу коригувати основні параметри перетворення;
3. Далі ми провели налаштування алгоритму трасування. Вибрали модель опрацювання (фотографія або графічне зображення), встановили орієнтовну кількість кольорів та рівень деталізації;
4. Програма Vector Magic генерує систему кривих і замкнених контурів, що відтворюють основні принципи портретного зображення. Векторна модель забезпечує можливість подальшого масштабування та редагування без втрати чіткості ліній;
5. Завершальним етапом стало збереження зображення у придатному для технологічного процесу форматі SVG (рис. 3.3). Цей формат забезпечує стабільність відтворення контурів у програмах керування лазерним обладнанням.

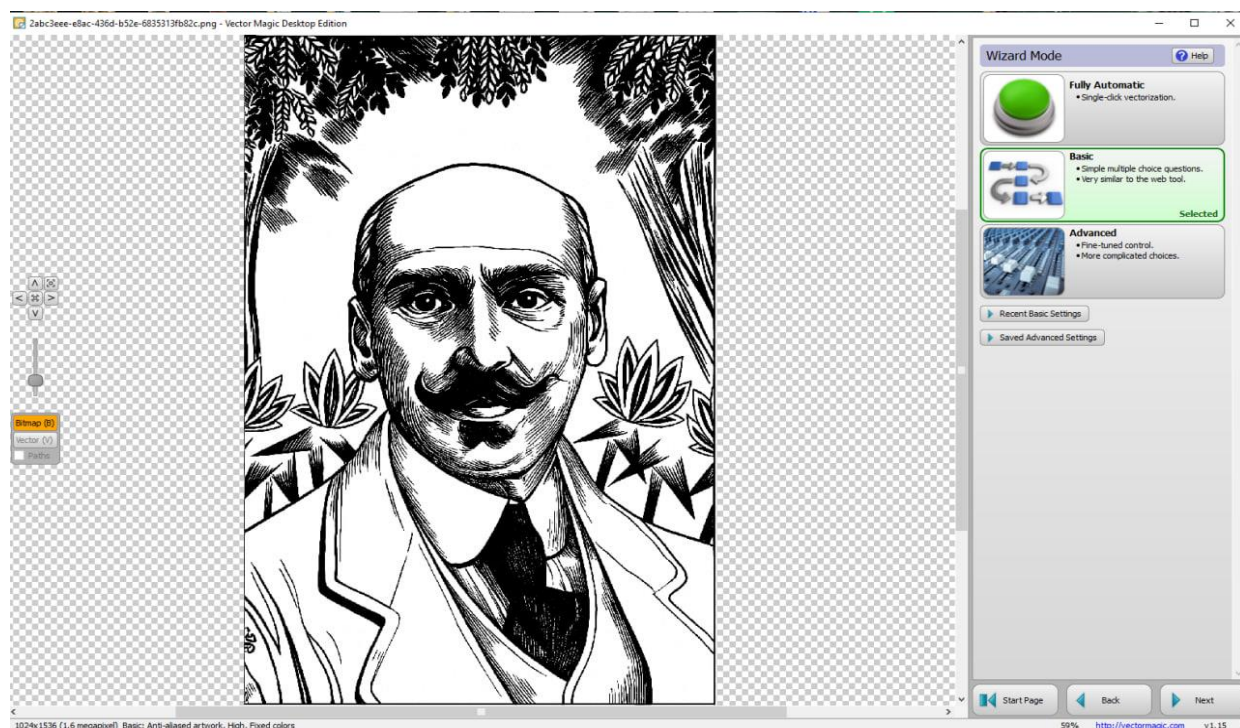


Рис. 3.3 Перетворене зображення М. Коцюбинського у векторний формат SVG за допомогою програми Vector Magic

Після завершення векторизації зображень виникла необхідність високоточного редагування зображень з метою корекції структури контурів, їх упорядкування та оптимізація для роботи з верстатом. Для виконання цих завдань було використано програму CorelDRAW 2024, яка є провідним інструментом для редагування векторної графіки.

Розглянемо алгоритм обробки зображення в CorelDRAW 2024:

1. До робочого середовища CorelDRAW 2024 завантажується файл у форматі SVG. Програма автоматично розпізнає групи, кольори та контури, після чого зображення стає доступним для детального редагування;
2. Наступний етап це очищення зображень від зайвих елементів полягає у видаленні випадкових фрагментів фону, та інших деталей, що могли залишитися після автоматичної векторизації;

3. Корекція структури контурів проводиться з метою згладжування, усунення розривів або підсилення окремих контурів. Встановлюємо товщину лінії відповідно до вимог лазерного устаткування. Особливої уваги потребували елементи обличчя, силуети та тіньові площини, що визначають портретну виразність;

4. Упорядкування та об'єднання графічних елементів виконується для забезпечення коректної роботи лазера. Певні контури об'єднувалися у цілісні замкнені лінії а фрагменти зображень групувалися у логічні блоки (рис. 3.4). Складні елементи спрощувалися, щоб уникнути перевантаження файлу.

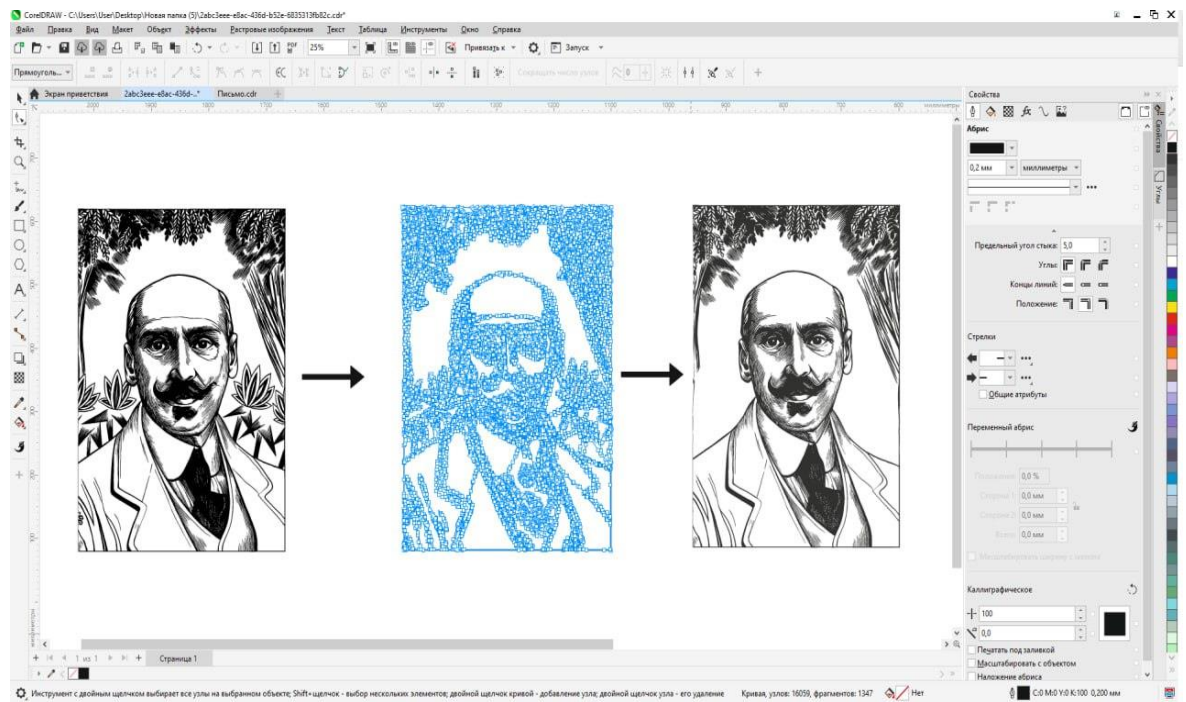


Рис. 3.4 Об'єднання замкнених ліній і групування фрагментів зображення М. Коцюбинського у програмі CorelDRAW 2024

5. Після остаточного редагування зображення зберігалось у форматі DFX (рис. 3.5), який є універсальним для більшості систем керування лазерними верстатами. Цей формат забезпечує правильне відтворення контурів, масштабів і координат.

