

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

ЛАКИДА ЮРІЙ ПЕТРОВИЧ

УДК 674.11

**ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕРЕВИННО-
КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ З ЛІСОСІЧНИХ ВІДХОДІВ**

05.23.06 «Технологія деревообробки,
виготворення меблів та виробів з деревини»

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2017

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано в Національному університеті 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
Соколовський Ярослав Іванович,
Державний вищий навчальний заклад
Національний лісотехнічний університет України,
завідувач кафедри інформаційних технологій

кандидат технічних наук
Сагаль Сергій Захарович,
ТОВ «Український інститут меблів»,
директор

Захист відбудеться «7» червня 2017 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. Героїв Оборони, 15, навчальний корпус № 3, кімната 301

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 «4» травня 2017 року

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Н. В. Буйських

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. З кожним роком в Україні все більш гостро постають питання ефективного та повного використання деревини, у тому числі відходів лісозаготівель. Лише у 2015 році кількість відходів лісозаготівельних робіт склала 8543,5 тис. м³. Вирішення питань раціонального використання відходів лісозаготівель, які переважно нагромаджуються у місцях рубок (верхівки дерев, суччя, гілля, гнилі частини дерев тощо) і в подальшому спалюються, дасть джерело існування багатьом підприємствам.

Одним з ефективних шляхів використання відходів лісозаготівель та деревообробки є застосування їх у виробництві деревинно-композиційних матеріалів таких як деревинноволокнисті плити різної щільності (ДВП, MDF), деревинностружкові плити (ДСП), орієнтовано-стружкові плити (OSB), технології яких ґрунтуються на подрібненні деревних волокон. Це обумовлює напрям їх використання у меблевій промисловості (ДВП, MDF, ДСП), у столярно-будівельному секторі (OSB). Виробництво останніх в Україні є незначним через складнощі з обладнанням та неможливість безпосереднього використання відходів лісопильно-деревообробних підприємств, що вимагає пошуку альтернативних рішень. Ще одним шляхом використання деревних відходів є виготовлення паливних брикетів і гранул, що є актуальним у зв'язку з дорожнечею та неекологічністю традиційних джерел тепла. Вже сьогодні існує конкуренція між цими виробництвами щодо придбання сировини.

Серед відходів лісозаготівель значну частину займає гілля, яке не використовується у виготовленні плитних матеріалів і палива внаслідок великого питомого вмісту кори. Розроблення технології раціонального використання гілок, як деревного компонента для деревино-плитних матеріалів, шляхом плющення, дозволить зберегти природну міцність волокон, стати альтернативою існуючим на ринку конструкційним матеріалам, тим більше, що вартість сировини на лісосіці є незначною.

Тому визначення технологічних особливостей виготовлення деревино-композиційного матеріалу з лісосічних відходів має не лише науково-практичну цінність, а й забезпечить раціональне використання деревних ресурсів для виготовлення виробів з високою доданою вартістю.

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 ресурсозберігаючі технології переробки низькосортної деревини» (номер державної реєстрації 0110U003497, 2010–2012 рр.); «Розробити наукові основи формування вимог до раціонального використання деревної сировини» (номер державної реєстрації 0112U002711, 2012–2016 рр.).

Мета та завдання дослідження. Мета дисертаційної роботи – наукове обґрунтування складу нового композиційного матеріалу з використанням деревної компоненти з цілісних волокон. Відповідно до поставленої мети сформульовано наступні завдання:

- провести аналіз властивостей існуючих деревинно-композиційних матеріалів та визначити параметри деревного компонента отриманого методом роздавлювання;

- визначити параметри технологічних етапів виготовлення деревинно-композиційного матеріалу із роздавлених волокон лісосічних відходів;

- визначити раціональний склад деревинно-композиційного матеріалу із різних за розмірами елементів плетив, отриманих методом роздавлювання гілок;

- визначити раціональні параметри режиму пресування, які забезпечують формостабільність матеріалу;

- провести дослідження з визначення фізичних та механічних властивостей отриманого деревинно-композиційного матеріалу на основі деревного компоненту виготовленого методом роздавлювання.

Об'єкт дослідження – технологія деревинно-композиційних плит.

Предмет дослідження – технологічний процес виготовлення деревинно-композиційного матеріалу на основі деревного компоненту, отриманого методом роздавлювання лісосічних відходів (гілок).

Методи досліджень. У дисертаційній роботі застосовано: експериментальні методи – для отримання фактичних значень фізичних, механічних та технологічних властивостей нового деревинно-композиційного матеріалу; методи емпіричних досліджень – для встановлення параметрів режимів пресування; метод планування експериментів – для встановлення регресійних залежностей величини деформації деревинно-композиційного матеріалу від параметрів пресування; ультразвуковий метод – для визначення модуля пружності матеріалу; методи статистичного аналізу – для обробки результатів експериментальних досліджень.

Наукова новизна одержаних результатів. На основі теоретичних положень механіки полімерів та експериментальних досліджень вирішено науково-практичне завдання ефективного використання лісосічних відходів шляхом застосування їх у якості деревного компоненту композиційного матеріалу отриманого методом роздавлювання.

Вперше запропоновано і обґрунтовано структуру деревинно-композиційних плит з плетив кількох фракцій із різною орієнтацією волокон.

Вперше розроблено реологічну модель багат шарового деревинно-композиційного матеріалу для оцінки часу формостабільності.

На основі імітаційного моделювання визначено раціональний режим пресування матеріалу з роздавлених гілок, що забезпечує необхідні фізико-механічні властивості та формостабільність деревинно-композиційних плит.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що вперше отримано деревинно-композиційний матеріал на основі різних фракцій деревного компоненту виготовленого методом роздавлювання та обґрунтовано доцільність його використання.

Отримані ґрунтовні результати фізичних, механічних і технологічних властивостей деревинно-композиційного матеріалу підтвердили його перспективність та альтернативність плитам OSB.

Розроблено спосіб виготовлення матеріалу із відходів деревини (патент України на корисну модель № 80313) та покриття для підлоги (патент України на корисну модель № 90937).

Результати виконаних досліджень у вигляді технологічного регламенту з виготовлення деревинно-композиційного матеріалу прийнято до використання у ВП НУБіП України «Боярська ЛДС» та ТОВ «Калинівський ЕЗДМ».

