

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

ГОРБАЧОВА ОЛЕКСАНДРА ЮРІЇВНА

УДК 674.04:674.038.18

ТЕРМІЧНЕ МОДИФІКУВАННЯ ДЕРЕВИНИ ГРАБА

05.23.06 – технологія деревообробки,
виготовлення меблів та виробів з деревини

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2016

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Національному університету біоресурсів і природокористування України Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник доктор технічних наук, професор
Пінчевська Олена Олексіївна,
Національний університет біоресурсів
і природокористування України,
завідувач кафедри технології деревообробки

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Грабар Іван Григорович,
Житомирський національний агроекологічний університет,
завідувач кафедри процесів, машин і обладнання

кандидат технічних наук, доцент
Бойко Сергій Васильович,
Чернігівський національний технологічний університет,
доцент кафедри технологій машинобудування
та деревообробки

Захист відбудеться «07» грудня 2016 року о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 26.004.11 у Національному університеті біоресурсів і природокористування України за адресою: 03041, м. Київ, вул. Генерала Родимцева, 19, навчальний корпус № 1, кімната 97

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного університету біоресурсів і природокористування України за адресою: 03041, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 13, навчальний корпус № 4, кімната 41а

Автореферат розісланий « » листопада 2016 року

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Н. В. Буйських

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Нині гостро стоїть проблема використання граба – четвертої за запасами твердолистяної породи деревини в Україні після дуба, бука і ясеня, – насадження якого займають 3,7 % від площі державного лісового фонду. Враховуючи те, що граб є найкращою супутньою породою для формування дуба, яка допомагає очищувати його стовбур від сучків, то створення дубових насаджень є складним без його використання. Разом з тим, постійний попит на вироби з деревини дуба, а також багаторічний експорт круглого лісу, сприяли збільшенню земельних площ, зайнятих перестійним грабом.

Традиційно з граба виготовляли дерев'яні деталі машин і музичних інструментів, вироби народних промислів, деревне вугілля тощо. У будівництві граб мало використовується, оскільки його деревина важка, схильна до жолоблення, деталі змінюють форму і розміри у вологому середовищі, стовбури рідко бувають прямоствольними. Крім того, він володіє бідною текстурою, блідий світлий колір під впливом вологих кліматичних умов зберігання і експлуатації змінюється на брудно-сірий.

Одним з напрямів поліпшення основних фізико-механічних властивостей граба і розширення сфери його використання є модифікування деревини граба під дією високої температури. Порівняно з необробленою деревиною для термомодифікованої деревини характерні насичений колір по товщині матеріалу, стабільність розмірів, біостійкість. Такий матеріал можна використовувати для виготовлення виробів, що експлуатуються просто неба, покриття підлоги, деталей меблів тощо. На сьогодні ґрунтовних досліджень основних фізико-механічних характеристик термічно модифікованої деревини граба, які визначають її сферу використання, не достатньо.

Отже, пошук раціональних режимів термомодифікування деревини граба з врахуванням напряму використання готового виробу має не тільки науково-практичну цінність, але й важливе народногосподарське значення для ефективного використання деревної сировини.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано в межах науково-дослідної роботи згідно з основними напрямами наукової діяльності кафедри технології деревообробки Національного університету біоресурсів і природокористування України, зокрема: «Розробити наукові основи формування вимог до раціонального використання деревної сировини» (номер державної реєстрації 0112U002711, 2012–2016 рр.); «Розробити режимні параметри термічного модифікування деревини граба» (номер державної реєстрації 0115U003711, 2015–2019 рр.).

Мета та задачі дослідження. Метою роботи є розроблення раціональних режимів термічного модифікування деревини граба з врахуванням визначених фізико-механічних властивостей.

Для досягнення поставленої мети передбачено розв'язання таких задач:

- проаналізувати існуючі технології термомодифікування деревини;
- розробити методику експериментального дослідження режимів термічного модифікування деревини граба та експериментальну установку для цього;

– провести експериментальні дослідження і встановити закономірності впливу температури й тривалості оброблення на зміну анатомічних трансформацій і фізико-механічних властивостей деревини граба;

– розробити метод розрахунку параметрів кольору термомодифікованої деревини граба в пароповітряному середовищі;

– визначити раціональні режимні параметри термічного модифікування деревини граба, які визначають сферу використання виробу з неї;

– перевірити отримані лабораторні результати в промислових умовах і впровадити їх у виробництво.

Об'єкт дослідження – процес термічного модифікування деревини.

Предмет дослідження – встановлення залежності основних фізико-механічних властивостей термомодифікованої деревини граба від режимних параметрів оброблення.

Методи дослідження. Теоретичні та експериментальні дослідження здійснювали із застосуванням системного підходу на основі тепломасообміну і використанням комп'ютерної техніки та програмного забезпечення. У дисертаційній роботі використано такі методи досліджень: методи емпіричних досліджень – для встановлення особливостей кінетики процесу термічного модифікування деревини; стандартні методики визначення зміни анатомічної будови, хімічного складу, фізичних і механічних властивостей деревини; методи статистичного аналізу – для опрацювання результатів експериментальних досліджень та перевірки адекватності моделей; метод крутого сходження – для визначення раціональних режимних параметрів термічного модифікування деревини граба.

Наукова новизна одержаних результатів. На основі експериментальних досліджень та методів математичного моделювання вирішено науково-практичну задачу розширення сфери використання деревини граба шляхом його термомодифікування.

Запропоновано кінетичне рівняння розкладання деревини граба, яке дало змогу змодельовати процес зміни кольору деревини на будь-якому етапі термічного модифікування.

Уперше розроблено раціональні режими термомодифікування деревини граба залежно від сфери використання.

Отримані результати фізико-механічних характеристик термічно модифікованої деревини граба розширили розуміння впливу режимних параметрів обробки на зміну її властивостей унаслідок деструкції анатомічних елементів.

Практичне значення одержаних результатів дисертаційної роботи полягає в тому, що:

– запропоновано визначати ступінь модифікування деревини граба за колористичними параметрами;

– розроблено спосіб термічного оброблення деревини (патент України на корисну модель № 107118);

– апробовано режимні параметри термічного модифікування деревини граба у виробничих умовах (акт проведення експериментальних досліджень від 05.04.2016 р.) та прийнято до використання на ФОП «Бойко О. Є.» (акт

впровадження від 02.08.2016 р.), ТОВ « Форест Технолоджі» (акт впровадження від 08.06.2016 р.);

– прийнято до використання термооброблену деревину граба у виготовленні верхнього шару паркетної дошки на ТОВ «Барлінек Інвест» (акт впровадження від 15.08.2016 р.);

– отримані результати дисертаційної роботи використовуються у навчальному процесі кафедри технології деревообробки під час викладання дисциплін «Захисне оброблення дерев'яних конструкцій» для ОС «Бакалавр», «Теорія теплового оброблення деревини» та «Актуальні проблеми механічного оброблення деревини» для ОС «Магістр».

Особистий внесок здобувача. Вибір теми і встановлення її актуальності, формування мети і задач досліджень здійснено здобувачем разом із науковим керівником, а основні ідеї та результати дисертаційної роботи належать авторові. У публікаціях, виконаних у співавторстві, авторові належить такий внесок: [2] – проведення експериментальних досліджень, визначення чинників впливу на підвищення якості пилопродукції функціонального призначення; [3, 8, 21, 23, 24] – постановка задачі, проведення й аналіз результатів експериментальних досліджень; [4] – аналіз проблеми використання деревини граба, аналіз експериментальних досліджень; [6] – аналіз технологій термооброблення деревини, проведення експериментальних досліджень, визначення раціональних параметрів режиму обробки; [7] – аналіз впливу технології оброблення на якість специфікаційних пиломатеріалів; [9, 19, 20] – проведення та аналіз результатів експериментальних досліджень; [10, 14, 18] – аналіз ринку пиломатеріалів, столярно-будівельних виробів, деревинних матеріалів; [12] – постановка задачі, пропозиція методики визначення параметрів кольору термомодифікованої деревини граба, проведення експериментальних досліджень; [13] – формула винаходу на корисну модель; [22] – пропозиція методики визначення фізико-механічних властивостей термомодифікованої деревини граба, проведення експериментальних досліджень; [25] – проведення експериментальних досліджень, статистичне опрацювання результатів експериментальних досліджень.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи було викладено в доповідях та обговорено на конференціях: «Екологічнобезпечні ресурсозберігаючі технології оброблення деревини» (м. Київ, 2013 р.); «Лісове і садово-паркове господарство ХХІ сторіччя: актуальні проблеми та шляхи їх вирішення» (м. Київ, 2014 р.); «Актуальні проблеми опорядження і захисту деревини» (м. Київ, 2014–2015 рр.); «Актуальные направления научных исследований ХХІ века: теория и практика» (м. Вороніж, Російська Федерація, 2014 р.); «Біоресурси лісових та урбанізованих екосистем: відтворення, збереження і раціональне використання» (м. Київ, 2015 р.); «Перспективи розвитку опорядження і захисту деревини» (м. Київ, 2015 р.); «Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса» (м. Кострома, Російська Федерація, 2015 р.); «Виклики ХХІ століття та їхнє вирішення у лісовому комплексі й довкіллі» (м. Київ, 2015 р.); «Актуальні проблеми лісового сектору та садово-паркового господарства» (м. Київ, 2016 р.); «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» (м. Чернігів, 2016 р.); «Сучасні технології та матеріали

деревообробки» (м. Київ, 2016 р.); «Перспективи науково-практичного співробітництва у вирішенні сучасних проблем переробки низько товарної деревини» (м. Київ – Вінниця, 2016 р.).