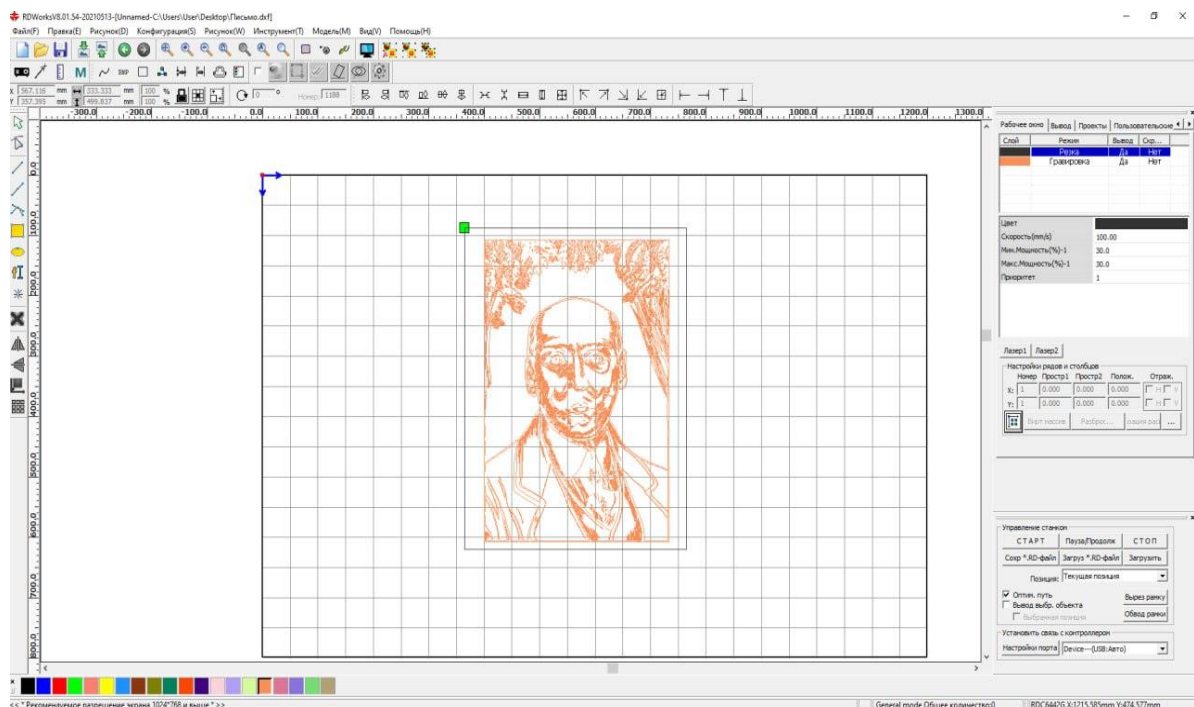


Рис 3.5 Збережене зображення у форматі DFX

Завдяки широким можливостям редагування векторної графіки, оптимізації контурів та підтримці технічних форматів CorelDRAW 2024 забезпечив підготовку чистого, впорядкованого та технологічно придатного графічного файлу.

3.3 Матеріали, інструменти і технічні засоби візуального втілення творчої роботи

Основні матеріали необхідні для виготовлення серії портретів:

- *фанера шфіфрована (8 мм.)* (для основи) повинна мати рівномірну структуру та стабільність при нагріванні і механічній обробці;
- *фанера шфіфрована (6 мм.)* (для виготовлення рамок);
- *акрилова лазур Holzlasur FEIDAL колір (венге) 0,75 л.* для декоративного тонування портретів;
- *акрилова лазур Holzlasur FEIDAL колір (тік) 0,75 л.* для декоративного тонування рамок;
- *клей для деревини Eskaro B-3 0,33 л* для приклеювання рамок до основи;
- *лак на водній основі глянцевий FEIDAL Acryl-Panellack 1л.* для фінішного покриття;
- *шліфувальний папір Dnipro-M* для віброшліф машини P120 5 шт/уп 93*185 мм для шліфування поверхні після нанесення глазури.

Інструменти та обладнання:

- *лазерний гравер/різак CO₂ (потужність 2 кВт.)* робоче поле має бути не менше 600x800 мм.
- *компресор* для фарбопульта;
- *фарбопульт* для рівномірного нанесення лаку;
- *пірограф* (випалювач по дереву) з регуляцією температури;
- *шліфувальна машинка* для шліфування поверхонь після нанесення лазури;
- *столярний інструмент*: струбцини, ножі, лопатки для клею ,різці;

- *валики для фарбування 100 мм. і 50 мм. для нанесенн лазурі на основу і рамку;*
- *ванна малярна 160 X 300 мм.;*
- *захисні рукавички;*
- *ганчірки та губки.*

Цифрові інструменти:

- *комп'ютор або ноутбук на який встановлена комп'ютерна графіка (Adobe Illustrator, Photoshop, CorelDraw);*
- *графічний планшет для ретуші та цифрових ескізів;*
- *програми для керування лазером (LaserGRBL, RDWorks, LightBurn).*

Аналіз технік використаних у проєкті:

- *лазарне гравіювання та різання* дає можливість точно відтворити портрети із фототрафічною деталізацією, вирізати деталі на рамки і нанести на них орнаменти. Ця техніка дає можливість працювати з дрібними деталями і контролювати глибину різьблення. У нашій композиції лазер формує конструктивну основу портретів, загальний тон, контраст і основну геометрію.

- *Ручне випалювання (пірографія)* використовується у нашій творчій роботі для підсилення окремих ліній, додавання ручної фактури та індивідуальних штрихів. Також пірографія дає можливість створити м'які переходи, яких лазер не дає і підкреслює авторську індивідуальність. Випалювання додає серії портретів унікальності та відчуття ручної праці.

- *Декоративне тонування* у представленій серії робіт є одним із ключових етапів формування художньої виразності. Основна мета декоративного тонування полягала у суцільному покритті фанерної основи лазур'ю кольору (венге). Після чого ми провели вибіркоче шліфування не гравійованих ділянок композиції, що підсилено природну текстуру деревини і зформувало глибокий коричневий тон із холодним графічним відтінком. У цій техніці ми оздобили наші

рамки використавши інший колір лазурі (тік), це дало можливість відділити рамку від зображення за рахунок теплішого відтінку, та підкреслити декоративний характер обрамлення.

- *Шліфування* у даній серії робіт відіграло значну роль. Часткове зняття верхнього шару темної лазурі (венге) на негравіюваних поверхнях портретів створило природний перехід між темними зонами (де лазур залишилися у поглибленнях) і світлими ділянками (де було відкрито початковий відтінок фанери). Шліфування поверхонь портретів і рамок дало можливість якісно нанести лак на готові роботи.

- *Лакування* – завершальний етап технологічного процесу створення серії портретів. Для нанесення лаку ми використовували фарбопульт у комплекті з компресором, що забезпечило високу рівномірність нанесення та контроль товщини покриття. Завдяки лакуванню роботи набувають тривалого терміну експлуатації, та відчуття професійно виконаного декоративного об'єкта.

3.4 Технологічна послідовність виконання творів

Лазерне гравіювання.

Після завершення ескізної- пошукової роботи та формування підготовлених графічних моделей у цифровому середовищі розпочинається практичний етап створення творчого проекту який передбачає послідовне застосування технологій художньої обробки деревини.

Одним із ключових процесів створення серії є лазерне гравіювання, яке забезпечує чіткість ліній, деталізацію портретів та стабільність повторювальних елементів. Для коректної роботи лазерного верстата необхідним є створення керуючого файлу у форматі *.RD, який задає траєкторію руху лазерної головки, величину потужності, швидкості і контролює порядок виконання операцій. Формування таких команд здійснюється у програмі RDWorksV8.

У програму завантажується підготовлений векторний файл DFX. При імпорті файлу відбувається перевірка структури контурів, вирівнювання зображення у робочому полі, визначення меж і групування елементів за типом обробки.

Далі відбувається налаштування режимів, що визначають якість та глибину різання:

- потужність лазера;
- швидкість переміщення головки;
- частота імпульсу;
- кількість проходів;
- тип операції (гравіювання або різання)

Програма RDWorksV8 дає можливість переглядати побудовані траєкторії у симуляційному режимі, що дозволяє нам скоригувати порядок операцій і оцінити орієнтовний час обробки.

Остаточно налаштувавши всі параметри проект зберігається у форматі *.RD (рис. 3.6), який правильно розпізнається контролером Ruida, і тому він є обов'язковим для запуску процесу на обладнанні.