Отримані результати досліджень використовуються в навчальному процесі кафедри технології деревообробки під час викладання дисциплін «Технологія конструкційних матеріалів», «Актуальні проблеми механічного оброблення деревини», «Технологія деревинно-композиційних матеріалів».

Особистий внесок здобувача. Визначення актуальності теми, формування мети і завдань досліджень здійснено здобувачем разом із науковим керівником, результати дисертаційної роботи належать авторові. [4, 8, 16] – проведено огляд і аналіз літературно-інформаційних джерел щодо існуючих відходів у деревообробній галузі та шляхів їх використання; [1, 2, 3, 7, 12, 13, 15, 17] – проаналізовано подібні композиційні матеріали та деревний наповнювач для них; [5, 9, 10, 11] – розроблено технологічний процес виготовлення деревинно-композиційного матеріалу та наведено конструкційні особливості пристрою для операції роздавлювання тонкомірної сировини; [6, 12, 13, 15, 14, 18] – наведено результати імітаційного моделювання з визначення раціональних режимів пресування; [19, 20, 21, 22] – здійснено планування і проведено експериментальні дослідження з визначення фізико-механічних властивостей матеріалу та аналіз їх результатів; зроблено висновки щодо результатів дисертаційної роботи та подано технологічний регламент щодо їх практичного застосування.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на: засіданнях кафедри технології деревообробки Національного університету біоресурсів і природокористування України (м. Київ, 2013–2017 рр.); міжнародних наукових і науково-практичних конференціях: «Актуальні проблеми наук про життя та природокористування» (м. Київ, 2011 р.); Всеукраїнська студентська наукова конференція (м. Київ, 2011 р.); «Ліс, довкілля, технології: наука та інновації» (м. Київ, 2012 р.); «Ліси, парки, технології: сьогодення та майбутнє» (м. Київ, 2013 р.); «Екологічнобезпечні ресурсозберігаючі технології оброблення деревини» (м. Київ, 2013 р.); «Adhesives in woodworking industry» (м. Зволен, Республіка Словаччина, 2013 р.) «Лісове і садово-паркове господарство ХХІ сторіччя: актуальні проблеми та шляхи їх вирішення» (м. Київ, 2014 р.); «Біоресурси лісових та урбанізованих екосистем: відтворення, збереження і раціональне використання» (м. Київ, 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.).

Публікації. Основні результати роботи опубліковано в 22 наукових працях, з яких 5 статей у наукових фахових виданнях України, стаття у науковому фаховому виданні України, включеному до міжнародних наукометричних баз даних, стаття у науковому виданні іншої держави, стаття в іншому виданні, 2 патенти України на корисну модель, 12 тез наукових доповідей.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, висновків та рекомендацій, списку використаних джерел, який містить 185 найменувань, та 6 додатків. Загальний обсяг роботи становить 180 сторінок друкованого тексту, що включає в себе 28 рисунків і 35 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано доцільність та актуальність теми дисертації, визначено мету та завдання дослідження, показано наукову новизну і практичну цінність одержаних результатів, наведено дані про апробацію отриманих результатів та визначено особистий внесок здобувача.

У першому розділі «**Стан питання**» наведено аналіз літературних джерел із теми дисертаційної роботи та визначено напрям досліджень.

У розділі проведено аналіз утворення та використання деревних відходів, який свідчить, що повне та раціональне використання лісових ресурсів є важливим завданням деревообробної галузі. Зроблено висновок, що відходи деревообробки сьогодні ефективно використовуються, проте лісоматеріали малих діаметрів, в тому числі відходи лісозаготівель та від рубок догляду, досі не знайшли гідного застосування. Використання їх у якості композиційного матеріалу замість спалювання на лісосіці сприятиме покращенню екологічної ситуації.

За результатами аналізу досліджень встановлено, що у більшості розглянутих матеріалів у якості деревного компонента використовуються деревні часточки, отримані різанням. Їх виготовляють двома способами: отримуючи стружки з лісоматеріалу, або – щепу з наступним подрібненням її на стружку чи волокно. При цьому використання тонкомірної деревини обмежується через наявність у ній великої кількості кори, що суттєво знижує міцність композиційних матеріалів.

З робіт Г. М. Шварцмана, Є. А. Михайлова визначено, що довжина деревних частинок сприяє збільшенню міцності плит, однак Г. І. Гарасевич, А. О. Семеновський зазначають, що при довжині частинок, більше 40 мм, ускладнюється робота технологічного обладнання.

Збільшення довжини волокон сприяє зростанню внутрішніх напружень в композиційній плиті у процесі пресування, а отже і залишкових деформацій при технологічній витримці. За даними Я. І. Соколовського, А. О. Семеновського, Г. І. Гарасевича впливає, що зменшенню внутрішніх напружень сприяє використання вищих температур пресування.

З робіт В. І. Федюкова, В. Н. Куріцина, С. З. Сагаля та ін. відомо, що однією з найголовніших механічних властивостей деревинно-композиційних матеріалів є модуль пружності.

На основі результатів виконаного аналізу обґрунтовано актуальність теми, визначено мета та завдання дослідження.

Другий розділ «**Теоретичні передумови процесу пресування композиційного матеріалу**» присвячено теоретичному обґрунтуванню процесів, які відбуваються у композиційному матеріалі під час пресування.

За миттєвого навантаження постійною силою під час пресування одночасно виникають пружні ε_{np} і пластичні ε_{nl} деформації. З часом розвиваються еластичні ε_e деформації. Сумарну деформацію деревини від навантаження можна представити як суму деформацій ε_{np} , ε_{nl} , ε_e :

$$\varepsilon = \varepsilon_{np} + \varepsilon_{nl} + \varepsilon_e . \quad (1)$$

При знятті навантаження пружні деформації відновлюються швидко, пластичні – через деякий час. Процес відновлення відбувається повільніше, ніж при навантаженні, тому після закінчення часу навантаження, еластичні деформації не встигають повністю відновитися, перетворюючись у залишкові.

Реологічна модель тришарового композиційного матеріалу, що складається з двох однакових за площиною зовнішніх шарів і одного внутрішнього, складається для кожного шару з пружного тіла і тіла Кельвіна (рис. 1).