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 25 наукових праць, з яких 5 статей у наукових фахових виданнях України, стаття у науковому фаховому виданні України, включеному до міжнародних наукометричних баз даних, 2 статті у науковому виданні іншої держави, 4 статті в інших наукових виданнях, патент України на корисну модель, 12 тез наукових доповідей.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг роботи становить 201 сторінку комп'ютерного друкарського тексту, що містить 50 рисунків та 23 таблиці.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і задач досліджень, показано наукову новизну і практичну значущість виконаної роботи. Наведено дані про апробацію отриманих результатів та визначено особистий внесок здобувача.

У першому розділі «**Аналітичний огляд процесів термічного оброблення деревини**» проаналізовано існуючі технології термічного модифікування деревини, попередні дослідження зміни її властивостей під дією високих температур.

Встановлено, що на сьогодні термооброблення деревини дає можливість отримати без застосування хімічних речовин натуральний екологічно чистий матеріал, придатний до експлуатації в середовищі з перепадами температури і вологості. Термооброблена деревина набуває декоративних характеристик – змінює забарвлення по всьому перерізу від світло-коричневого до чорного, що дає змогу імітувати екзотичні породи. Із загальної характеристики існуючих технологій модифікування можна виокремити три основні етапи – сушіння (найтриваліший етап теплової обробки); термічна обробка і охолодження (температура знижується до 80–90 °С, деревина частково зволожується); температурний діапазон оброблення від 160 до 240 °С, що обумовлений фізико-хімічними процесами в деревині і впливає на зміну її фізико-механічних властивостей. Відмінністю є тривалість термомодифікування – у межах від 10 до 180 годин і середовище оброблення. Передовими в цій області є фінські компанії з технологією Thermowood.

Перші дослідження технологій термічного модифікування деревини відбувалися в різних країнах ще в минулому столітті. Інтерес переважно зосереджувався на середовищі оброблення (Hill C., Stamm A., Seborg R.); зміні хімічної структури деревини після оброблення за високих температур; збільшенні стабільності геометричних розмірів і міцності матеріалу (Schneider A, Kollmann F. і Fengel D., Губер Ю. М.).

На сьогодні в Україні виникла проблема використання деревини граба, яка через непривабливий зовнішній вигляд та особливості поведінки матеріалу в різних умовах експлуатації, не має широкої сфери використання. Термомодифікування граба є актуальним питанням, тим більше, що ця деревина малодосліджена. У

зв'язку з цим, у дисертаційній роботі поставлено задачі з дослідження процесів, що відбуваються в деревині граба під час впливу на неї високої температури; розроблення методу прогнозування параметрів кольору термомодифікованої деревини граба в пароповітряному середовищі; встановлення закономірностей впливу високої температури на анатомічні трансформації структурних елементів деревини граба, зміни її фізико-механічних властивостей у разі оброблення різними режимами; визначення раціональних режимних параметрів термомодифікування деревини граба.

У другому розділі «**Прогнозування кольору термообробленої деревини граба**» теоретично обґрунтовано застосування кінетичного підходу для дослідження термічного розкладання деревини та запропоновано методику прогнозування кольору під час термомодифікування.

Згідно з кінетичним підходом, залежність питомої константи швидкості фізико-хімічних перетворень від температури можна описати рівнянням Арреніуса:

$$K = A \cdot \exp\left(-\frac{E}{RT}\right), \quad (1)$$

де A – передекспоненційний множник (частотний фактор), с^{-1} ;

E – енергія активації фізико-хімічних перетворень, Дж/моль,

R – універсальна газова стала, $R=8314$ Дж/(моль·К);

T – температура, К.

Оскільки деревина є полімерним композиційним матеріалом, то процес її термічного розкладання являє собою ряд фізико-хімічних реакцій розкладання всіх її структурних компонентів (геміцелюлоз, целюлози і лігніну). При застосуванні рівняння (1) для математичного описання термічної деструкції деревини під ступенем розкладання ω будемо розуміти сукупність реакцій розкладання структурних компонентів деревини, які відбуваються з однаковою швидкістю і в одному температурному інтервалі. За аналогією з попередніми дослідженнями, швидкість видалення вологи з деревини і наступне розкладання структурних елементів деревини $\frac{d\omega}{d\tau}$ під дією підвищеної температури можна описати так:

$$-\frac{d\omega}{d\tau} = A_n \cdot e^{-\frac{M_\omega \cdot \tau_\theta}{T_\theta}}, \quad (2)$$

де A_n – передекспоненційний множник, який враховує породу деревини;

T_θ – відносна температура оброблення;

τ_θ – відносна тривалість оброблення;

M_ω – втрата маси деревини:

$$M_\omega = \frac{m_{\text{поч}} - m_{\text{ном}}}{m_{\text{поч}} - m_{\text{кін}}}, \quad (3)$$

де $m_{\text{поч}}$, $m_{\text{ном}}$, $m_{\text{кін}}$ – початкова, поточна і кінцева маса деревини, г.

Інтегруючи загальне рішення рівняння (2) і знайшовши значення констант C_1 і C_2 за початкових умов $\omega_{\text{поч}}=0$, $\tau_{\text{поч}}=1$ отримали:

$$\omega = \frac{A_n \cdot T_g}{M_\omega} \cdot \left(e^{-\frac{M_\omega \cdot \tau_g}{T_g}} + 1 \right). \quad (4)$$

Прогнозування кольору термомодифікованої деревини є важливим етапом процесу обробки і залежить від її втрати маси, яка найбільш точно характеризується виразом (3).

Рівняння (3) і (4) було враховано при визначенні втрати маси і ступеня розкладання деревини під час термомодифікування за температури оброблення 160 °С (рис. 1).

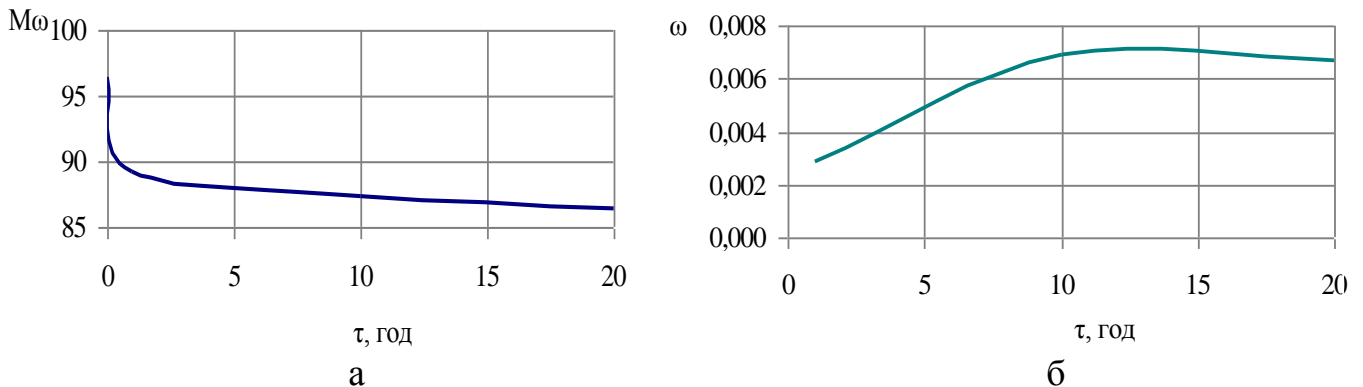


Рис. 1. Деструкція деревини під дією високої температури в часі: а – втрата маси; б – ступінь розкладання.

Чітко видно експоненціальну залежність втрати маси під час термооброблення, що підтверджує попередні дослідження. Отже, рівняння (3) і (4) лягли в основу прогнозування кольору термічно модифікованої деревини граба.

Для оцінки кольорових характеристик деревини використано систему розкладання кольору по спектру на L , a , b складові, які залежать від сумарного впливу температури на всіх стадіях і подано як регресійні рівняння в нормалізованому вигляді:

$$L = L_0 + L_1 \cdot t + L_2 \cdot \tau + L_{12} \cdot t \cdot \tau, \quad (5)$$

$$a = a_0 + a_1 \cdot t + a_2 \cdot \tau + a_{12} \cdot t \cdot \tau, \quad (6)$$

$$b = b_0 + b_1 \cdot t + b_2 \cdot \tau + b_{12} \cdot t \cdot \tau, \quad (7)$$

де L_0 , a_0 , b_0 – вільні члени рівнянь регресії;

L_i , a_i , b_i – коефіцієнти регресії;

t – температура оброблення, °С;

τ – тривалість оброблення, год.

Для визначення коефіцієнтів регресії, що входять в залежності (5–7) проведено експериментальні дослідження, які полягали у визначенні кольору на певних, завчасно спланованих, етапах термічного розкладання деревини. Цей принцип базується на методі неграничного розкладання, який полягає в експериментальному дослідженні фізико-механічних властивостей матеріалу поетапно, після завершення певної стадії структурних перетворень під впливом температури.