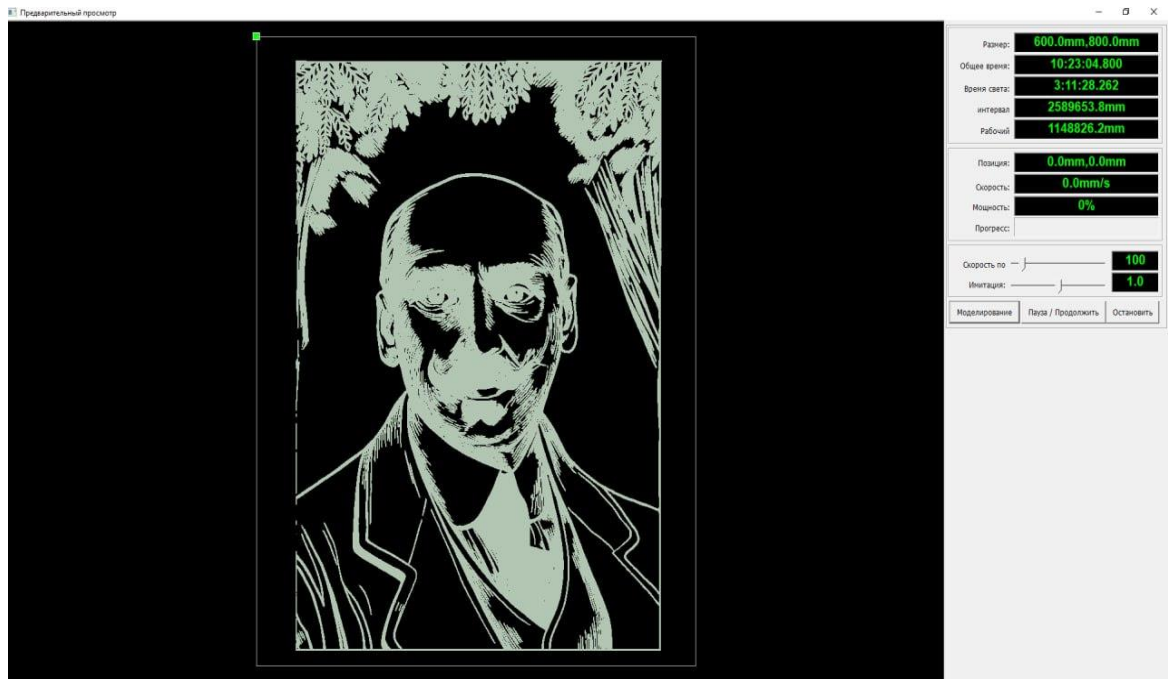


Рис. 3.6 Збережений керуючий файл у форматі *.RD для лазерного верстата

Створений *.RD-файл передається на верстат чеез USB-накопичувач або мережеве підключення. Перед запуском файла у роботу нам потрібно встановити матеріал (фанеру 8 мм.) у робочу зону, налаштувати фокусну відстань лазера і задати нульову точку потатку обробки. Важливо також не забути перевірити системи вентиляції та охолодження, і можна запускати робочий цикл натиснувши на панелі керування верстата команду Start.

Процес гравіювання одного портретного зображення (рис. 3.7) тривав у середньому близько 2 годин, що пов'язано з високим рівнем деталізації та значною площею графічних елементів.



Рис 3,7 Процес гравіювання серії портретів на лазерному верстаті

Отримані зображенн у процесі лазерного гравіювання відображають високу точність та деталізацію, що забезпечила попередня підготовка файлів у RDWorksV8 та дотримання оптимальних параметрів роботи лазерного верстата. Всі потррети письменників (рис. 3.8) виконані у рамках серії та складають єдину композиційну лінію поліптиха.



Рис 3.8 Серія портретів письменників створена лазерним гравіюванням.

Наступний етап, який має відношення до лазерного гравіювання, це будо виготовлення рамок (з фанери 4 мм.) (рис. 3.9) для серії портретів і гравіювання на них орнаменту.

Технологія вирізання та гравіювання рамок з фанери аналогічна технології лазерного гравіювання портретів, так як обидва процеси виконуються на лазерному верстаті з використанням однакових принципів формування керуючого файлу та налаштування траєкторій і режимів роботи лазера через програмне забезпечення RDWorksV8.

Тому, виготовлення рамок на лазерному верстаті відбівалося у такій послідовності:

- підготовка та корекція векторного файлу у програмі (CorelDRAW)
- імпорт у RDWorksV8 – де призначалися технологічні параметри, оптимізація траєкторій та симуляція процесу;
- запуск лазерного верстата та контроль виконання.



Рис. 3.9 Вирізані і гравійовані деталі рамок на лазерному верстаті

Ручне випалювання (пірографія).

Після лазерного гравіювання портрети були додатково опрацьовані технікою ручного випалювання, що дозволило підсилити тонально-рельєфну структуру зображень. Пірографія забезпечила плавні тіньові переходи, яких неможливо досягти лише засобами лазерної обробки. Ручне випалювання виконувалося за допомогою пірографа з різними насадками (рис.3.10). Тонкі насадки використовувалися під час деталізації рис обличчя, а плоскі для м'якого підтінення окремих зон.

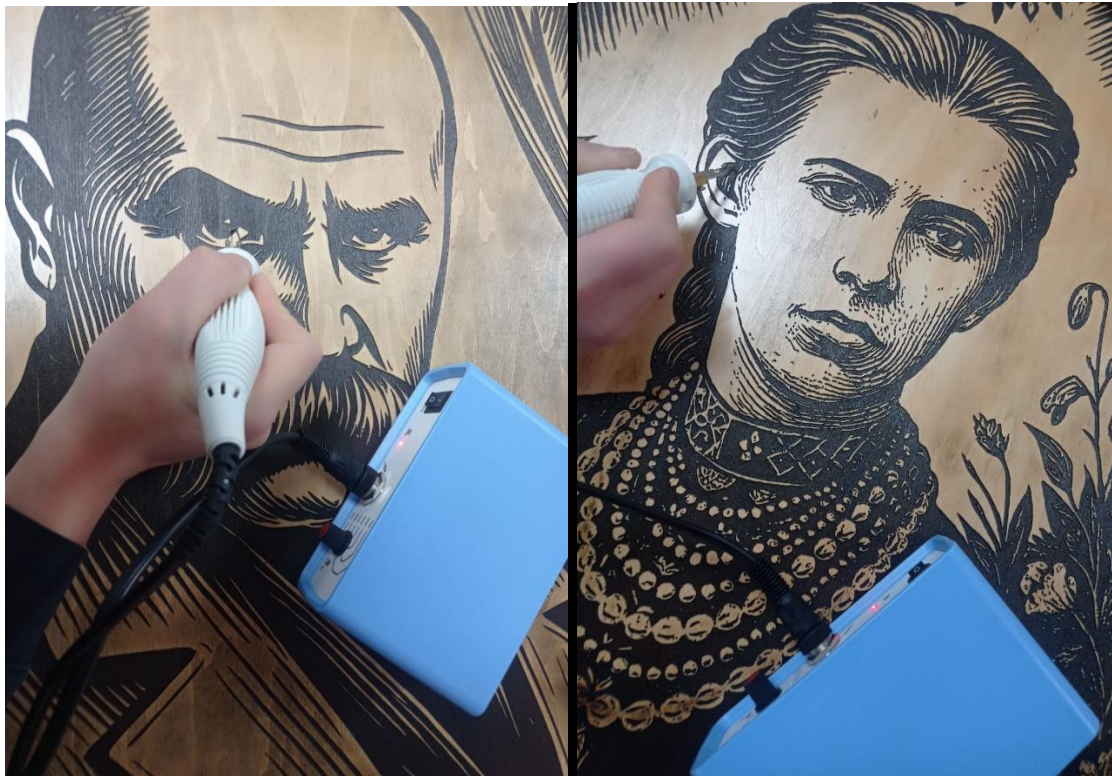


Рис. 3.10 Додаткове опрацювання серії портретів технікою ручного випалювання

На цьому етапі було завершено роботу над формуванням графічної структури портретів, і створено необхідну основу для декоративного тонування.

Декоративне тонування.

Після завершення етапу лазерного гравіювання постала необхідність у декоративній обробці серії робіт. Для досягнення високої естетичної виразності було використано акрилову лазур Holzlasur FEIDAL. Ця марка лазурі має чудові характеристики, прозору структуру та здатність підкреслювати текстуру волокон деревини. Застосування лазурі підсилює візуальний ефект гравіюваних зображень.

Для портретних композицій було обрано лазур Holzlasur FEIDAL відтінку (венге). Темно-коричневий колір, асоціюється з благородними породами деревини.

Нанесення темної лазурі дозволило оптично поглибити рельєфні лінії, а також додало портретам глибини і стриманої виразності.

Покриття поверхонь лазур'ю (рис. 3.11) здійснювалося валиком, в один суцільний тонкий шар, це дало змогу створити глибокий темний підмальовок і підсилити контраст між гравіюваними та гладкими ділянками.