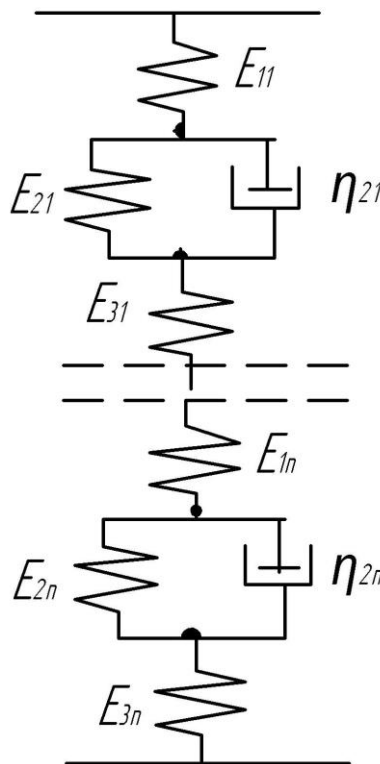


Рис. 1. Реологічна модель багатошарового композиційного матеріалу

Для визначення пружних деформацій тришарового композиційного матеріалу запропоновано вираз:

$$\varepsilon_{np} = \frac{\sigma}{E} = \frac{\sigma}{2 \left(v_{306}^2 \cdot \frac{m_{306}}{b_{306} \cdot l_{306} \cdot h_{306}} \right) \cdot f_{306} + \left(v_{6H}^2 \cdot \frac{m_{6H}}{b_{6H} \cdot l_{6H} \cdot h_{6H}} \right) \cdot f_{6H}}, \quad (2)$$

де f_{306} – відносна частка зовнішнього шару, %;

$f_{6H} = 100 - f_{306}$ – об'ємна частка внутрішнього шару, %;

v – швидкість звуку, м/с;

$l_{306}, l_{6H}, b_{306}, b_{6H}, h_{306}, h_{6H}$ – розміри зовнішнього та внутрішнього шарів, мм;

m_{306}, m_{6H} – маса зовнішнього та внутрішнього шарів, кг;

σ – навантаження, МПа;

E – модуль пружності, МПа, який можна визначити механічним або акустичним методом.

У разі використання останнього необхідно виміряти швидкість звуку, v , м/с, у досліджуваному матеріалі та густину деревинно-композиційного матеріалу ρ , кг/м³:

$$E = v^2 \cdot \rho. \quad (3)$$

Оскільки величина пластичної деформації є незначною і становить не більше 3 % від величини загальної деформації, тому нею можна знехтувати. Враховуючи, що на величину деформації впливають режими пресування: p – тиск; t – температура; τ – час витримки під тиском, вираз для визначення сумарної деформації матеріалу буде мати вигляд:

$$\varepsilon = \varepsilon_{np}(p, t, \tau_{вит}) + \int_{\tau_{min}^{rel}}^{\tau_{max}^{rel}} \varepsilon_{зал}(p, t, \tau_{вит}) d\tau^{rel}. \quad (4)$$

Формостабілізація матеріалу після дії навантаження досягається технологічною витримкою. Для підвищення продуктивності ця витримка має бути мінімальною (рис. 2). На її тривалість впливає режим пресування, раціональні параметри якого сприяють зменшенню залишкових деформацій:

$$\varepsilon_{зал} = \frac{\sigma}{E_{січ}} \cdot (1 - e^{-E_{січ} \cdot \frac{\tau}{\eta_2}}); \quad (5)$$

Час релаксації залишкових деформацій може бути визначений за формулою:

$$\tau = \ln \left(\frac{-B \sqrt{1 - \frac{\varepsilon_e}{A}}}{A} \right) = \ln \left(\frac{1}{\left(1 - \frac{\varepsilon_{зал} \cdot E_{січ}}{\sigma} \right)^{\frac{1}{0,05}}} \right). \quad (6)$$

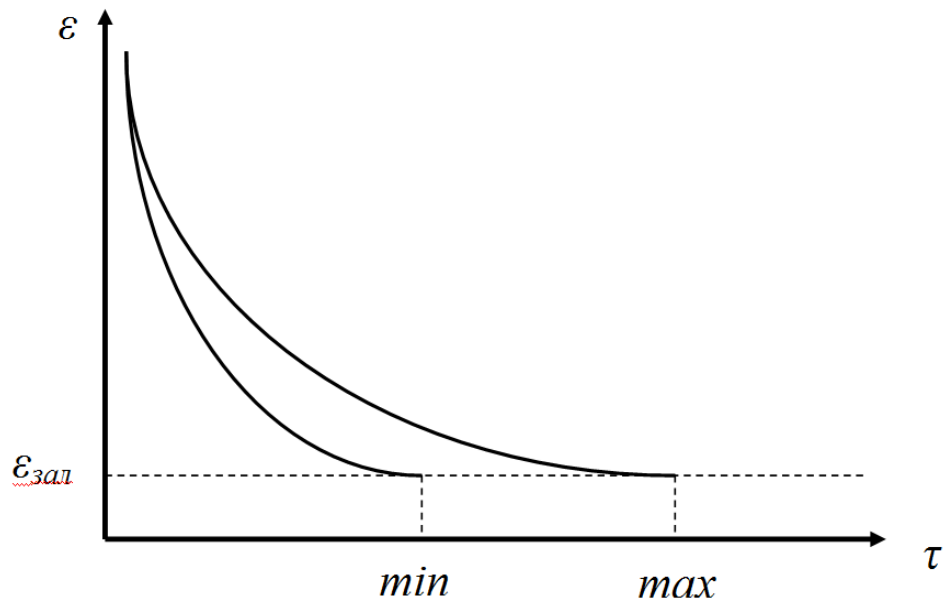


Рис. 2. Визначення часу формостабілізації

Таким чином, залежно від режимів пресування можна визначити час формостабілізації матеріалу і обрати той режим, який забезпечує мінімальну витримку.

У третьому розділі «**Методика експериментальних досліджень**» наведено етапи технологічного процесу отримання деревинно-композиційного матеріалу, методичні принципи проведення експериментальних досліджень (рис. 3) та методики з визначення фізичних, механічних і технологічних властивостей.

Для отримання деревного компонента методом роздавлювання використано експериментальну лабораторну установку (рис. 4).