Метод розрахунку кольору термомодифікованої деревини граба наведено у вигляді блок-схеми (рис. 2):

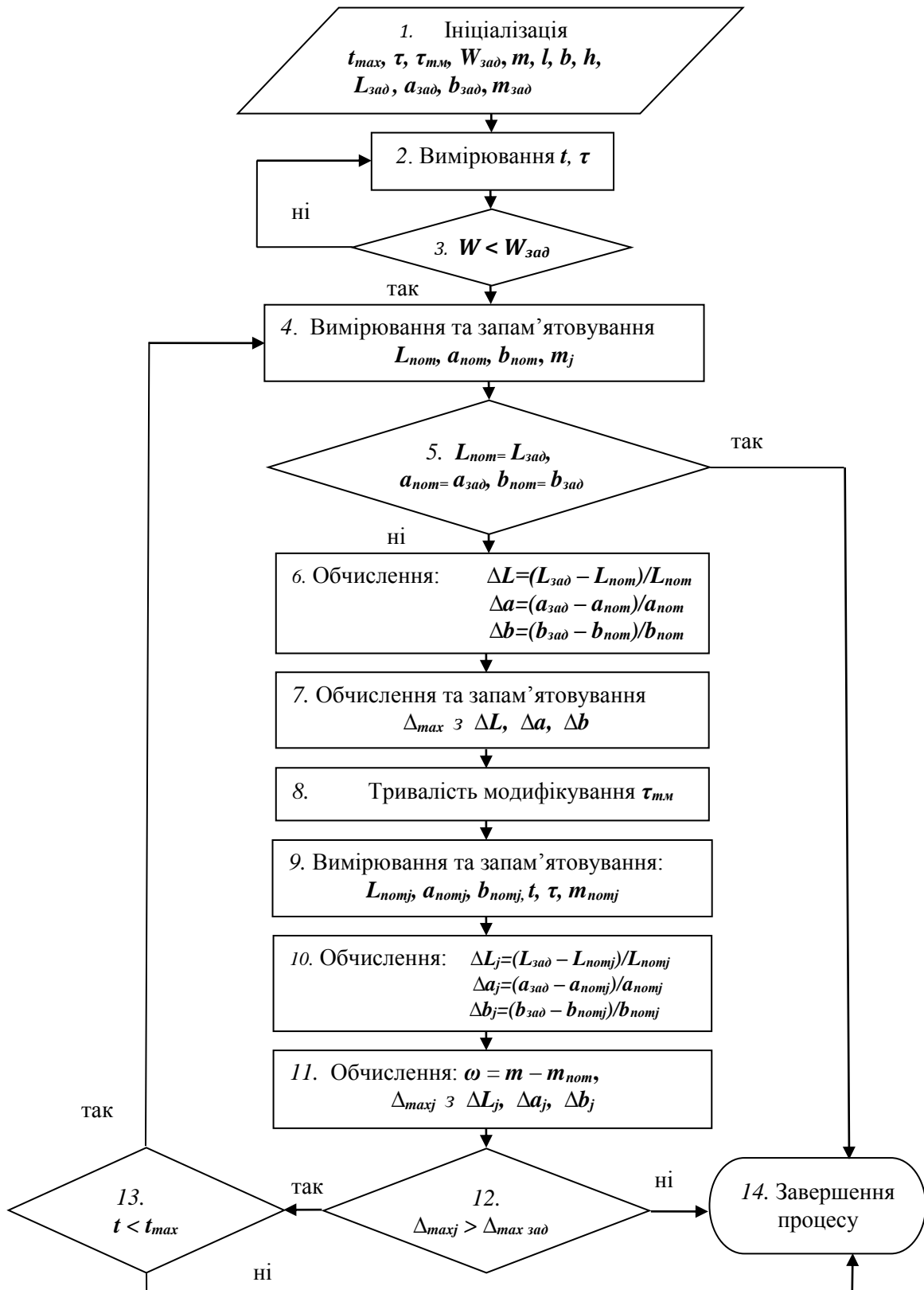


Рис. 2. Метод розрахунку кольору деревини під час термомодифікування

Таким чином, методика прогнозування кольору термомодифікованої деревини включає визначення втрати маси та колористичних характеристик матеріалу L , a , b від температури і тривалості оброблення.

У третьому розділі «Методика експериментальних досліджень» наведено методику розроблення режимних параметрів термічного модифікування деревини граба; подано методики дослідження зміни хімічної структури та визначення фізико-механічних властивостей термомодифікованої деревини.

На основі аналізу проведених попередніх експериментальних досліджень з термічного модифікування деревини граба визначено температурний діапазон впливу на деревину граба – 160–220 °С; діапазон тривалості впливу температури на деревину становив 1–20 год.

Для проведення експериментальних досліджень впливу режимних параметрів термічного модифікування на властивості деревини застосовано повний факторний аналіз з двома варіаційними факторами: температура в межах 160 °С X_1 <math><220</math> °С і тривалість оброблення 1 год X_2 <math><20</math> год (табл. 1). Як стабілізовані фактори вибрано пароповітряне середовище термооброблення деревини та початкову вологість зразків $W=8\%$.

Таблиця 1

План експерименту з визначення параметрів термічного модифікування деревини граба

X_0	X_1	X_2	X_{12}	$t_{обр}, ^\circ\text{C}$	$\tau_{прог}, \text{ГОД}$	Крок варіації	
						$t_{обр}, ^\circ\text{C}$	$\tau_{прог}, \text{ГОД}$
1	1	1	1	220	20	30	9,5
1	-1	1	-1	160	20		
1	1	-1	-1	220	1		
1	-1	-1	1	160	1		

Для встановлення кольору термомодифікованої деревини використано методику, за якою сканують зразки та ідентифікують результат за допомогою програми Photoshop. У результаті отримують кількісні характеристики кольорів – світлість ΔL , хроматичні координати Δa і Δb . Загальну різницю кольору ΔE визначають за формулою:

$$\Delta E = (\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2)^{1/2}, \quad (8)$$

де ΔL^2 – квадрат різниці світлості кольору зразків термообробленої деревини відносно необробленої;

Δa^2 і Δb^2 – квадрат різниці хроматичних параметрів, що описують відношення зеленої до червоної та синьої до жовтої складової кольору.

Для визначення акустичних властивостей деревини використано віброакустичний метод визначення частоти звукових коливань, який ґрунтується на виявленні власної (резонансної) частоти зразка (f , Гц) при пропущенні через нього детермінованого звукового сигналу з підвищеною частотою. Отримані значення власної частоти зразка дають змогу визначити динамічний модуль пружності деревини (E , МПа), а потім її акустичний опір (K , м⁴/кг·с) за формулою:

$$K = \sqrt{\frac{E}{\rho^3}}, \quad (9)$$

де ρ – густина деревини, кг/м³.

Зміна фізичних властивостей термомодифікованої деревини пояснюється розкладанням складових геміцелюлоз – пентозанів (Π , %), їх вміст розраховано через визначений вміст фурфуролу (Φ , %) бромід-броматним методом. Для дослідження зміни анатомічної будови та біохімічної трансформації деревини й складу органічних сполук використано анатомотомо-гістохімічні методи (флуоресцентний аналіз, тонкошарову хроматографію, спектрофотометрію).

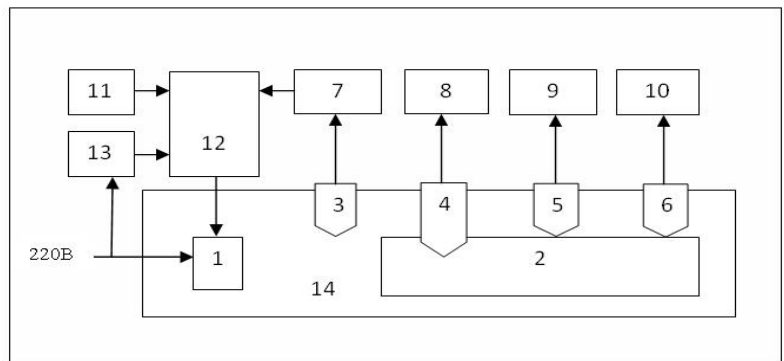
Фізичні (базова густина ($\rho_{баз}$, кг/м³); вологість (W , %); показники всихання в радіальному ($\beta_{рад}$, %) і тангентальному ($\beta_{танг}$, %) напрямках; величина вологопоглинання (U_n , %)), механічні (межа міцності при статичному згині ($\sigma_{стат. згин}$, МПа) і стиску уздовж ($\sigma_{ст. уздовж вол.}$, МПа) та поперек ($\sigma_{ст. поп. вол.}$, МПа) волокон) та технологічні (ударна твердість (H , Дж/см²); зносостійкість (t , %)) властивості визначено згідно зі стандартними методиками.

У четвертому розділі «Результати експериментальних досліджень» наведено опис розробленої експериментальної установки для термічного модифікування деревини; результати визначення впливу режимних параметрів обробки на зміну анатомічної будови, фізичних, механічних та технологічних властивостей термомодифікованої деревини граба.

Для проведення експериментальних досліджень термічного модифікування деревини було виготовлено відповідний лабораторний пристрій, який складається з герметичної камери, калорифера і пульта управління (рис. 3). Для досліджень використовували зразки поперечним перерізом 85×5 мм, 85×30 мм, завдовжки 300 мм.