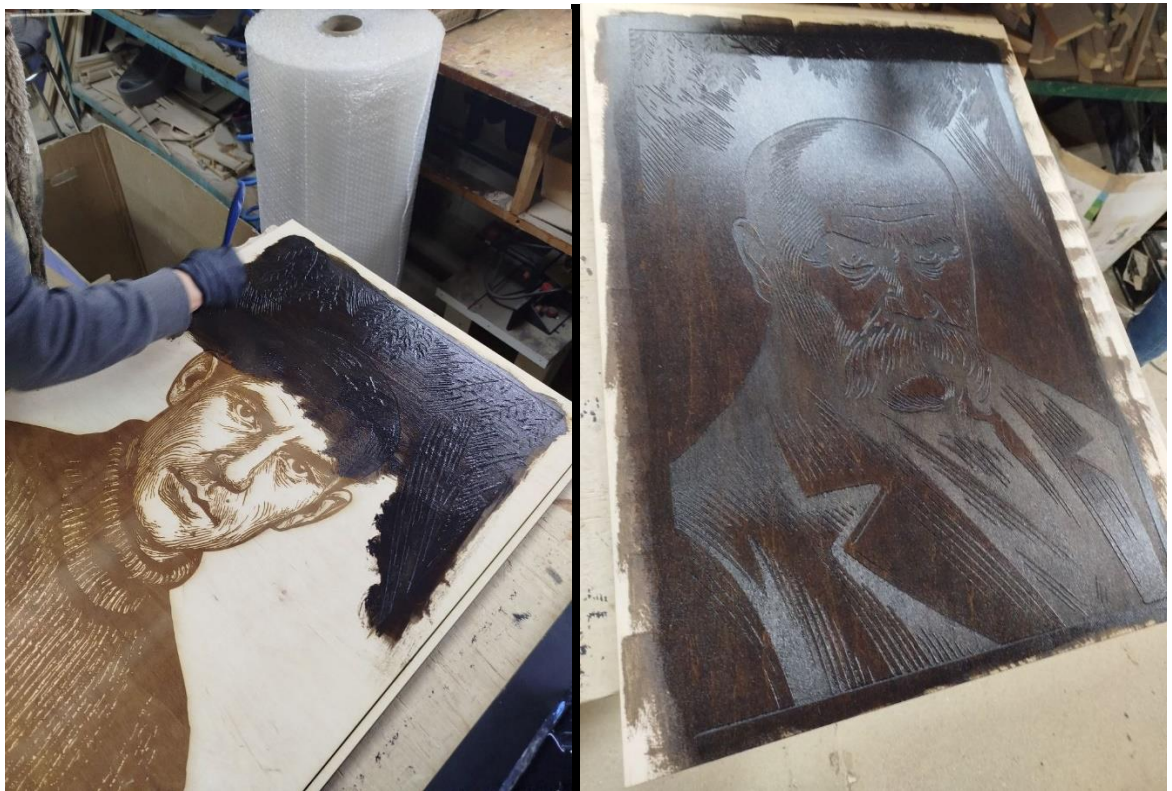


Рис. 3.11 Декоративна обробка портретів темною лазур'ю Holzlasur FEIDAL відтінку (венге)

Рамки я обробив лазур'ю Holzlasur FEIDAL відтінку (тік), яка має золотисто-коричневий відтінок (рис 3.12). Лазурь наносилася тонким шаром вздовж волокон, що забезпечило візуальний контраст із темними портретами.



Рис. 3.12 Декоративна обробка рамок лазур'ю Holzlasur FEIDAL відтінку (тік)

На відміну від серії портретів, рамки не потребували корегувального шліфування, оскільки суцільне тонування відтінком (тік) виконувало функцію декоративного завершення та не вимагало додаткового висвітлення окремих ділянок.

Шліфування не графійованих ділянок та приклеювання рамок до серії портретів.

Цей етап виконувався тільки після повного висихання лазурі, що гарантувало точність і контроль над фактурою дерева.

Шліфування не гравійованих ділянок портретів проводилося шліфувальною машинкою (рис. 3.13) з використанням дрібнозернистих абразивів (зерно шліфувального паперу 320-600).



Рис. 3.13 Шліфування не гравійованих ділянок портретів шліфувальною машинкою

Основне завдання техніки шліфування полягало у зменшенні шорсткості поверхонь, підвищенні контрастності між тоном фону та гравіювальними елементами. Як результат структура портретів набуває більшої чіткості, а оптична глибина зображення посилюється.

Ця техніка дозволяє коригувати тонування таким чином, щоб природний малюнок деревини залишався видимим там, де це важливо для стилістики портретів, додаючи серії робіт автентичності.

Гладка рівномірна поверхня, отримана після шліфування покращує адгезію наступних захисних або декоративних шарів.

Наступний етап полягав у приклеюванні декоративних рамок до основ із портретами, який забезпечив конструктивну цілісність та завершеність творів.

Перед нанесення клею поверхні очищуються від пилу та залишків попередньої обробки. Клей для деревини Eskaro B-3 наноситься валиком на рамку тонким рівномірним шаром, після чого рамка розміщується на основі та фіксується струбцинами до повного висихання (рис. 3.14).



Рис. 3.14 Приклеювання декоративних рамок до основ із портретами

Важливо контролювати прилягання рамок та перевіряти відсутність деформацій, це забезпечить міцність і довговічність з'єднання.

Лакування.

Завершальна обробка серії портретів здійснювалася методом лакування з використанням фарбопульта та компресора. Лакування підкреслює рельєф гравіювання та тонування, і захищає деревину від впливу вологи, пилу та ультрафіолетового випромінювання.

Лак на водній основі глянцевий FEIDAL наносився рівномірним шаром за допомогою фарбопульта, підключеного до компресора, що забезпечує контрольований розпил матеріалу (рис 3.15).

Під час нанесення лаку потрібно підібрати оптимальну відстань між фарбопультотом, і поверхнею виробу, а рухи фарбопультоту виконуються плавно уздовж волокон деревини. Лакове покриття наносилося у кілька тонких шарів, із проміжним висиханням, що дозволило досягти потрібної прозорості та глибини блиску.



Рис. 3.15 Лакування серії портретів з використанням фарбопультоту та компресора

Прозорий покрив підкреслив природну текстуру деревини, зберіг індивідуальність тонального рішення кожного портрета та підсилив естетичну цінність серії як цілісного художнього об'єкту.

Завершальний результат.

Після виконання всіх етапів технологічної обробки серія портретів Т. Шевченка., Л. Українки, М. Куцубинського, В. Стуса набула завершального художнього вигляду (рис. 3.16), це підтверджується цілісністю композиції,

виразністю рельєфу образів поетів, та високим рівнем художньо-технічного виконання.



Рис. 3.18 Завершений художній вигляд серії портретів Т. Шевченка., Л. Українки, М. Куцубинського, В. Стуса, створеної шляхом комбінування інновацій з традиційними техніками обробки деревини

3.5 Економічне обґрунтування

Економічне обґрунтування є важливою складовою магістерського дослідження, оскільки дозволяє визначити реальні витрати на створення серії творів, та оцінити рентабельність та потенційний ринок збуту.

Економічний аналіз творчої роботи включає три основні блоки: матеріали, вартість технічного забезпечення, трудові витрати та підсумкову собівартість.

1. Матеріали.

№ з/п	Найменування	Ціна за одиницю	Кількість(розмір)	Сума, грн
1	Деревина для основи (фанера високої якості шліфована, калібр 8)	650	4 листи (80х60 см.)	2525 грн.
2	Деревина для виготовлення рамок (фанера високої якості шліфована, калібр 6)	400грн.	1 лист (1510х550 см.)	400грн
3	Акрилова лазур Holzlasur FEIDAL колір (венге) 0,75 л. для декоративного тонування портретів	368 грн.	1	368 грн.
4	Акрилова лазур Holzlasur FEIDAL колір (тік) 0,75 л. для	368 грн.	1	368 грн.

	декоративного тонування рамок			
5	Лак на водній основі глянцевий FEIDAL Acryl-Panellack 1л.	434 грн.	2	434 грн.
6.	Валик для фарбування "Роял" професійний Polax 8 X 48 X 100 мм (02-014)	112 грн.	1	112 грн.
7.	Валик для фарбування "Роял" професійний Polax 8 X 48 X 500 мм (02-014)	65 грн.	1	65 грн.
8.	Ванна малярна Polax 160 X 300мм (100- 011):	35 грн.	1	35 грн
9.	Пензель Флейцевий Polax 1" професійний, змішаний ворс, пластикова ручка, тип "Англійська" (10-001):	20 грн.	1	20 грн.
10.	Шліфувальний папір Dnipro-M для віброшліфмашини P120 5 шт/уп 93*185 мм	48 грн.	1	48 грн.

11.	Захисні рукавички Dnipro-M	66 грн.	1	66 грн
12.	Клей для деревини Eskaro B-3 0,33 л	75 грн.	1	75 грн.
Загальна сума				<u>4516</u> <u>грн.</u>

2. Витрати на технічне забезпечення.

Лазерне гравіювання

Вартість лазерного гравіювання залежить від ренди лазерного обладнання або послуг майстерні.

Вартість гравіювальних робіт рахується відповідно до площі гравіювання (у нашому випадку 0,48 м² на одну роботу) та складності зображення. Орієнтовна вартість 1 см² дорівнює 30 коп. Середня ринкова ціна 800 грн. за один портрет.

Загальна сума для серії робіт 1600 грн.

У вартість послуг з лазерного гравіювання, також додаємо вирізання 4 рамок (з фанери високої якості шліфованої, калібр 6, розміром 80х60 см.), та нанесення орнаментального декору по периметру.

Вартість лазерних послуг для одного елемента становить 500 грн.

Для чотирьох рамок 2000 грн.