Рис. 4. Експериментальна установка для роздавлювання тонкоміру



Рис. 3. Блок-схема методичних принципів проведення експериментальних досліджень

Попередні дослідження показали доцільність розділення плетив на дві групи: товщиною від 1 до 5 мм – «тонкі» волокна та від 6 до 10 мм – «товсті» волокна (рис. 5).



Рис. 5. Плетиво волокон, отримане після роздавлювання: а – середня товщина елементів плетив 1–5 мм, б – середня товщина елементів плетив 6–10 мм.

Після роздавлювання зразки плетив були висушені в лабораторній конвективній сушильній камері до вологості 4 %.

Осмолення деревного плетива виконували контактним методом. В якості в'язучого використано карбомідоформальдегідний та фенолформальдегідний клей. Кількість в'язучого для всіх зразків становила 12 % (у % до маси деревного компонента). Зібрані пакети проходили спочатку підпресовку в пресі з холодними плитами для підпресування ПММ-125, а потім пресування в пресі з нагрівальними плитами МС-2000.

Для пресування композиційного матеріалу на основі карбомідоформальдегідного в'язучого та плетива з деревного волокна тополі було вибрано режими, подібні тим, що застосовують під час виготовлення деревностружкових плит, але із підвищеним тиском, оскільки деревні волокна мають більшу товщину ніж деревні частинки:

- температура ($t=180\text{ }^{\circ}\text{C}$);
- тиск ($p=10\text{ МПа}$);
- час витримки ($\tau=6\text{ хв}$).

В результаті процесу пресування було отримано дереревино-композиційний матеріал (рис. 6, рис. 7) у вигляді плит розміром 330×330 мм, з паралельним та перпендикулярним розташуванням волокон (рис. 8, рис. 9). Надалі отримані плити було розрізано на зразки для визначення фізико-механічних властивостей.



Рис. 6. Деревинно-композиційний матеріал на основі карбомідоформальдегідної смоли



Рис. 7. Деревинно-композиційний матеріал на основі фенолформальдегідної смоли



Рис. 8. Одношаровий деревинно-композиційний матеріал



Рис. 9. Тришаровий деревинно-композиційний матеріал, з перпендикулярним розташуванням волокон

Для досліджень впливу змінюваних факторів (параметрів режиму пресування) на вхідну величину об'єкту (величину деформації), застосовано повний факторний аналіз з трьома варіаційними факторами: температура $t - x_1$, тиск $p - x_2$ та часу витримки $\tau - x_3$ (табл. 1).

Таблиця 1

**План експерименту з визначення параметрів режимів пресування
деревинно-композиційного матеріалу**

№ досліджу	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	$t, ^\circ\text{C}$	$p, \text{МПа}$	$\tau, \text{хв}$
1	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	200	12	8
2	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	160	12	8
3	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	200	8	8
4	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	160	8	8
5	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	200	12	7
6	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	160	12	7
7	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	200	8	7
8	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	160	8	7

У четвертому розділі «Результати експериментальних досліджень» наведено результати досліджень із визначення циклів роздавлювання гілок, результати фізичних, механічних та технологічних властивостей деревинно-композиційного матеріалу, а також визначення впливу параметрів режиму пресування на його деформативність та формостабільність після процесу пресування.

Для виконання досліджень із визначення циклів роздавлювання використано зразки гілок деревини тополі довжиною 1 м, діаметром від 15 до 30 мм та вологістю 95 %. За середніми діаметрами зразки було поділено на 4 групи: 15, 20, 25, 30 мм. Роздавлювання гілок відбувалося до тих пір, доки не було отримано плетиво з волокон товщиною 1–10 мм (табл. 2).

Таблиця 2

**Результати досліджень з визначення циклів роздавлювання
гілок різних діаметрів**

Діаметр зразків, мм	від 13 до 17		від 18 до 22		від 23 до 27		від 28 до 32	
Кількість циклів роздавлювання, шт.	3	4	3	4	4	5	5	6
Товщина плетив, мм	6–10	1–5	6–10	1–5	6–10	1–5	6–10	1–5

Експериментальні дослідження з визначення густини показали, що композиційний матеріал має середню густину ($\rho_{\text{дкм}}=665 \text{ кг/м}^3$) яка наближена до плит OSB ($\rho_{\text{OSB}}=650 \text{ кг/м}^3$). Це дає можливість надалі зіставляти фізичні та механічні властивості отриманого деревинно-композиційного матеріалу та плит OSB.

Дослідження з визначення водопоглинання та розбухання у воді за товщиною було проведено на зразках виготовлених на основі карбомідоформальдегідного і фенолформальдегідного в'язучого, які довели переважну водостійкість останнього. Тому, повторні дослідження проводили зі зразками на основі фенолформальдегідного в'язучого.

Для визначення раціональної конструкції композиційного матеріалу проведено експеримент з виготовлення плит різної структури (табл. 3) на основі карбомідоформальдегідного та фенолформальдегідного в'язучого та визначення їх механічних властивостей (рис. 10, рис. 11).

Таблиця 3

Позначення плит різної структури

Позначення	Структура плити
Тип А	Тришарова плита, в зовнішні шарах якої розташовані «тонкі» волокна, а у внутрішніх – «товсті». Орієнтування волокон – паралельне
Тип Б	Одношарова плита з «товстих» волокон (6–10 мм)
Тип В	Двошарова плита з «тонких» волокон, які розташовані перпендикулярно
Тип Г	Одношарова плита з «тонких» волокон (1–5 мм)