а



б

Рис. 3. Пристрій для термічного модифікування деревини: а – загальний вигляд; б – блок-схема керування процесом термічного модифікування деревини в експериментальній установці: 1 – калорифер; 2 – деревина; 3, 4, 5 – термометри; 6 – датчик вологості; 7, 8, 9 – вимірювальні схеми термометрів; 10 – вимірювальна схема вологоміра; 11 – датчик температури всередині камері; 12 – регулятор температури; 13 – блок живлення регулятора температури; 14 – камера.

Під час термічного модифікування зразки змінили свій колір відповідно до обраних режимних параметрів і набули забарвлення, характерного для екзотичних порід деревини. Результати кількісної оцінки кольору зразків наведено в табл. 2.

Результати визначення складових кольору термомодифікованої деревини граба

Зразок			Параметри кольору						
№ з/п	Температура оброблення, °С	Тривалість оброблення, год.	експериментальні			розрахункові			
			L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
1	контрольний		58,4	12	16,4	–	–	–	–
2	160	1	53,2	15	18,6	–5,2	3	2,2	6,80
3		10	46	17,6	18,8	–12,4	5,6	2,4	13,88
4		20	48,4	14,4	17,4	–10	2,4	1	10,46
5	190	1	49,4	16,8	20,2	–9	4,8	3,8	11,19
6		10	34,6	16,2	16,8	–23,8	4,2	0,4	24,28
7		20	25,2	11	10,8	–33,2	–1	–5,6	33,79
8	220	1	30,2	12,8	11,8	–28,2	0,8	–4,6	28,61
9		10	14,4	4,8	2,8	–44	–7,2	–13,6	46,65
10		20	13,8	4,4	2,2	–44,6	–7,6	–14,2	47,50

Примітка. У таблиці наведено середні значення по п'яти точках на кожному зразку

Зміна кольору деревини граба стає більш помітною з підвищенням температури й тривалістю оброблення, що підтверджується отриманим рівнянням регресії у нормалізованому вигляді залежності кольору термомодифікованої деревини граба від режимних параметрів:

$$\Delta E = 23,59 + 14,46 \cdot x_1 + 5,89 \cdot x_2 + 3,56 \cdot x_1 \cdot x_2. \quad (10)$$

Перевірка рівняння для рівня значущості 5 % підтвердила однорідність дисперсій ($G_{розр}=0,6008 < G_{табл}=0,6025$) та адекватність моделі ($F_{розр}=3,94 < F_{табл}=4,11$).

Зі збільшенням температури і тривалості термічного модифікування розкладаються термічно нестабільні низькомолекулярні органічні компоненти деревини – геміцелюлози. Встановлено, що перші зміни у вмісті пентозанів відбуваються за температури 190 °С, при цьому вміст пентозанів зменшився практично в 4 рази для 10-го зразка і в 2 рази для 9-го зразка. Встановлено збільшення вмісту фенольних сполук і флавоноїдів для цих зразків (рис. 4).

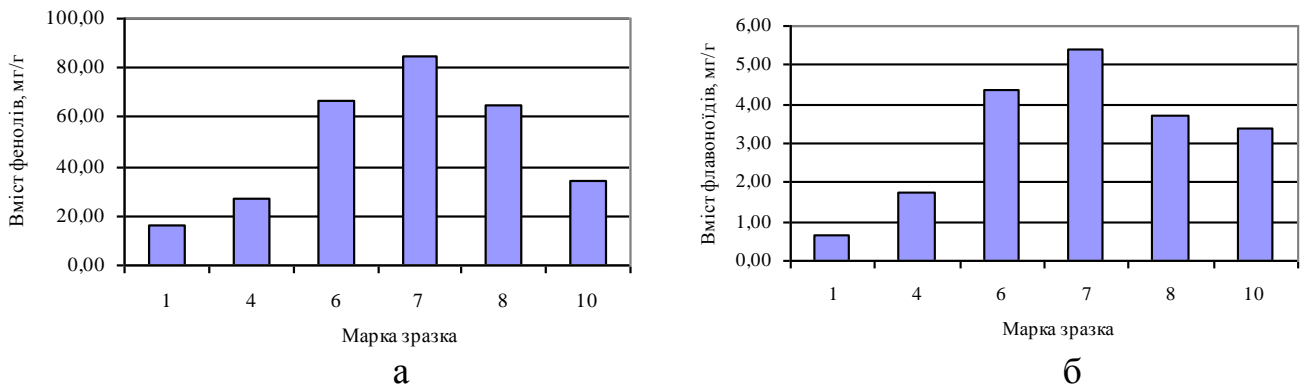


Рис. 4. Вплив режиму термомодифікування на динаміку вмісту спирторозчинних сполук у деревині граба: а – феноли; б – флавоноїди.

Ймовірно це пов'язано з термічним розкладанням молекули, а не перетворенням на інші ароматичні сполуки.

Мікроморфологічну трансформацію клітин ксилеми, яка пов'язана з випаровуванням вільної та зв'язаної води, вивільненням і окиснюванням органічних сполук, у тому числі фенолкарбонових та оксикоричних кислот, руйнуванням лігніну у вторинних клітинних стінках під дією високих температур досліджено на мікрорізах деревини (рис. 5).

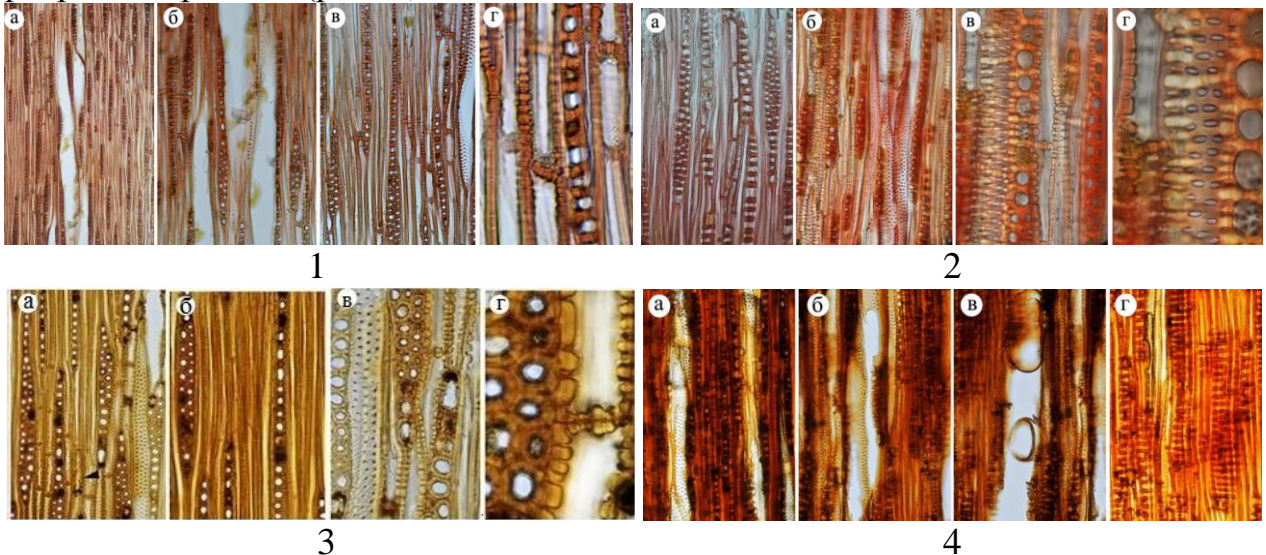


Рис. 5. Стан тканин ксилеми граба звичайного: 1 – до термічної модифікації деревини; 2 – після термічної модифікації упродовж 20 годин за температури 160 °С; 3 – за 190 °С; 4 – за 220 °С; а, б – одно- та дворядні гомогенні серцевинні промені серед волокнистих елементів; в, г – елементи ксилеми після високотемпературної обробки деревини.

Спостерігається збільшення діаметру пор в клітинних стінках члеників судин і волокнистих елементах деревини граба і незначне зменшення товщини клітинних стінок після оброблення за температури 160 °С упродовж 20 годин; суттєві й незворотні зміни у тканинах при збільшенні температури оброблення до 190 °С; повне або часткове обуглення органіки клітин серцевинних променів – за 220 °С.

За результатами анатомо-гістохімічних досліджень ксилеми граба звичайного і біохімічного аналізу складу спирторозчинних фенольних сполук, які вивільнюються з деревини внаслідок впливу високих температур визначено, що для надання матеріалу високодекоративних властивостей зі збереженням інших важливих характеристик деревини, найкращими параметрами режимів термічного модифікування є оброблення деревини за температури 190 °С упродовж 10–20 год.