3. Використання власного обладнання

У процесі виготовлення серії робіт ми використовували власну шліфувальну машинку, власний компресор із фарбопультом та власний пірограф (ручний випалювач). Це дало нам можливість уникнути певних витрат на оренду обладнання. У разі відсутності цих інструментів, наші додаткові витрати становили б :

- шліфувальна машинка – 200 грн/доба;
- компресор із розпилювачем – 500 грн./доба;
- пірограф – 200 грн/доба;

Отже, витрати на оренду обладнання могли б становити **900 грн**, і це підтверджує економічну ефективність власного обладнання.

4. Трудові витрати

Для розрахунку трудових витрат приймається умовна ставка майстра/художника **250 грн./год**, оскільки це є середня ціна оплати роботи фахівця з художньої обробки деревини в Україні.

Етапи та тривалість виконання творчого проекту:

- підготовка ескізів, композиційні рішення – 4 год;
- обробка файлів для лазера – 4 год;
- пірографія та ручне доопрацювання фактури – 8 год;
- декоративне глазурування, тонування, шліфування тонованої поверхні, приклеювання рамок до основ, фінішне покриття акриловим лаком – 8 год.

Загальна тривалість роботи складає **24 год.** при ставці **250 грн./год.**

Тому сума за виконані роботи становить **6 000 тис. грн**

5. Витрати на електроенергію:

- підготовка ескізів (освітлення) $0,1 \text{ кВт} \times 4 \text{ год.} = 0,5 \text{ кВт}$;
- **обробка файлів для лазера (на комп'ютері)** $0,5 \text{ кВт} \times 4 \text{ год.} = 2 \text{ кВт}$;
- лазерний верстат $2 \text{ кВт} \times 6 \text{ год.} = 12 \text{ кВт}$;
- компресор $1,5 \text{ кВт} \times 1 \text{ год.} = 1,5 \text{ кВт}$;
- Пірограф $0,4 \text{ кВт} \times 5 \text{ год.} = 2 \text{ кВт}$;
- Шліфувальна машинка $1 \text{ кВт} \times 1 \text{ год.} = 1 \text{ кВт}$

Разом 17 кВт , тариф по 4.50 кВт. Год.

Витрати на електроенергію становлять $17 \times 4,50 = \underline{80 \text{ грн.}}$

6. Авторська винагорода

Авторська винагорода складає 20 % вартості матеріалів + робіт.

Розрахункова вартість матеріалів і робіт:

$$4516+3600+6000 = 14\,116 \text{ тис. грн.}$$

Авторська винагорода 20 %

$$14\,116 \times 0,2 = \underline{2200} \text{ тис. грн.}$$

7. Витрати на утримання обладнання (амортизація) 1% від вартості матеріалів

$$1\% \times 4516 \text{ грн.} = \underline{45,16 \text{ грн.}}$$

8. Єдиний соціальний внесок (ЄСВ)

Ставка ЄСВ становить 22% від загальної суми:

$$(4516+3600+6000+80)=14196 \text{ грн.} \times 0,22 = \underline{3123,12 \text{ грн.}}$$

9. ПДВ

Податок на додану вартість складає 20% від загальної вартості:

$$(4516+3600+6000+80)=14196 \text{ грн} \times 0,2 = \underline{2839,2 \text{ грн.}}$$

10. Інші витрати

Інші витрати складають 1% від загальної вартості:

$$(4516+3600+6000+80)=14196 \text{ грн} \times 0,01 = 141,96 \text{ грн.}$$

Загальна собівартість

№ з/п	Стаття витрат	Сума, грн
1	Матеріали	4516
2	Лазерні роботи	3600
3	Трудові витрат	6000
1.	Витрати на електроенергію	80
	Авторська винагорода	2200
	Амортизація	45,16
2	Єдиний соціальний внесок (ЄСВ)	3123,12
3	ПДВ	2839,2
4	Інші витрати	141,96
Загальна сума		22 500 тис. грн.

11. Потенційна ринкова вартість та рентабельність

Оцінюючи вартість готових мистецьких творів ми маємо звертати увагу на:

- формат (60x80- це є середньо-велика декоративна площа;
- складність техніки(якщо техніка змішана це підвищує цінність);
- культурну значущість сюжетів;
- статус виконавця та унікальність робіт.

Середня ринкова ціна твору такого формату 10 000 – 15 000 тис грн.

Для серії з чотирьох робіт 40 000- 60 000 тис грн.

Рентабельність

Навіть якщо продаж робіт за мінімальною ціною (40 000 грн.), то чистий прибуток = 40 000 - 22 500 = **17 500 грн.**

При максимальній оцінці (60 000 тис грн.), чистий прибуток **37 500 грн.**

Таким чином, економічне обґрунтування доводить, що створення серії творів «Портрети письменників - Т. Шевченка, Л. Українки, М. Коцюбинського, В. Стуса» є економічно вигідним, технологічно обґрунтованим та потенційно прибутковим.

Рентабельність творчої роботи підтверджує актуальність використання зміщаних технік художньої обробки деревини в сучасній авторській практиці.

Висновки до третього розділу

У цьому розділі я провів систематичний аналіз творчого процесу створення, серії портретів Т. Шевченка., Л. Українки, М. Коцюбинського, В. Стуса виконаних у змішаній техніці, охоплюючи всі етапи від концепції та моделювання ідеї до економічного обґрунтування реалізації творчого проекту. Ідейний задум слугував методологічною основою для планування технологічних етапів, підбору матеріалів та інструментів.

На ескізно-пошуковому етапі досліджувалися різні композиційні варіанти, з подальшим комп'ютерним моделюванням зображень портретів, що гарантувало точність лазерного гравіювання та високоякісне графічне відтворення.

Вибір матеріалів, інструментів та технічного обладнання був обумовлений їх фізико-механічними властивостями та технічною сумісністю, що уможливило поєднання традиційних та сучасних методів обробки деревини. Використання у технологічних процесах лазерного гравера, пірографа, фарбопульта з компресором та спеціальних комп'юторних програм забезпечило високу точність і продуктивність.

Технічний підхід у створенні серії портретів включав наступні кроки: лазерне гравіювання, ручне випалювання, тонування лазур'ю, монтаж рамок та фінішне лакування. У комплексі це надало творчій роботі графічної чіткості, пластичності образів і підкреслило природну текстуру деревини.

Економічний аналіз підтвердив високу ефективність застосування комбінованих технік та підібраних матеріалів, інструментів і обладнання. Тому, створення серії творів «Портрети письменників - Т. Шевченка, Л. Українки, М. Коцюбинського, В. Стуса» є економічно вигідним, технологічно обґрунтованим та потенційно прибутковим.

Отже, виконання всіх етапів у створення серії творів «Портрети письменників - Т. Шевченка, Л. Українки, М. Коцюбинського, В. Стуса» з дотриманням всіх технологічних правил, дозволило реалізувати ідейний задум а також підтвердити ефективність поєднання сучасних і традиційних методів у сучасній художній обробці деревини

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Аналіз сучасної наукової літератури вказує на те, що в сучасній деревообробній промисловості та в ужитковому мистецтві широко використовуються можливості поєднання традиційних і інноваційних технік художньої обробки деревини. Художня обробка деревини — це не лише технічний процес, а й глибоко символічний акт, що поєднує матеріальну культуру, естетику та світогляд народу. У ХХІ столітті спостерігається відродження традиційних технік і матеріалів у сучасному дизайні. Майстри поєднують давні технології з новими матеріалами (епоксидна смола, акрилові фарби, лазерне різьблення, цифровий друк), створюють унікальні вироби, що поєднують екологічність, естетику, функціональність. Відкриваються школи, курси, майстер-класи з традиційних технік (Косівське училище, Яворівська школа, Львівська академія мистецтв). Популярні екологічні матеріали (соломка, натуральні барвники, еко-лаки), біорозкладні покриття, реставрація старовинних виробів із використанням автентичних технологій. Вироби українських майстрів експонуються на міжнародних виставках, користуються попитом у Європі, США, Канаді, Японії.

2. Вибір матеріалів для оздоблення деревини формувався століттями, відображаючи природні ресурси, технологічний рівень, художні традиції та соціальні потреби суспільства. В Україні та ширшому європейському контексті традиційні матеріали — деревина різних порід, інкрустації, барвники, лаки, метали, природні вставки — стали основою для створення унікальних стилів і технік, що й сьогодні надихають майстрів і дизайнерів. В Україні для художньої обробки деревини традиційно використовують породи середньої твердості та тверді листяні дерева: липу, березу, явір, вільху, тополю, клен, бук, ясен, дуб, горіх, грушу, черешню, тис, кедрову сосну, кедр.