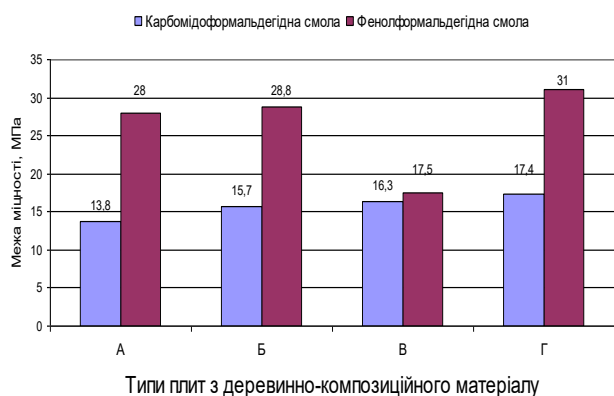


Рис. 10. Середні значення межі

міцності під час згинання різних типів плит

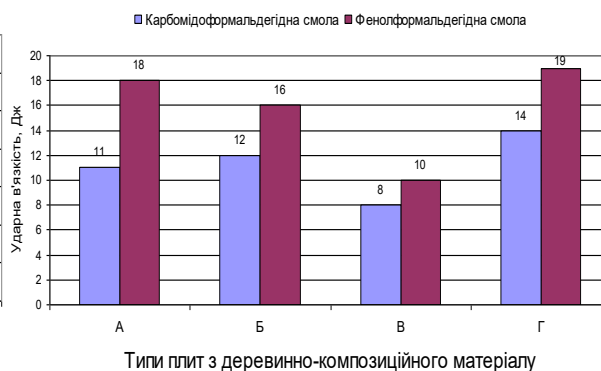


Рис. 11. Середні значення

ударної в'язкості різних типів плит

Аналіз проведених досліджень впливу структури деревинно-композиційних плит із різним в'язучим показав, що показники композиційного матеріалу виготовленого на фенолформальдегідному в'язучому в дослідженнях з визначення межі міцності та ударної в'язкості є вищими на 20–30 %, ніж у зразках на карбомідоформальдегідному в'язучому. Зразки одношарових плит втрачали формостійкість та розламувались уздовж волокон, а двошарові плити втрачали плоску форму. Отже, для отримання формостійкого матеріалу слід використовувати тришарові плити із взаємоперпендикулярним розташуванням волокон. Наступна серія досліджень полягала в отриманні тришарової плити на фенолформальдегідному в'язучому з перпендикулярним розташуванням волокон і визначенні доцільності використання різних розмірів волокон та визначенні модуля пружності композиційного матеріалу неруйнівним методом. Для другої серії дослідів було виготовлено наступні плити (табл. 4).

Таблиця 4

Позначення тришарових плит різної структури

Позначення	Структура плити
Тип I	Тришарова плита з «тонких» волокон (1–5 мм)
Тип II	Тришарова плита з «товстих» волокон (6–10 мм)
Тип III	Тришарова плита, зовнішні шари з «тонких» волокон, внутрішні з «товстих» волокон
Тип IV	Тришарова плита, зовнішні шари з «товстих» волокон, внутрішні з «тонких» волокон

Доцільність використання різних розмірів волокон визначали на основі досліджень межі міцності та модуля пружності при статичному згинанні (рис. 12, рис. 13).

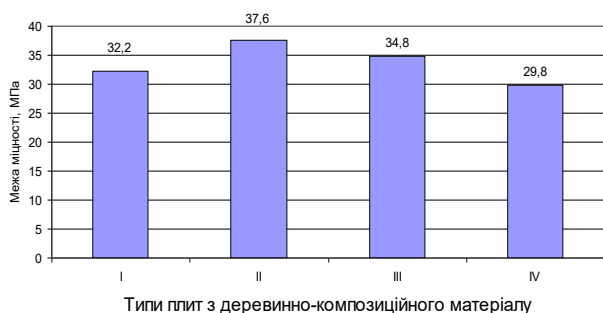


Рис. 12. Середні значення межі міцності під час згинання різних типів тришарової плити

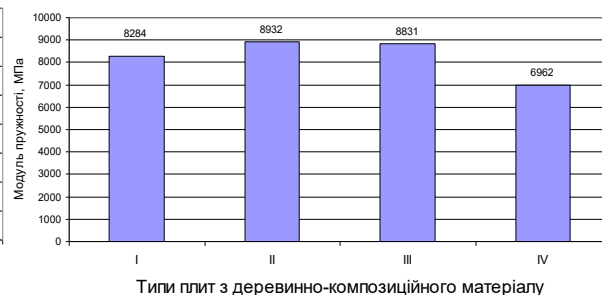


Рис. 13. Середні значення модуля пружності під час згинання різних типів тришарової плити

За результатами досліджень межі міцності та модуля пружності механічним методом було відмічено, що у перших трьох групах зразків плит межа міцності та модуль пружності приблизно однакові. У четвертій групі зразків ці показники на 20 % нижчі. Це обумовлено використанням тонких волокон у середньому шарі матеріалу, які не забезпечують належної міцності та пружності матеріалу. Тому для полегшення технологічного процесу та зниження його собівартості для виготовлення нового деревинно-композиційного матеріалу можна рекомендувати застосування волокон однакової товщини.

Дослідження модуля пружності нового деревинно-композиційного матеріалу за допомогою ультразвукового методу було виконано за допомогою ультразвукового дефектоскопа УК-10ПМС та порівняно з механічним методом (рис. 14).

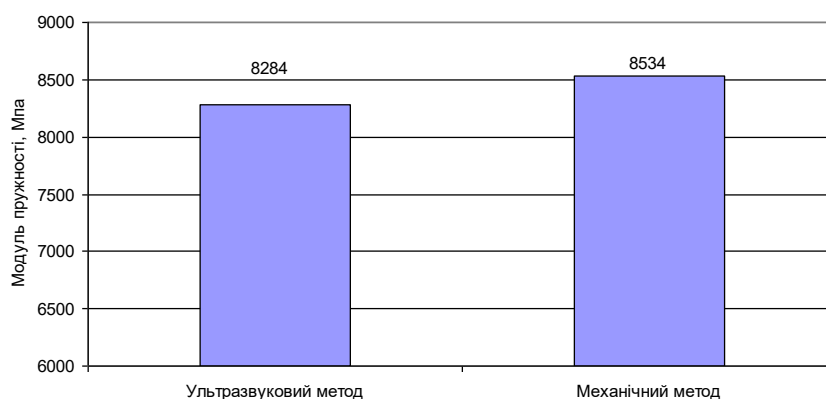


Рис. 14. Середні значення модуля пружності, визначеного ультразвуковим та механічним методами на фенолформальдегідному в'язучому

Розбіжність середніх значень модулів пружностей визначених ультразвуковим та механічним методами знаходиться в межах 20 %, тому запропоновано ввести перевідний коефіцієнт:

$$E_m = 1,2E_{узв} \cdot \quad (7)$$

Це свідчить про допустимість використання ультразвукового методу для визначення деформацій композиційного матеріалу у процесі пресування.