Реалізування повного факторного плану (див. табл. 1) дало змогу отримати адекватні регресійні залежності основних фізичних властивостей деревини граба від режимних параметрів термомодифікування:

базова густина

$$\rho_{\text{баз}} = 747,02 - 14,63 \cdot x_1 - 23,06 \cdot x_2 + 3,27 \cdot x_1 \cdot x_2, \quad (11)$$

вологопоглинання

$$U_n = 15 - 3,86 \cdot x_1 - 1,75 \cdot x_2 - 0,05 \cdot x_1 \cdot x_2, \quad (12)$$

всихання в радіальному напрямку

$$\beta_{rad} = 6,43 - 0,73 \cdot x_1 - 0,9 \cdot x_2 - 0,17 \cdot x_1 \cdot x_2, \quad (13)$$

всихання в тангентальному напрямку

$$\beta_{танг} = 5,35 - 1,64 \cdot x_1 - 1,06 \cdot x_2 + 0,2 \cdot x_1 \cdot x_2, \quad (14)$$

акустичний опір в радіальному напрямку

$$K_{rad} = 0,17 - 0,02 \cdot x_1 - 0,15 \cdot x_2 + 0,01 \cdot x_1 \cdot x_2, \quad (15)$$

акустичний опір в тангентальному напрямку

$$K_{танг} = 0,13 - 0,02 \cdot x_1 - 0,11 \cdot x_2 + 0,01 \cdot x_1 \cdot x_2. \quad (16)$$

Вплив температури й тривалості оброблення на досліджувані фізичні властивості є неоднаковим (рис. 6).

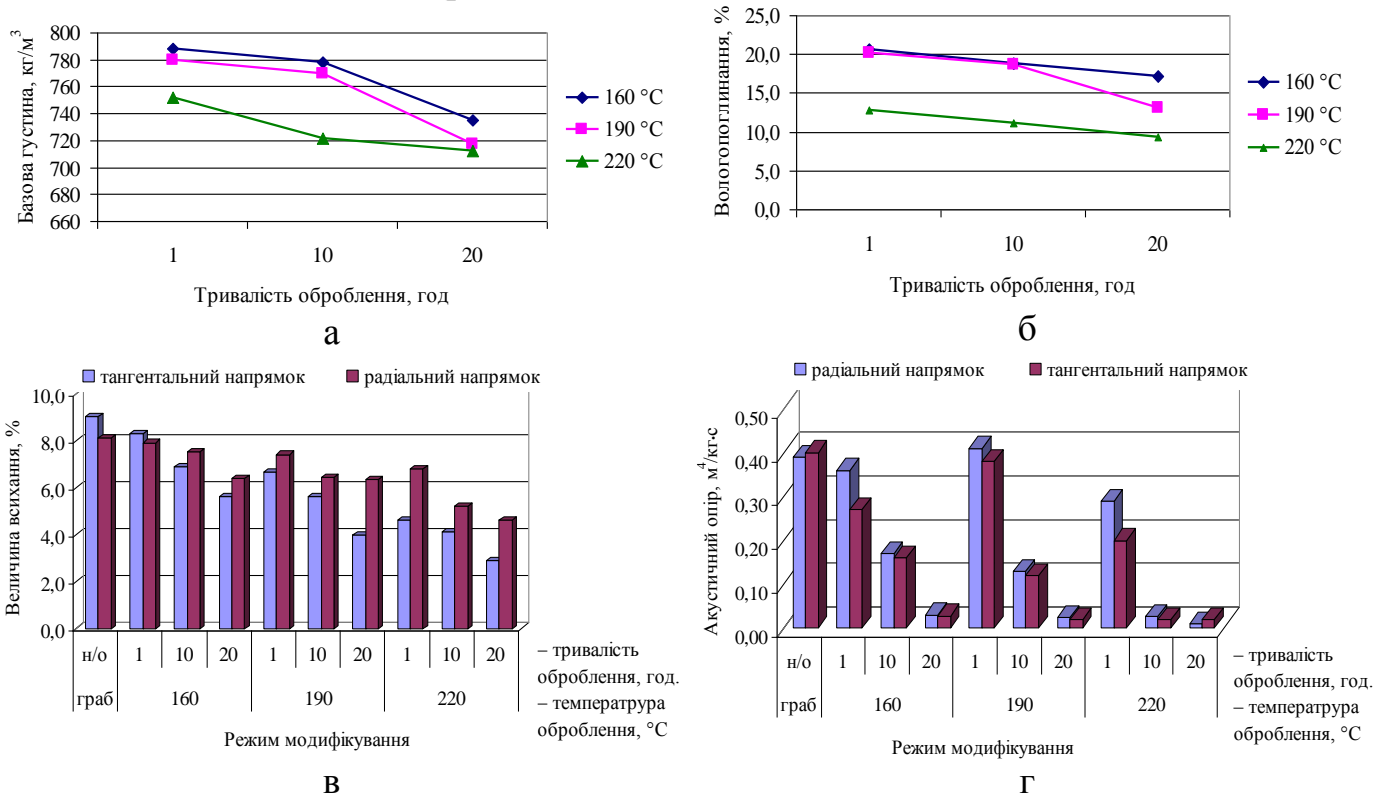


Рис. 6. Вплив режимів термічного модифікування на фізичні властивості деревини граба: а – базова густина; б – всихання в радіальному і тангентальному напрямках; в – вологопоглинання; г – акустичний опір в радіальному і тангентальному напрямках.

Зі зростанням температури й тривалості оброблення, вологопоглинання зменшується в 1,4 раза; величина всихання падає в тангентальному напрямку в 3 рази і в радіальному – в 1,7 раза, порівняно зі зразками необробленої деревини граба. Втрата маси зразків, у результаті впливу температури, спричинила зменшення густини деревини граба на 7 і 10 % при обробленні м'якими та жорсткими режимами відповідно. Термічне модифікування забезпечує зниження акустичного опору для зразків модифікованих за температури 220 °C в радіальному напрямку в 40 разів і в тангентальному – у 20 разів, порівняно з необробленою деревиною.

Встановлено вплив режимних параметрів термомодифікації на зміну механічних і технологічних властивостей деревини граба, який описано адекватними рівняннями регресії в нормалізованому вигляді:

межа міцності при стиску поперек волокон

$$\sigma_{ст. поперек волок} = 54,70 - 21,6 \cdot x_1 - 11,75 \cdot x_2 - 0,67 \cdot x_1 \cdot x_2, \quad (17)$$

межа міцності при стиску уздовж волокон

$$\sigma_{ст. уздовж волок} = 88,48 + 0,32 \cdot x_1 + 5,12 \cdot x_2 - 1,83 \cdot x_1 \cdot x_2, \quad (18)$$

межа міцності при статичному згині

$$\sigma_{стат. згин} = 146,71 - 28,53 \cdot x_1 - 8,03 \cdot x_2 - 18,08 \cdot x_1 \cdot x_2. \quad (19)$$

Вплив режиму термомодифікування деревини граба на механічні властивості показав неоднозначний результат (рис. 7).

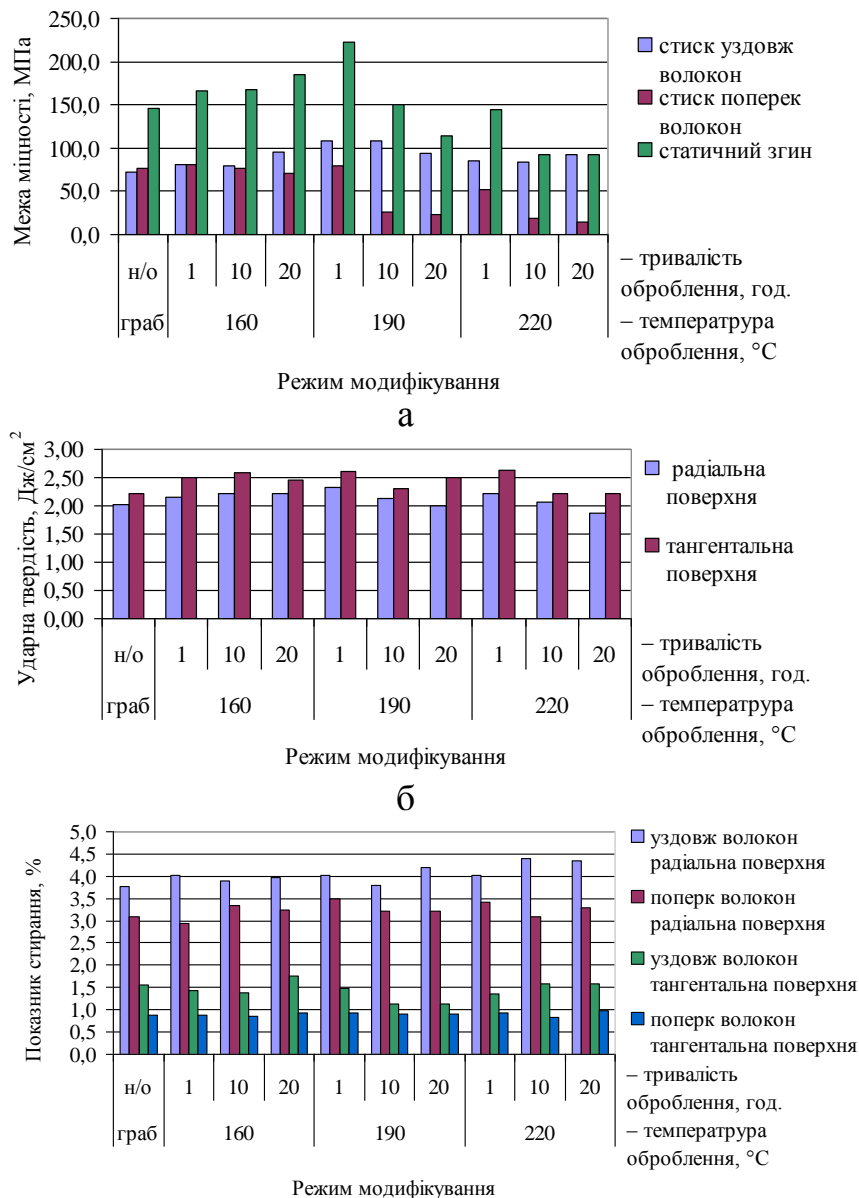


Рис. 7. Результати механічних та технологічних випробувань необробленої і термомодифікованої різними режимами деревини граба: а – межа міцності при стиску уздовж та поперек волокон і статичному згині, б – ударна твердість, в – стирання.