3. Найбільш поширені інноваційні технології в сучасній художній деревообробці включають використання цифрових технологій (ЧПК-станки, лазерне гравіювання, 3D-моделювання), новітні методи оздоблення (пірографія, комбіновані матеріали), а також екологічні практики — застосування біолаків, вторинної деревини та інтеграція «розумних» елементів. Використання ЧПК-станків для різьблення, гравіювання та пірографії дозволяє створювати надзвичайно точні й складні орнаменти, які раніше були доступні лише вручну. Лазерне гравіювання та різання дають змогу наносити тонкі декоративні лінії, створювати інкрустації та комбінувати дерево з іншими матеріалами. Сучасні електронні інструменти та ЧПК-пірографія дозволяють створювати складні зображення, портрети, декоративні панно.

4. Нами розроблено концепцію і творчий проект серії художніх робіт (поліптиху 60×80) у змішаній техніці художньої обробки деревини, в якому поєднані традиційні та сучасні підходи художньої обробки деревини. Визначено оптимальні матеріали, інструменти та методи художньої й технологічної обробки деревини для реалізації проекту (портрети письменників Т. Шевченка, Лесі Українки, М. Коцюбинського та В. Стуса). Створено серію портретів шляхом комбінування інновацій з традиційними техніками художньої обробки деревини .

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Антонович Є. А. та ін. Декоративно-прикладне мистецтво. Львів: Світ, 1992. 272с.
2. Бабчук Ю. М., Бабляк А. Р., Резніченко А. В. Інноваційні художні техніки обробки деревини у декоративно ужитковому мистецтві. *Проектування змісту і технологій художньо-графічної підготовки та художньо-творчої діяльності здобувачів вищої освіти (студентів) і молодих учених: Збірник наукових праць / С.Д. Цвілик (голова) [та ін.]. Вінниця: ТОВ «Меркьюрі-Поділля», 2024. Вип. 3. С. 92-98.*
3. Бабчук Ю. М., Кузнець Ю.О., Молочко О.О. Розвиток творчого потенціалу у майбутніх учителів мистецьких дисциплін та технологій засобами комп'ютерного моделювання. *Проектування змісту і технологій художньо-графічної підготовки та художньо-творчої діяльності здобувачів вищої освіти (студентів) і молодих учених: Збірник наукових праць / С.Д. Цвілик (голова) [та ін.]. Вінниця: ТОВ «Меркьюрі-Поділля», 2024. Вип. 3. С. 147-150.*
4. Бабчук Ю. М., Алексеєва А. Ю., Микитин А. Я. Особливості застосування епоксидної смоли в декоративно-ужитковому мистецтві та предметах інтер'єру. *Сучасні тенденції підготовки майбутніх учителів трудового навчання та технологій, педагогів професійної освіти і фахівців образотворчого та декоративного мистецтва: теорія, досвід, проблеми: зб. наук. пр. 2022. Вип. 5. С. 172-175.*
5. Бабчук Ю. М., Коломієць Д. І., Швець О. А. STEAM-освіта в підготовці до дизайнерської діяльності. *Сучасні тенденції підготовки майбутніх учителів трудового навчання та технологій, педагогів професійної освіти і фахівців образотворчого та декоративного мистецтва: теорія, досвід, проблеми: зб. наук. пр. 2021. Вип. 49, С. 63-66.*

6. Бехта П. А. Технологія деревинних композиційних матеріалів. Київ : Основа, 2003. 336 с.
7. Бойко С. В., Єрошенко А. М., Ігнатенко П. Л. Підготовка виробництва меблевих фасадів за допомогою сучасних САМ-систем. *Технічні науки та технології*. 2018. № 1 (11). С. 159-167.
8. Бойко С., Іващенко С., Єрошенко А. Відновлення дерев'яних прикрас фасадів старовинних будинків чернігова. *Технічні науки та технології*, 2021. 4(22), С.238–246. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2020-4\(22\)-238-246](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2020-4(22)-238-246)
9. Бойчук В. М. Використання нових комп'ютерних технологій у процесі вивчення різьблення деревини. *Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання у підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми*: Зб. наук. пр. 2003. Вип. 3. С. 61-66.
10. Бойчук В. М. Формування творчих здібностей учнів і студентів у процесі позаурочної роботи з декоративно-ужиткового мистецтва. *Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання у підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми*: Зб. наук. пр. 202. Вип. 2. С.127-130.
11. Войтович І. Г. Основи технології виробів з деревини: підручник. Львів: ТЗОВ «Країна ангелів», 2010. 305 с.
12. Войтович І.Г. Основи технології виробів з деревини. Львів : Інтелект-Захід, 2004. 272 с.
13. Гайда С. В. Оброблювальні центри – основа деревообробки. Меблеві технології. Львів: Д/О. 2005. Вип. 1. С. 48-55.
14. Гайда С. В. Виробництво гнутих деталей: технології та рекомендації. Меблеві технології. – Львів: Д/О. – 2006. – Вип. 2 – С. 18-25.
15. Гнатюк М. В. Красою гір натхненні: Народне мистецтво Гуцульщини і Покуття (кінець ХІХ поч. ХХ ст.) Майстри, школи, музеї. Івано-Франківськ : ПНУ ім. В. Стефаника, 2010. – 322 с.

16. Гнатюк М. В. Образотворче і декорат.-прикл. м-во (осн. обр. грамоти): навч. посіб. Ч. І. Івано-Франківськ: Ярина, 2016. – 196 с.
17. Гнатюк М. Художнє дерево в інтер'єрі народного житла. Івано-Франківськ: Плай, 2000. – 146 с.
18. Гомон С. С. Г64 Конструкції із дерева та пластмас. Навчальний посібник. – Рівне: НУВГП, 2016. – 219 с.
19. Гринчишин, Т.М., & Кіт, Г.В. (2014). Застосування оптичних лазерних систем та перспективи їх подальшого розвитку. Вісник НУ «Львівська політехніка»: Інформаційні системи і мережі, (805), 96-105. <https://ena.lpnu.ua/handle/ntb/26640>.
20. Гулей О. В. З історії побутування дерев'яних виробів на Україні. Теорія та методика навчання суспільних дисциплін: науковопедагогічний журнал / Сумський державний педагогічний ун-т ім. А. С. Макаренка ; [редкол.: М. Б. Євтух, В. С. Бугрій, Г. Ю. Ніколаї та ін.]. 2018. № 1 (6). С. 132–135
21. Зузяк Т.П., Бабчук Ю.М., Чадюк Г.Ф. Інноваційні технології в художньому проектуванні декоративних виробів. *Сучасні тенденції підготовки майбутніх учителів трудового навчання та технологій, педагогів професійної освіти і фахівців образотворчого та декоративного мистецтва: теорія, досвід, проблеми: збірник наукових праць / О.В. Марущак (голова) та [ін.]. Вінниця: ВДПУ ім. М. Коцюбинського, 2025. Вип. . С. .*
22. Зузяк Т. П., Бабчук Ю. М., & Чадюк Г. Ф. ЧПК пірографія в сучасному мистецтві художньої обробки деревини та дизайні інтер'єру. *Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Українське мистецтво у світовому культурному просторі: історія, сучасність та перспективи розвитку» (Вінниця, 2025 року): збірник наукових праць / Лазаренко Н.І. (голова) та ін. [Електронний ресурс]. Вінниця: ВДПУ ім. М. Коцюбинського, 2025. С 115-118.*

23. Електронна бібліотека університету. Доступ до ресурсу: http://lib.khnu.km.ua/asp/php_f/p1age_lib.php.
24. Коваленко І. В. Формування технічних компетентностей майбутніх фахівців технологічної та професійної освіти з деревообробки. *Науковий вісник Інституту професійно-технічної освіти НАПН України. Професійна педагогіка: зб. наук. праць*: 2016. Вип. 11. С. 123 – 129.
25. Коломієць Д. І., Бабчук Ю. М. Використання штучного інтелекту для інтеграції технологій і мистецтв. *Актуальні проблеми професійної та технологічної освіти: досвід та перспективи: зб. Матеріалів X Всеукр. наук.-практ. конф. (Умань, 10 жовтня 2024 р.) / МОН України, Уманський держ. пед. ун-т імені Павла Тичини; за ред. С. І. Ткачука; [редкол.: Т. Н. Азізов, О. С. Мельник, А. І. Терещук. Умань, 2024. С. 150-152.*
26. Коломієць Д.І., Бабчук Ю.М., Чадюк Г. Ф. Виховний потенціал інтеграції мистецтва в освітній процес. *Мистецтво в культурі сучасності: теорія та практика навчання: збірник наукових праць*. 2024. Вип. 3. С. 99-110.
27. Коломієць Д. І., Бабчук Ю. М., Кушнір О. І. Можливості використання штучного інтелекту для поліпшення якості художньо-графічної підготовки майбутніх учителів трудового навчання і технологій. *Проектування змісту і технологій художньо-графічної підготовки та художньо-творчої діяльності здобувачів вищої освіти (студентів) і молодих учених: Збірник наукових праць / С.Д. Цвілик (голова) [та ін.]. Вінниця: ТОВ «Меркьюрі-Поділля», 2025. Вип. 4. С. 133-136.*
28. Коломієць Д. І., Бабчук Ю. М. Синтез мистецтва, дизайну і штучного інтелекту як нова філософія мистецької освіти. *Філософія культурно-мистецької освіти: матеріали IV Всеукр. наук.-практ. конф., м. Київ, 27—28 бер. 2025 р. Київ, 2025. С. 74-77.*