На основі результатів досліджень за повним факторним планом експерименту 2^3 (див. табл. 1) було отримано адекватні регресійні залежності у нормалізованих значеннях величини сумарних деформацій деревинно-композиційного матеріалу від режимів пресування:

$$\varepsilon = 3,67 - 0,66x_1 + 0,62x_2 + 0,49x_2x_3 - 0,43x_1x_2x_3, \quad (8)$$

де x_1 – температура пресування, $^{\circ}\text{C}$; x_2 – тиск, МПа; x_3 – час витримки, хв.

Проведені розрахунки з визначення сумарних деформацій за різних режимів пресування показали (рис. 15, рис. 16), що досягнути найменшої деформації можна за таких режимних параметрів: $t=200^{\circ}\text{C}$ і $p=8$ МПа.

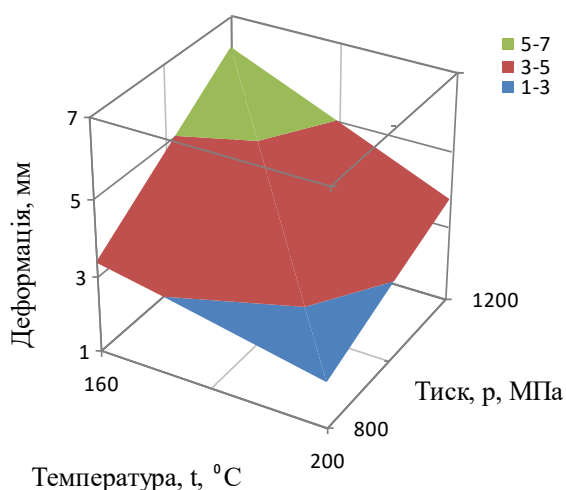


Рис. 15. Залежність величини деформації композитного матеріалу від температури та тиску для витримки 7 хв

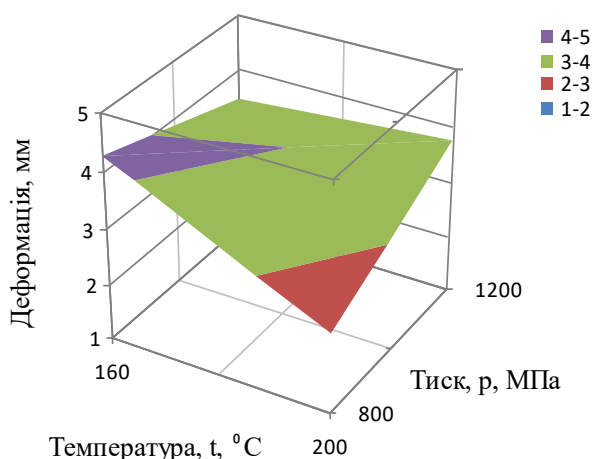


Рис. 16. Залежність величини деформації композитного матеріалу від температури та тиску для витримки 8 хв

Результати розрахунку часу формостабілізації зразків після пресування показали (рис. 17), що менший час релаксації мали зразки запресовані вищенаведеним режимом. Це підтверджує раціональність визначених параметрів режиму пресування.

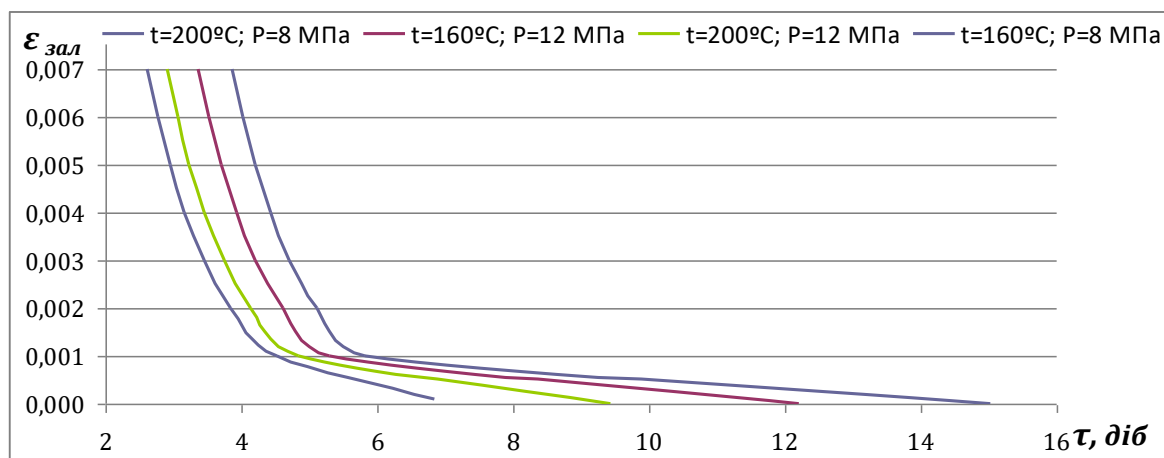


Рис. 17. Середні значення тривалості формостабілізації деревинно-композиційного матеріалу при різних режимах пресування

П'ятий розділ «Технологічний регламент та економічна оцінка деревинно-композиційного матеріалу» присвячено розробленню технологічного регламенту з технології отримання деревинно-композиційного матеріалу з лісосічних відходів та визначенню його ефективності.

Технологічний регламент включає в себе вказівки до процесу роздавлювання деревної сировини (гілок), сушіння отриманих плетив деревного волокна, проклеювання, формування та пресування пакетів композиційного матеріалу, а також конструкційні рішення відповідного устаткування.

Проведено порівняння основних властивостей та технологічних процесів отримання деревинно-композиційного матеріалу та плит OSB (табл. 6).