Дія температури 190 °С збільшує межу міцності при стиску уздовж волокон та статичному згині; спостерігається значне зменшення межі міцності при стиску поперек волокон після термомодифікування деревини температурою вищою за 160 °С.

Модифікування деревини м'якими режимами незначно поліпшило показник ударної твердості на 10 і 13 % на радіальній і тангентальній поверхні; стійкість до стирання уздовж та поперек волокон термомодифікованої деревини граба різними режимами не змінилася, порівняно з необробленою деревиною.

П'ятий розділ «Аналіз ефективності термічного модифікування деревини» присвячено визначенню раціональних режимних параметрів процесу термомодифікування, обґрунтуванню переваг та економічної ефективності використання термічно модифікованої деревини граба.

На основі аналізу одержаних регресійних рівнянь залежностей фізико-механічних властивостей (11–19) встановлено, що на їх зміну температура й тривалість термомодифікування впливають неоднаковою мірою. Для визначення раціональних параметрів режиму термічного модифікування деревини граба застосовано метод крутого сходження, заснований на застосуванні градієнтного методу пошуку екстремуму функції відклику. Результати розрахунку наведено на рис. 8, де враховано отримані експериментальним шляхом залежності фізичних і механічних властивостей від режимів термомодифікування.

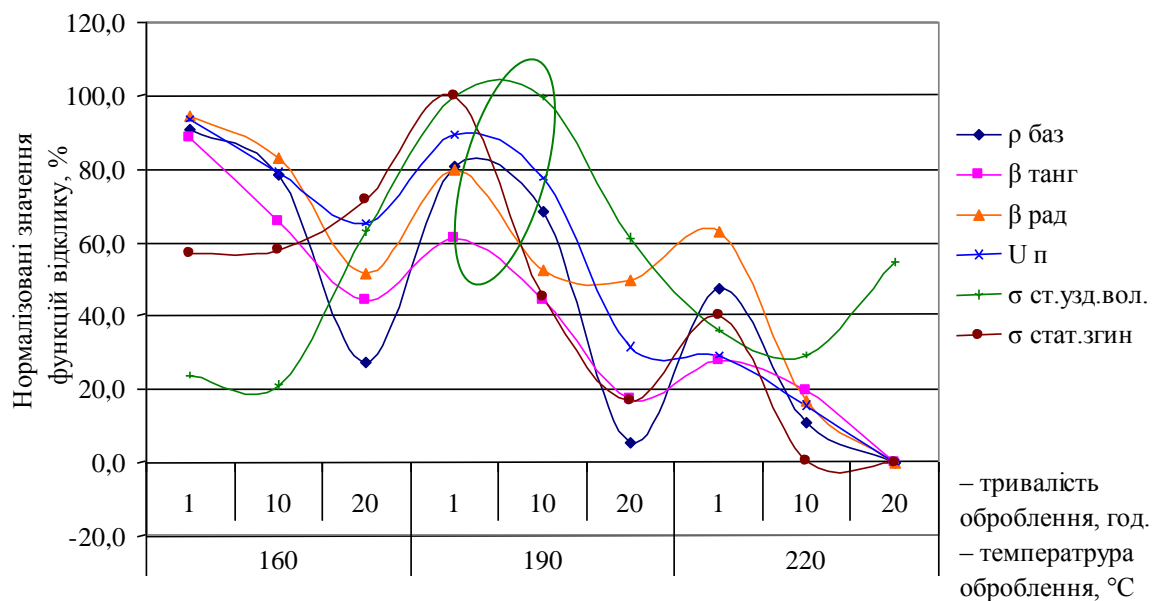


Рис. 8. Область раціональних режимних параметрів термічного модифікування деревини граба

Отже, кращих властивостей термомодифікованої деревини граба можна досягти за таких режимних параметрів – температура $t=190$ °С і тривалість $\tau=8-12$ год. Отримані раціональні параметри режимів термомодифікації граба були апробовані у виробничих умовах у промисловій камері обсягом завантаження $5,5 \text{ м}^3$ умовного матеріалу; встановлено, що різниця забарвлення є незначною, а середні значення базової густини зразків відрізняються на 0,5 %.

Проаналізовано можливості застосування термічно модифікованої різними режимами деревини граба для виготовлення виробів зовнішнього та внутрішнього використання у середовищі з підвищеною вологістю. Термомодифікована деревина набуває покращених основних фізико-механічних властивостей і декоративних характеристик унаслідок дії високої температури. Це дає змогу імітувати екзотичні породи і, відповідно, збільшує напрями її використання.

Вироби з термомодифікованої деревини граба експлуатуються більш тривалий термін, для підтримання їх в робочому стані потрібні мінімальні додаткові витрати, порівняно з іншими екологічними матеріалами. Економічний ефект від використання терасної дошки, виготовленої з термомодифікованої деревини граба, порівняно з традиційною модриною, становить 795 грн/м², з новим екологічно чистим деревним матеріалом Асооа – 482 грн/м².

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено науково-практичну задачу збільшення напрямів використання деревини граба, яка набуває заданих фізико-механічних та декоративних характеристик після термічного модифікування. У процесі розв'язання поставлених задач зроблено наступні висновки:

1. Аналіз сучасного стану використання деревини граба дав змогу обґрунтувати розширення сфери її застосування за рахунок термомодифікації.

2. Розроблено математичну модель прогнозування кольору деревини граба під час термомодифікування, що базується на контролі втрати маси матеріалу в процесі обробки та визначенні раціональних параметрів термічної модифікації.

3. Встановлено, що при дії високих температур на деревину граба відбувається розкладання її структурних складових – органічних сполук, пентозанів, які сприяють зміні забарвлення деревини граба від світло-коричневих до чорних кольорів залежно від режимних параметрів. Визначено, що вміст пентозанів зменшився в 1,8 раза у зразків термомодифікованих за температури 220 °С упродовж 10 год і в 4 рази – в оброблених упродовж 20 год за аналогічної температури, що забезпечило коричнево-чорний колір деревини.

4. Визначено, що більший вплив на величину всихання в тангентальному напрямку та вологопоглинання має температура, а на густину деревини та всихання в радіальному напрямку – вагомим фактором впливу є тривалість оброблення. Втрата маси деревини граба при обробці за температури 160 °С становила 4,5 %, за 220 °С – 26 %; густина зменшилася на 7 і 10 % відповідно; у зразків деревини граба модифікованої за 220 °С знизився показник всихання на 35 % в радіальному напрямку та на 54 % – в тангентальному; зменшилося вологопоглинання на 50 %, порівняно зі зразками з необробленої деревини. Визначення акустичного опору термічно модифікованої деревини граба показало, що найменші його значення – 0,02 м⁴/кг·с – спостерігаються у тангентальному напрямку у зразків, які було оброблено за високих температур, що у 20 разів менше відносно необробленої деревини граба. Це уможливорює застосовування такого матеріалу в приміщеннях для збільшення звукоізоляції.

5. Встановлено, що термомодифікація неоднозначно впливає на механічні властивості деревини граба – межа міцності при стиску поперек волокон зменшується на 65 %, а межа міцності при стиску уздовж волокон і при статичному згині – зростають на 48 % у зразків модифікованих за температури 190 °С. Дослідження показників стирання і ударної твердості деревини граба після термічної модифікації показало, що її доцільно використовувати для виробництва продукції з підвищеними вимогами до зносостійкості.

6. На основі методу крутого сходження встановлено раціональні режими термомодифікування деревини граба – температура 190 °С і тривалість оброблення 8–12 год. Проведення процесу термічної модифікації залежить від властивостей, які повинен мати матеріал щодо напрямку використання готового виробу.

7. Результати лабораторних досліджень режимних параметрів термомодифікування перевірено у виробничих умовах і впроваджено для використання на підприємствах ТОВ «Барлінек Інвест», ТОВ «Форест Технолоджі», ФОП «Бойко О. Є.».

8. Термомодифіковану деревину граба можна розглядати як заміну для екзотичних та твердолистяних порід деревини при оформленні прилеглої до будинку території (фасади будинків, терасна дошка, садові меблі) та інтер'єру (сходи, вагонка, покриття підлоги, фасади кухонних меблів, стільниці), оскільки вона має покращені декоративні характеристики, фізичні та експлуатаційні властивості.