29. Котляров В.П., Киященко, О.М. Особливості використання лазерної технології в умовах сучасного стану промисловості України. Наукові вісті НТУУ «КПІ»: міжнародний науково-технічний журнал, 2017. 1(111). 94-105.
30. Мельниченко П.П. Оздоблення садиби виробами з деревини. – К.: Урожай, 1993. – 192 с.
31. Михайлівська Г. Є., Панов В. В. Клеї для склеювання деревини. — Львів: Афіша, 2003. — 176 с.
32. Модульне середовище для навчання MOODLE. Доступ до ресурсу: <https://msn.khnu.km.ua>.
33. Никифоров А., Гулей О. (2021). Декоративне мистецтво. Херсон: Олді-Плюс.
34. Обробка деревини // Термінологічний словник-довідник з будівництва та архітектури / Р. А. Шмиг, В. М. Боярчук, І. М. Добрянський, В. М. Барабаш; за заг. ред. Р. А. Шмига. – Львів, 2010. – С. 136.
35. Одрехівський Р. В. Сакральне різьблення по дереву в Галичині XIX – першої половини XX століть як феномен художньої культури України. Вісник ХДАДМ. 2014. №2. С. 83–87.
36. Оршанський Л. В., Курач М. С., Цісарук В. Ю., Ясеницький В. Є. Технологія деревообробного ремесла: навч. посібник. 2012. 500 с.
37. Оршанський Л. В. Основи гуцульського художнього деревообробництва: Навчальний посібник / Л.В. Оршанський, П.В. Андріюк. – Косів: Писаний камінь, 2002.
38. Потапкін В. С. Народні традиції художньої обробки деревини як складова частина естетичного виховання студентів / В. С. Потапкін // Етнодизайн у контексті українського національного відродження та європейської інтеграції. Кн. 3: зб. наук. праць / редкол.: гол. ред. М. І. Степаненко, упоряд. і наук. ред. Є. А.

Антонович, В. П. Титаренко та ін. – Полтава: ПНПУ імені В.Г. Короленка, 2019. – С. 418-423.

39. Приймак Й.Д., Декорування виробів із дерева: Навч. посібник. – Косів, Писаний Камінь, 2001.

40. Рудницька О. П. Українське мистецтво у полікультурному просторі: навчальний посібник. К., 2000.

41. Савченко О.М. Фізичні процеси при взаємодії лазерного CO₂-випромінювання з матеріалом. Наукові записки: Зб. наук. праць, 2020. 2(61), 86-93.

42. Сандлер А. К. Новітні технології та традиційні матеріали - чи можливе поєднання? *Збірник «Наукові проблеми архітектури та містобудування» 2025.* 3.<https://zbirnyk.org.ua/index.php/ptiart/article/view/21>

43. Соловей В., Кізім С., Уманець В. Інноваційні підходи у професійній підготовці майбутніх фахівців декоративного мистецтва: аналіз, досвід та перспективи. *Мистецтво в культурі сучасності: теорія та практика навчання*, 2025. 2(5), С.32-40.

44. Станкевич М. Українське художнє дерево XVI–XX ст. / М. Станкевич. – Львів : НАНУ, Інститут народознавства, 2002. – 144 с
Тимків Б. Давньогалицькі художні ремесла XII-XV ст. Народне мистецтво. №1-2. 2002. С. 56–58.

45. Українська минувшина: Ілюстрований етнографічний довідник / А.П.Пономарьов, Л.Ф.Артюх, Т.В.Косьміна та ін. – К.: Либідь, 1994. – 256 с.

46. Цісарук В. Ю. Методика навчання художньої обробки деревини майбутніх учителів технологій : автореф. дис. ... канд. пед. наук : 13.00.02 - теорія та методика навчання технологій Нац. пед. ун-т ім. М. П. Драгоманова. - Київ, 2013. - 20 с.

47. Швець О. А., Коломієць Д.І., Бабчук Ю.М. Сучасні технології художньої обробки деревини у змісті професійної підготовки майбутніх фахівців. *Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання у підготовці*

фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми: збірник наукових праць. Вінниця: ТОВ «Друк плюс», 2024. Вип. 73. С. 124-133.

48. 3D Printing with Wood May Be the Future of Wood Production. URL: <https://www.engineering.com/3d-printing-with-wood-may-be-the-future-of-wood-production/> (дата звернення 24 жовтня 2025)

49. 3D-printed wood could start flat then twist into furniture as it dries. URL: <https://www.newscientist.com/article/2334808-3d-printed-wood-could-start-flat-then-twist-into-furniture-as-it-dries/>

50. Applied Sciences. URL : <https://www.mdpi.com/journal/applsci/about>

51. Berleant A., Carlson A. The aesthetics of Human Environments. Ontario. Broadview press. 2007. 312 с.

52. Brown L. Incorporating Wood Elements into Modern Interior Design. *Architectural Digest*. 2019. 25(4), 112-125.

53. Campanelli S. L. *et al.* Taguchi optimization of the surface finish obtained by laser ablation on selective laser molten steel parts. *Procedia CIRP*. (2013)

54. Chen S.L, Chang T.H, Inasaki I, et al. (2002) Post-processor development of a hybrid TRR-XY parallel kinematic machine tool. *Int J Adv Manufacturing Technol* 20:259–269

55. El Moumen, M. Tarfaoui, K. Lafdi. Modelling of the temperature and residual stress fields during 3D printing of polymer composites. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 104. (2019), pp. 1661-1676,

56. Forests. URL :<https://www.mdpi.com/journal/forests>

57. Fornari A., Rossi M., Rocco D., Mattiello L. A. Review of Applications of Nanocellulose to Preserve and Protect Cultural Heritage Wood, Paintings, and Historical Papers. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/24/12846>

58. Frank A, Schmid A (1998) Grinding of non-circular contours on CNC cylindrical grinding machines. *Robotics Comput Integrated Manufacturing* 4:211–218

59. Hermann S. 2017. Multi tone 3D printing with any 3D printer! <https://www.youtube.com/watch?v=iT4hMpj-2TM>
60. Hinkes B. Installation Art and Environmental Aesthetics as Investigative Activity. *Espes. The Slovak Journal of Aesthetics*. 2017. Vol. 6. No 2. C. 62–71.
61. Hintz M.. 2023. *Hand-Painting 3D Prints with Acrylics*. <
<https://justpaint.org/hand-painting-3d-prints-with-acrylics/>>
62. Hubeatir, K.A., AL-Kafaji, M.M., & Omran, H.J. (2018). A Review: Effect of Different Laser Types on Material Engraving Process. *Research & Reviews: Journal of Material Sciences*, 6(4), 210-217.
63. Hubeatir K. A. Laser transmission welding of PMMA using IR semiconductor laser complemented by the Taguchi method and grey relational analysis. *Mater. Today: Proc.* (2020)
64. Imperadori M., Clozza M., Vanossi A., Brunone F. Digital Design and Wooden Architecture for Arte Sella. *Digital Transformation of the Design, Construction and Management Processes of the Built Environment*. 2020. C. 161–173.
65. Johnson R. Wood Species Selection for Interior Design Projects. *Interior Design Journal*. 2020. 15(2), 78-89.
66. Journal of Wood Science. URL :
<https://jwoodscience.springeropen.com/articles>
67. Kačík F. et al. Chemical changes of beech wood due to CO₂ laser irradiation. *J. Photochem. Photobiol., A*. (2011)
68. Kolomiets A. M., Kolomiets D. I., Gromov Y. V. Implementation of the latest world-class scientific achievements in training process of future teachers. *Science and Education*. 2017. №8. P.72-77.
69. Kubovský I. et al. The impact of UV radiation on the change of colour and composition of the surface of lime wood treated with a CO₂ laser. *J. Photochem. Photobiol., A*. (2016).