Таблиця 6

Властивості та етапи технологічного процесу виготовлення плит OSB і запропонованого деревинно-композиційного матеріалу

Матеріал	Плити OSB	Деревинно-композиційний матеріал
Розміри волокон, мм		
– довжина	60–90	Будь-яка (1000)
– товщина / ширина	0,3–0,6/5–12	1–10
Густина, кг/м ³	610–670	640–800
Межа міцності при статичному згинанні, МПа	18–28	30–37,5
Модуль пружності, МПа	2500–4800	7000–10000
Режим пресування:		
– тиск, МПа	2–2,5	8–12
– температура, °C	170–200	160–200
– час витримки, хв	5–7	7–8
Технологічний процес	<ul style="list-style-type: none"> – сортування сировини – розкрій на оцупків – стругання на стружкових верстатах – сортування стружки – сушіння – осмолення – формування килима – пресування 	<ul style="list-style-type: none"> – сортування сировини – роздавлювання – сушіння – осмолення – формування килима – пресування

Визначено, що у технологічному процесі виготовлення запропонованого деревинно-композиційного матеріалу у порівнянні з орієнтовано-стружковими плитами відсутні операції розкрою оцупків (гілок) та сортування стружки (волокон). Це обумовлено відсутністю необхідності перерізання деревної сировини та сортування отриманих волокон, У новому деревинно-

композиційному матеріалі використано волокна максимальної довжини та одного розміру.

Розрахунок собівартості 1 м² деревинно-композиційного матеріалу включає: вартість сировини; витрати на в'язуче; витрати електроенергії на операції роздавлювання, сушіння та пресування. Собівартість 1 м² деревинно-композиційного матеріалу становить 71,83 грн, що в порівнянні з плитами OSB (78,4 грн) є меншою на 6,57 грн.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота присвячена розв'язанню актуального науково-практичного завдання ефективного використання відходів лісозаготівель шляхом застосування їх у якості деревного компонента деревинно-композиційного матеріалу, отриманого методом роздавлювання.

1. Аналіз літературних джерел свідчить про необхідність та можливість підвищення ефективності раціонального використання відходів лісозаготівель у процесі виготовлення деревинно-композиційних матеріалів.

2. Розроблено технологічний процес виготовлення деревинно-композиційного матеріалу з лісосічних відходів – гілок тополі та його параметри. Особливістю процесу є використання деревної компоненти з цілісних деревних волокон отриманих шляхом роздавлювання гілок.

3. Розроблено реологічну модель тришарового композиційного матеріалу із роздавлених гілок яка складається із пружного та еластичного тіла кожного шару. Реалізація моделі дозволяє визначити час релаксації матеріалу після пресування різними режимами.

4. Для аналітичного визначення величини залишкових деформацій пресованого деревинно-композиційного матеріалу використано правило сумішей, що дозволяє визначити деформаційні перетворення плити як багатошарової конструкції. Розроблено імітаційну модель розрахунку величини залишкових деформацій, за допомогою якої можна спрогнозувати максимальну формостабільність плити з різних за масою та розмірів шарів залежно від параметрів режимів пресування.

5. На основі експериментальних досліджень способів розташування волокон із різними розмірами елементів плетив та виду в'язучого визначено, що використання карбомідоформальдегідного в'язучого є недоцільним оскільки вироби з нього не є вологостійкими і мають на 20 % менші показники механічних властивостей, ніж плити з фенолформальдегідною смолою; недоцільним є використання одношарового та двошарового матеріалу для виготовлення плит тому, що вони втрачають пласку форму одразу після пресування.

6. Проведені експериментальні дослідження фізичних, механічних та технологічних властивостей деревинно-композиційного матеріалу дозволили визначити його раціональні параметри: товщину деревного волокна – 6–10 мм, тип в'язучого – фенолформальдегідна смола, структуру – тришарова із взаємно перпендикулярним розташуванням волокон. Отримані адекватні регресійні

моделі залежності деформативності деревинно-композиційних плит від параметрів режимів пресування – температури, тиску та часу витримки під тиском, дозволили визначити раціональний режим пресування, за якого можна досягнути мінімального деформування плит після пресування та часу формостабілізації: температура $t=200$ °С, тиск $p=8$ МПа, час $\tau=7$ хв.

7. Визначені експериментальним шляхом значення межі міцності та модуля пружності при згині отриманого матеріалу (густиною 665 кг/м³) є більшими на 25 та 77 % відповідно за ці ж показники для плит OSB підвищеної міцності (густиною 650 кг/м³). Ефективність використання деревинно-композиційних плит з роздавлених гілок, які можуть бути альтернативою плитам OSB як за вартісною складовою, так і за спрощеним технологічним процесом, полягає у покращенні екологічного стану лісосік та більш повному використанні деревної сировини.

8. Розроблений технологічний регламент з виготовлення деревинно-композиційного матеріалу впроваджено на двох підприємствах: ВП НУБіП України «Боярська ЛДС» та ТОВ «Калинівський ЕЗДМ». Розрахункова вартість 1 м² дослідного зразка композиційного матеріалу з деревних волокон, отриманих методом роздавлення гілок тополі становить 71,83 грн, що є меншим на 6,57 грн промислово виготовленого 1 м² плит OSB.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Малахова О. С., **Лакида Ю. П.** Аналіз впливу параметрів структури матеріалів, виготовлених пресуванням деревинно-клейової композиції, на їх механічні властивості // *Современные строительные конструкции из металла и древесины*. 2012. № 16. Ч. 1. С. 147–152. *(Здобувачем особисто проведено та опрацьовано результати експериментальних досліджень)*.

2. Лакида Ю. П. Аналіз характеристик деревинного компоненту композиційних матеріалів // *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2012. Вип. 123. С. 115–120.

3. Малахова О. С., **Лакида Ю. П.** Залежність механічних властивостей пресованої деревинно-клейової композиції від структурних параметрів // *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2013. Вип. 136. С. 16–24. *(Здобувачем особисто проведено та опрацьовано результати експериментальних досліджень)*.

4. Малахова О. С., **Лакида Ю. П.** Аналіз деревних відходів та шляхів використання тонкомірної деревини // *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України*. 2013. Вип. 39.1. С. 122–125. *(Здобувачем особисто поставлено завдання раціонального використання деревини)*.

5. Малахова О. С., **Лакида Ю. П.** Обговорення методичних аспектів дослідження технології виготовлення деревинного компоненту методом роздавлення // *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2013.