9. Економічна ефективність від використання терасної дошки, виготовленої з термічно модифікованої деревини граба, яка обумовлена тривалішим терміном експлуатації та мінімальними додатковими витратами на підтримання її в робочому стані, становить 795 грн/м², порівняно з традиційною модриною, 482 грн/м² – з новим екологічно чистим деревним матеріалом Асооу.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Горбачова О. Ю. Аналіз технологій термічного модифікування деревини / О. Ю. Горбачова // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. – 2013. – Вип. 185. – Ч. 2. – С. 144–149.

2. Пінчевська О. О. Щодо підвищення якості пиломатеріалів функціонального призначення / О. О. Пінчевська, **О. Ю. Горбачова** // Современные строительные конструкции из металла и древесины. – 2013. – № 17. – С. 158–162. *(Здобувачем особисто проведено експериментальні дослідження та визначено чинники, що впливають на підвищення якості пилопродукції функціонального призначення).*

3. Пінчевська О. О. Деякі фізико-механічні властивості термомодифікованої деревини / О. О. Пінчевська, В. М. Головач, **О. Ю. Горбачова** // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2014. – Вип. 147. – С. 3–9. *(Здобувачем особисто поставлено задачу, проведено експериментальні дослідження).*

4. Пінчевська О. О. Дослідження акустичних властивостей термообробленої деревини граба / О. О. Пінчевська, В. М. Головач, **О. Ю. Горбачова** // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2015. – Вип. 160. – С. 41–47. *(Здобувачем особисто проаналізовано проблему використання граба, проведено аналіз експериментальних досліджень).*

5. Пінчевська О. О. Оптимізація режимів термічного оброблення деревини граба / О. О. Пінчевська, В. М. Головач, **О. Ю. Горбачова** // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. – 2016. – Вип. 238. – С. 251–259. *(Здобувачем особисто проведено аналіз технологій термооброблення деревини, проведено експериментальні дослідження, визначено раціональні параметри режиму обробки).*

**Стаття у науковому фаховому виданні України,
включеному до міжнародних наукометричних баз даних**

6. Горбачова О. Ю. Щодо впливу термічного модифікування на властивості деревини граба: [електронний ресурс] / О. Ю. Горбачова // Лісове і садово-паркове господарство. – 2016. – № 9. – Режим доступу до ресурсу: <http://ejournal.studnubip.com/zhurnal-9/ukr/horbachova-o-yu>.

Статті у науковому виданні іншої держави:

7. Пинчевская Е. А. Потенциал лесопильной промышленности Украины / Е. А. Пинчевская, Н. В. Марченко, **А. Ю. Горбачева** // Annals Warsaw University of Life Sciences. SGGW Forestry and Wood Technology. – 2012. – № 79. – С. 160–164. *(Здобувачем особисто проаналізовано вплив технології оброблення на якість специфікаційних пиломатеріалів).*

8. Пинчевская Е. А. Влияние режимов термического модифицирования на физико-механические свойства граба / Е. А. Пинчевская, В. М. Головач, **А. Ю. Горбачева** // Annals Warsaw University of Life Sciences. SGGW Forestry and Wood Technology. – 2014. – № 88. – С. 193–197. *(Здобувачем особисто поставлено задачу, запропоновано режимні параметри термічного модифікування деревини граба і проведено експериментальні дослідження).*

Статті в інших наукових виданнях:

9. Пінчевська О. О. Урахування якості сушіння у процесі виготовлення пилопродукції цільового призначення / О. О. Пінчевська, **О. Ю. Горбачова** // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природо-користування України. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво. – 2012. – Вип. 171. – Ч. 2. – С. 214–218. *(Здобувачем особисто проведено експериментальні дослідження).*

10. Пинчевская Е. А. Лесопромышленный комплекс Украины: состояние и проблемы / Е. А. Пинчевская, **А. Ю. Горбачева** // Оборудование и инструмент для профессионалов. – 2012. – № 3 (145). – С. 94–95. *(Здобувачем особисто проаналізовано ринок пиломатеріалів України).*

11. Горбачева А. Ю. Экологобезопасное модифицирование древесины / А. Ю. Горбачева // Оборудование и инструмент для профессионалов. – 2014. – №1 (163). – С. 46–47.

12. Пінчевська О. О. Зміни в хімічній структурі і кольорі деревини граба після термічного модифікування / О. О. Пінчевська, А. Ф. Ліханов, **О. Ю. Горбачова** // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2015. – № 3. – С. 186–191. *(Здобувачем особисто поставлено задачу, запропоновано методику визначення параметрів кольору термобробленої деревини граба і проведено експериментальні дослідження з його визначення).*

Патент на корисну модель

13. Патент на корисну модель № 107118 Україна, МПК (2006.01) F26B 3/02. Спосіб термічного оброблення деревини / В. М. Головач, О. О. Пінчевська, **О. Ю. Горбачова**; заявник та патентовласник Національний університет біоресурсів і природокористування України. – № 2015 u 10815; заявлено 06.11.2015; опубліковано 25.05.2016, Бюл. №10. *(Здобувачем особисто запропоновано формулу винаходу на корисну модель).*

Тези наукових доповідей:

14. Пинчевская Е. А. О возможности развития рынка столярно-строительных изделий Украины / Е. А. Пинчевская, С. Г. Зражва, **А. Ю. Горбачева** // Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса: Международная научно-техническая конференция, посвященная 50-летию кафедры механической технологии древесины, г. Кострома, Российская Федерация, 9–12 октября 2012 года: тезисы доклада. – Кострома, 2012. – С. 211–213. *(Здобувачем особисто проаналізовано ринок столярно-будівельних виробів).*

15. Горбачова О. Ю. Щодо питання раціонального використання деревної сировини / О. Ю. Горбачова // Ліс, довкілля, технології: наука та інновації: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 29 березня 2012 року: тези доповіді. – К., 2012. – С. 277–278.

16. Горбачова О. Ю. Щодо забезпечення біостійкості пилопродукції / О. Ю. Горбачова // Ліси, парки, технології: сьогодні і майбутнє: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 28–29 березня 2013 року: тези доповіді. – К., 2013. – С. 209–210.

17. Горбачова О. Ю. Екологобезпечне модифікування деревини / О. Ю. Горбачова // Екологобезпечні ресурсозберігаючі технології оброблення деревини: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 24–27 вересня 2013 року: тези доповіді. – К., 2013. – С. 15–16.

18. Пінчевська О. О. Термооброблена деревина як альтернатива тропічним породам / О. О. Пінчевська, **О. Ю. Горбачова** // Лісове і садово-паркове господарство ХХІ сторіччя: актуальні проблеми та шляхи їх вирішення: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 13–14 березня 2014 року: тези доповіді. – К., 2014. – С. 223–224. *(Здобувачем особисто поставлено задачу, проаналізовано деякі деревинні матеріали).*

19. Пинчевская Е. А. Исследование акустических свойств термообработанной древесины / Е. А. Пинчевская, В. М. Головач, **А. Ю. Горбачева** // Строение, свойства и качество древесины – 2014: V Международный симпозиум Регионального Координационного совета по современным проблемам древесиноведения, г. Москва, Российская Федерация, 22–25 сентября 2014 года: тезисы доклада. – М., 2014. – С. 16–17. *(Здобувачем особисто проаналізовано результати експериментальних досліджень)*.

20. Пинчевская Е. А. Влияние термического модифицирования на свойства древесины / Е. А. Пинчевская, **А. Ю. Горбачева** // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: Международная заочная научно-практическая конференция, г. Воронеж, Российская Федерация, 3–5 июня 2014 года: тезисы доклада. – Воронеж, 2014. – № 5. – Ч. 4. – С. 293–296. *(Здобувачем особисто проведено експериментальні дослідження і проаналізовано їх результати)*.

21. Пінчевська О. О. Акустичні властивості після термооброблення / О. О. Пінчевська, В. М. Головач, **О. Ю. Горбачова** // Біоресурси лісових та урбанізованих екосистем: відтворення, збереження і раціональне використання: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 23–24 квітня 2015 року: тези доповіді. – К., 2015. – С. 195. *(Здобувачем особисто поставлено задачу, проведено аналіз результатів експериментальних досліджень)*.

22. К вопросу об использовании древесины граба / [Пинчевская Е. А., Марченко Н. В., **Горбачева А. Ю.**, Новицкий С. В.] // Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса: III Международная научно-техническая конференция, г. Кострома, Российская Федерация, 21–24 сентября 2015 года: тезисы доклада. – Кострома, 2015. – С. 27–29. *(Здобувачем особисто запропоновано методикку визначення фізико-механічних властивостей термообробленої деревини граба, проведено експериментальні дослідження)*.

23. Пінчевська О. О. Вплив термооброблення деревини граба на зміну її структури і забарвлення / О. О. Пінчевська, **О. Ю. Горбачова** // Виклики XXI століття та їхнє вирішення у лісовому комплексі й довкіллі: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 23–24 квітня 2015 року: тези доповіді. – К., 2015. – С. 228. *(Здобувачем особисто поставлено задачу, запропоновано режими термомодифікування деревини граба і проаналізовано результати експериментальних досліджень)*.

24. Пінчевська О. О. Щодо біохімічної трансформації деревини граба звичайного під впливом високих температур / О. О. Пінчевська, А. Ф. Ліханов, **О. Ю. Горбачова** // Актуальні проблеми лісового сектору та садово-паркового господарства: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 14–15 квітня 2016 року: тези доповіді. – К., 2016. – С. 187. *(Здобувачем особисто проведено термомодифікування деревини граба і проаналізовані результати експериментальних досліджень)*.