70. Maini A. K. Lasers and Optoelectronics: Fundamentals, Devices and Applications. (2013).
71. Madhu B., Mahendramani G., Gopal P., Sanghavi J. Design and development of 2D X-Y platter with petrographic pen. Materials Today: Proceedings. V. 54, Part 2, 2022, P.472-478.
72. Nagata F, Kusumoto Y, Hasebe K, et al. (2005) Post-processor using a fuzzy feed-rate generator for multi-axis NC machine tools with a rotary unit. Proceedings of the 2005 International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2005), Gyeonggi-do, Korea, Jun. 2005, The Institute of Control, Automation, and Systems Engineers, Korea, pp 438–443
73. Nagata F, Kusumoto Y, Watanabe K. Feed-rate control using fuzzy reasoning for NC machine tools. Proceedings of the 12th International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB 12), B-CON Plaza, Oita, Japan, Jan. 2007, Japan Society for the Promotion of Science. 2007. pp 760–763
74. Nagata F, Watanabe K (1996) Development of a post-processor module of a 5-axis control NC machine tool with a tilting-head for woody furniture (in Japanese). J Jpn Soc Precision Eng 62:1203–1207
75. Nagata F, Watanabe K, Kusumoto Y, et al. (2004) Generation of a normalized tool vector from 3-axis CL data and its application to a mold-polishing robot. Proceedings of the 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2004), Sendai, Japan, Sep. 2004, IEEE Robotics and Automation Society, pp 3971–3976
76. Nagata F., Watanabe K. 5 - 3D machining system for artistic wooden paint rollers. Applications to Manufacturing Processes. 2013, P. 113-225.
77. Nath S. *et al.* CO2 laser interactions with wood tissues during single pulse laser-incision. Opt. Laser Technol. (2020)

78. Pandey K. K. Comparative study of photodegradation of wood by a UV laser and a xenon light source. *Polym. Degrad. Stab.* (2008)
79. Patel R. *et al.* A review on laser engraving process for different materials. *IJSRD – Int. J. Sci. Res. Dev.* (2015).
80. Plarre R., Zocca A., Spitzer A., Benemann S., Li Y., Waske A., Funk A., Wilbig J., Günster J. Searching for biological feedstock material: 3D printing of wood particles from house borer and drywood termite frass. *PLoS ONE*, 2021. 16.
81. Smith J. The Role of Wood in Interior Design. *Journal of Interior Design*. 2018. 42(3), 45-56.
82. Takeuchi Y, Wada K, Hisaki T, et al. (1994) Study on a postprocessor for 5-axis control machining centers: in cases of a spindletilting type and a table/spindle-tilting type (in Japanese). *J Jpn Soc Precision Eng* 60:75–79
83. Xu XJ, Bradley C, Zhang YF, et al. (2002) Tool-path generation for five-axis machining of free-form surfaces based on accessibility analysis. *Int J Production Res* 40:3253–3274
84. Zeng J., Deng H., Zhu Y., Wessely M., Kilian A., Mueller S. Lenticular Objects: 3D Printed Objects with Lenticular Lens Surfaces That Can Change Their Appearance Depending on the Viewpoint. *The 34th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology* (Virtual Event, USA) (*UIST '21*), Association for Computing Machinery, New York, NY, USA (2021), pp. 1184-1196
85. Zou J., Fang W., He X., Chen H., Du X., Jiang T., Qin J., Zhao. L. Carbonization temperature dependence of hydrovoltaic conversion of natural wood. *J. Mater. Sci.*, 56. 2021., pp. 16387-16398.

ДОДАТКИ

Додаток 1



Рис. 1.1 Дерев'яна декоративна тарілка з плоским різьбленням. Україна, ХХ ст.

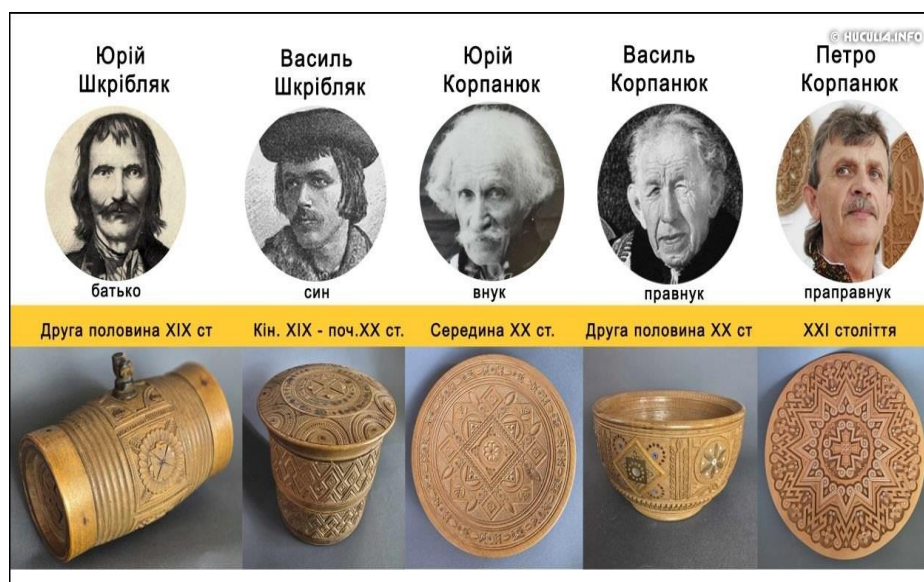


Рис. 1.2 Вироби династії Шкрібляків. Плоске та рельєфне різьблення.

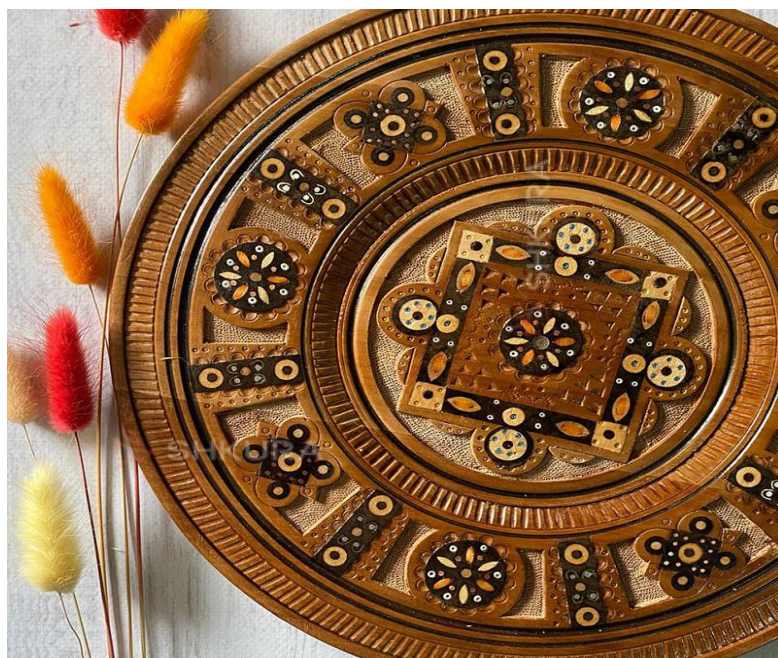


Рис. 1.3 Настінна сувенірна тарілка з різьбленим орнаментом та декоративною інкрустацією; типовий виріб масових цехів художньої обробки дерева кінця 1960–початку 1970-х років.



Рис. 1.4 Професійний інструмент для різьблення (українського виробника бренду STRYI)



Рис . 1.5 Декоративне панно виконане у техніці інтарсія



Рис. 1.6 Загальний вигляд 3D принтера



Рис. 1.7 Комплекс обладнання ЧПК для виготовлення дерев'яних виробів: CNC-фрезерний центр, маршрутизатор, лазерна система та роботи-маніпулятори для фінішної обробки.

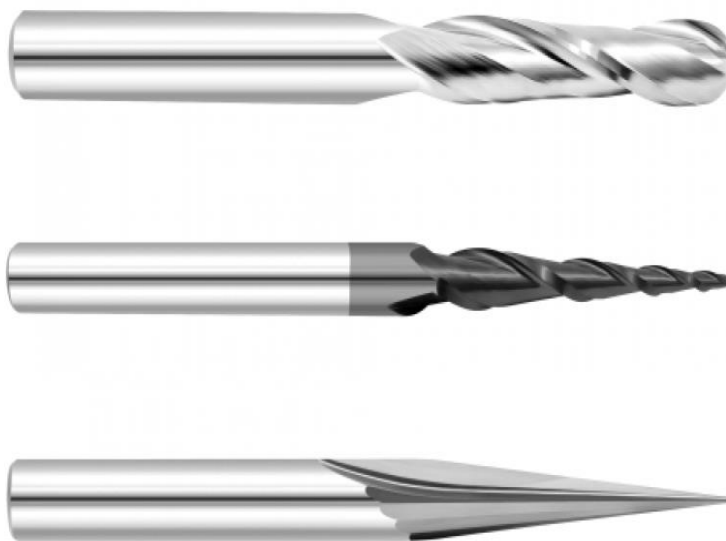


Рис. 1.8 Комплект гравірувальних, V-подібних та сферичних фрез з різними матеріалами хвостовиків і захисними покриттями.

Додаток 2



Рис 2.1 Пірографія (ручне випальвання на деревині)



Рис. 2.2 Загальний вигляд лазерного гравера для неметалічних матеріалів
CO2



Рис 2.3 Журнальний столик (продукція української фірми Kochut)



Рис 2.4 Ескіз дерев'яної мозаїки з складним геометричним візерунком
згенерований штучним інтелектом