25. Пінчевська О. О. Прогнозування кольору термообробленої деревини граба / О. О. Пінчевська, В. М. Головач, **О. Ю. Горбачова** // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем: VI Міжнародна науково-практична конференція, м. Чернігів, 26–29 квітня 2016 року: тези доповіді. –

Чернігів, 2016. – С. 150–152. (Здобувачем особисто проведено експериментальні дослідження і статистично опрацьовано їх результати).

АНОТАЦІЯ

Горбачова О. Ю. Термічне модифікування деревини граба. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.06 – технологія деревообробки, виготовлення меблів та виробів з деревини. – Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, 2016.

Дисертаційна робота присвячена розв'язанню актуальної науково-практичної задачі розширення напрямів використання деревини граба з оновленими основними фізико-механічними властивостями за рахунок її оброблення під впливом дії високої температури без доступу кисню. Розроблено методику прогнозування кольору термомодифікованої деревини граба. Визначено режимні параметри модифікування деревини граба, які дають змогу отримати матеріал із заданими властивостями, необхідними для певного виробу залежно від сфери використання, що прийнято до впровадження на двох підприємствах галузі. Отримано залежності зміни фізико-механічних властивостей деревини граба від температури і тривалості оброблення у вигляді регресійних рівнянь і встановлено зв'язок між деструкцією анатомічних елементів деревини та режимами термомодифікування. Визначено сферу використання виробів, виготовлених із термомодифікованої деревини граба різними режимами залежно від вимог до них і умов середовища експлуатації. Встановлено економічну ефективність від використання терасної дошки, виготовленої з термічно модифікованої деревини граба, яка обумовлена тривалішим терміном експлуатації та мінімальними додатковими витратами на підтримання її в робочому стані, становить 795 грн/м², порівняно з традиційною модриною, 482 грн/м² – з новим екологічно чистим деревним матеріалом Асоуа.

Ключові слова: термічне оброблення, деревина граба, деструкція деревини, режими обробки, колір, фізико-механічні властивості, сфера застосування.

АННОТАЦИЯ

Горбачева А. Ю. Термическое модифицирование древесины граба. – На правах рукописи.

Дисертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.06 – технология деревообработки, изготовление мебели и изделий из древесины. – Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, Киев, 2016.

Диссертация посвящена решению актуальной научно-практической задачи расширения сферы использования древесины граба с обновленными основными физико-механическими свойствами за счет ее обработки под воздействием высокой температуры без доступа кислорода.

Сравнительный анализ технологий термического модифицирования древесины показал, что на себестоимость конечной продукции влияет выбор агента обработки, температура обработки, продолжительность нагрева, термической

обработки и охлаждения, энергозатраты. Определено, что экономически наиболее эффективной является обработка древесины в среде перегретого пара.

Предложено кинетическое уравнение для описания термообработки древесины граба на каждом этапе, которое учитывает потерю массы структурных составляющих древесины в любой момент процесса. Разработана математическая модель прогнозирования цвета, которая позволяет получить нужные декоративные характеристики древесины, контролируя потерю массы материала на любом этапе термообработки.

Исследовано влияние воздействия высокой температуры на разложение структурных элементов древесины. Определено содержание наименее температуростойких компонентов – пентозанов, которое уменьшилось практически в 2 раза у термообработанных образцов жестким режимом. Вследствие этих изменений, древесина граба приобретает сквозную окраску от светло-коричневого до практически черного цвета (в зависимости от режимных параметров), имитирующую ценные экзотические породы и позволяющую использовать ее в изделиях, для которых важной характеристикой является цвет.

Исследованы анатомические трансформации древесины граба при термообработке, сопровождающиеся высвобождением фенольных соединений и флавоноидов. Определено, что у образцов древесины граба, модифицированной при температуре 190 °С наблюдается наибольшая их концентрация в спиртовых растворах вследствие образования на поверхности клеток сшивок. У образцов древесины, обработанной более жесткими режимами, содержание этих соединений уменьшается за счет расщепления их молекул.

Получены адекватные уравнения регрессии зависимости физико-механических свойств древесины граба от параметров обработки. Определено, что температура является фактором, который влияет в большей степени на усушку в тангенциальном направлении, влагопоглощение, предел прочности при статическом изгибе и сжатии поперек волокон, а продолжительность – на плотность древесины, усушку в радиальном направлении, сжатие вдоль волокон.

Установлено влияние режимных параметров термического модифицирования на величину исследуемых физических свойств (потери массы, плотности, коэффициенты усушки, влагопоглощение, акустического сопротивления) древесины граба. Определено, что с повышением температуры и увеличением продолжительности обработки увеличивается потеря массы древесины граба у образцов, обработанных мягкими режимами – на 4,5 %, жесткими режимами – на 26 %; базисная плотность уменьшается на 7 и 10 % соответственно. Коэффициент усушки древесины граба обработанной при температуре 220 °С уменьшился в среднем на 30 % в радиальном направлении и на 60 % – в тангенциальном; влагопоглощение древесины граба, обработанной жесткими режимами, снижается на 50 %, по сравнению с образцами необработанной древесины. Поскольку материал обладает повышенной стабильностью геометрических размеров, меньшей гигроскопичностью, является легким и не оказывает дополнительной нагрузки на конструкцию, он может применяться для изготовления изделий, которые эксплуатируются в условиях влажного климата.

Определено, что термическое модифицирование обеспечивает снижение акустического сопротивления для образцов, модифицированных при температуре 220 °С в радиальном направлении в 40 раз и в тангенциальном – в 20 раз, по сравнению с необработанной древесиной, что исключает использование термомодифицированной древесины граба для музыкальных инструментов, но способствует ее применению в качестве звукоизолирующего материала.

Установлено, что термомодификация имеет неоднозначное влияние на механические свойства древесины граба: предел прочности при сжатии поперек волокон уменьшается в 5 раз при обработке жесткими режимами; предел прочности при сжатии вдоль волокон улучшается в 1,5 раза при модифицировании режимом с температурой 190 °С; предел прочности при статическом изгибе возрастает на 20 % у образцов, модифицированных при температуре 160 °С и на 50 % – при 190 °С.

На основе метода крутого восхождения определен рациональный режим термообработки древесины граба в паровоздушной среде. Результаты анализа показали, что эффективными параметрами являются продолжительность обработки в пределах от 8 до 12 часов при температуре 190 °С.

С целью проверки результатов лабораторных экспериментов проведена апробация режимов термической модификации древесины граба в промышленных условиях и определены характеристики цвета и условной плотности этих образцов. Установлено, что разница окраски незначительна, а средние значения условной плотности образцов термообработанной древесины отличаются на 0,5 %.

Анализ возможностей применения материалов для обустройства помещений и изготовления изделий показал, что необработанная древесина без дополнительной защиты теряет свои свойства в среде с повышенной влажностью и изделия из нее быстро деформируются и поражаются вредителями. Термически обработанная древесина обладает улучшенными основными физико-механическими свойствами в результате действия высокой температуры, а приобретенные декоративные характеристики позволяют имитировать экзотические породы и, соответственно, расширить сферу ее использования.

Рассчитан экономический эффект от использования террасной доски, изготовленной из термообработанной древесины граба, который зависит от пролонгированного срока службы, минимальных дополнительных затрат на эксплуатацию и составляет 795 грн/м², по сравнению с традиционно применяемой лиственницей и 482 грн/м² – с новым экологически чистым древесным материалом Ассоуа.

Ключевые слова: термическая обработка, древесина граба, деструкция древесины, режимы обработки, цвет, физико-механические свойства, область применения.

ANNOTATION

Gorbachova O. Yu. Thermal modification of hornbeam wood. – The manuscript.

The thesis for Candidate Degree of Technical Sciences with the specialty 05.23.06 – wood technology, furniture and wooden goods production. – The National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, 2016.

The thesis is devoted to solution of actual scientific and practical problem of expanding uses of hornbeam wood with updated basic physical and mechanical properties due to its treatment under the influence of high temperatures without oxygen. Developed the methods of forecasting colour of thermomodified hornbeam wood. Determined regime parameters of modification of hornbeam wood to optimize the process, depending on the scope of products made from it. Received the resulting changes depending on the physical and mechanical properties of hornbeam wood from temperature and duration of treatment in the form of regression equations and defined the connection between the destruction of the anatomical elements of wood and modes of thermomodification. Defined the scope using of products made from heat treated hornbeam wood in different modes depending on the requirements of their environmental conditions and exploitation. Established the cost-effectiveness of using slip decking made of thermally modified wood of hornbeam, which is due to longer service life and minimal additional costs to maintain it in working order is 795 UAH/m² compared with traditional larch, 482 UAH/m² – the new environmentally pure wood material Accoya.

Key words: thermal processing, hornbeam wood, destruction of wood, processing modes, colour, physical and mechanical properties, scope.

Підписано до друку 24.10.2016
Ум. друк. арк. 0,9
Наклад 100 прим.

Формат 60×84/16
Обл.-вид. арк. 0,8
Зам. № 8780

Віддруковано у редакційно-видавничому відділі НУБіП України
вул. Героїв Оборони, 15, Київ, 03041
тел.: 527-81-55