Вип. 185. Ч. 2. С. 264–271. *(Здобувачем особисто проведено та опрацьовано результати експериментальних досліджень).*

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

6. Пінчевська О. О., **Лакида Ю. П.** Обґрунтування структури нового композиційного матеріалу // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво. 2016. Вип. 238. С. 260–267. *(Здобувачем особисто проведено та опрацьовано результати експериментальних досліджень).*

Стаття у науковому виданні іншої держави

7. Ольга Малахова, **Юрій Лакида.** Анализ показателя структурно-механической неоднородности древесины // Annals Warsaw University of Life Sciences. SGGW Forestry and Wood Technology. 2012. № 78. P. 224–227. *(Здобувачем особисто проведено та опрацьовано результати експериментальних досліджень).*

Стаття в іншому виданні

8. Малахова О. С., **Лакида Ю. П.** Пути рационального использования древесных отходов // Оборудование и инструмент для профессионалов. 2012. № 3 (145). С. 67–68. *(Здобувачем особисто проведено аналіз існуючих деревних відходів).*

Патенти на корисну модель:

9. Патент на корисну модель № 80313 Україна, МПК (2013.01) B07B 13/00. Спосіб виготовлення матеріалу із відходів деревини. Сірко З. С., **Лакида Ю. П.**; заявник та патентовласник Національний університет біоресурсів і природокористування України. № 2012 u 12971; заявлено 14.11.2012; опубліковано 27.05.2013; Бюл. № 10. *(Здобувачем особисто запропоновано формулу винаходу на корисну модель).*

10. Патент на корисну модель № 90937 Україна, МПК (2014.01) E04F 15/00. Покриття для підлоги. Сірко З. С., **Лакида Ю. П.**; заявник та патентовласник Національний університет біоресурсів і природокористування України. № 2014 u 01088; заявлено 05.02.2014; опубліковано 10.06.2014, Бюл. № 11. *(Здобувачем особисто запропоновано формулу винаходу на корисну модель).*

Тези наукових доповідей:

11. Малахова О. С., **Лакида Ю. П.** Аналіз передумов виробництва деревного композиційного матеріалу з тонкомірної сировини // Актуальні проблеми наук про життя та природокористування: Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, м. Київ, 26–29 жовтня 2011 року: тези доповіді. К., 2011. С. 92–93. *(Здобувачем здійснено опрацювання дослідних даних і аналіз результатів).*

12. Лакида Ю. П. Обґрунтування ефективності впровадження новітніх матеріалів на основі деревини у виготовленні меблевих виробів // Всеукраїнська студентська наукова конференція, м. Київ, 2011 рік: тези доповіді. К., 2011. С. 251–252.

13. Лакида Ю. П. Щодо дослідження процесу роздавлювання тонкомірної деревини // Ліс, довкілля, технології: наука та інновації: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 29 березня 2012 року: тези доповіді. К., 2012. С. 281–282.

14. Малахова О. С., **Лакида Ю. П.** Аналіз характеристик композиційних матеріалів // Ліси, парки, технології: сьогодення та майбутнє: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 28–29 березня 2013 року: тези доповіді. К., 2013. С. 217–218. *(Здобувачем особисто проведено аналіз існуючих композиційних матеріалів).*

15. Малахова О. С., **Лакида Ю. П.** Шляхи використання деревних відходів // Екологічнобезпечні ресурсозберігаючі технології оброблення деревини: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 24–27 вересня 2013 року: тези доповіді. К., 2013. С. 20–22. *(Здобувачем особисто проведено аналіз існуючих деревних відходів).*

16. Olena Pinchevska, **Yuriy Lakyda.** On importance of characteristics of wood component of composition materials // Adhesives in woodworking industry: XXI Symposium. Zvolen. 2013. P. 178–181. *(Здобувачем особисто проведено та опрацьовано результати експериментальних досліджень).*

17. Лакида Ю. П. Аналіз клеїв, що застосовуються у виробництві композиційних матеріалів // 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. 211–212.

18. Малахова О. С., **Лакида Ю. П.** Обґрунтування застосування комплексної характеристики розмірних параметрів деревного компоненту композиційних матеріалів // 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. 217–218. *(Здобувачем здійснено опрацювання дослідних даних і аналіз результатів).*

19. Лакида Ю. П. Щодо перспективності використання нового композиційного матеріалу // 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. 190.

20. Лакида Ю. П. Щодо необхідності виготовлення нового композиційного матеріалу використовуючи різні розмірні параметри // Виклики ХХІ століття та їхнє вирішення у лісовому комплексі й довкіллі: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 7–9 жовтня 2015 року: тези доповіді. К., 2015. С. 226.

21. Пінчевська О. О., **Лакида Ю. П.** Щодо результатів досліджень нового композиційного матеріалу // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем: VI Міжнародна науково-практична конференція, м. Чернігів, 26–29 квітня 2016 року: тези доповіді. Чернігів, 2016. С. 156–157. *(Здобувачем особисто проведено та опрацьовано результати експериментальних досліджень).*

22. Пінчевська О. О., **Лакида Ю. П.** Щодо дослідження модуля пружності композиційного матеріалу механічним та акустичним методом // Актуальні проблеми лісового сектору та садово-паркового господарства: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 14–15 квітня 2016 року: тези доповіді. К., 2016. С. 186. *(Здобувачем особисто проведено та опрацьовано результати експериментальних досліджень).*

АНОТАЦІЯ

Лакида Ю. П. Технологічні особливості виготовлення деревного компоненту композиційного матеріалу. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.23.06 «Технологія деревообробки, виготовлення меблів та виробів з деревини». – Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, 2017.

Дисертаційну роботу присвячено розв'язанню актуального науково-практичного завдання – ефективного використання лісосічних відходів шляхом застосування їх у якості деревного компоненту композиційного матеріалу, отриманого методом роздавлювання. Експериментальним шляхом визначено фізико-механічні властивості отриманого матеріалу з плетив кількох фракцій із різною орієнтацією волокон та на основі різного в'язучого, що дало можливість обґрунтувати структуру деревинно-композиційних плит і підтвердили його перспективність та альтернативність плитам OSB. Розроблено реологічну модель багат шарового деревинно-композиційного матеріалу, та на основі імітаційного моделювання визначено раціональний режим пресування матеріалу з роздавлених гілок, що забезпечує найменші залишкові деформації після процесу пресування та формостабільність деревинно-композиційних плит. Результати виконаних досліджень реалізовано у вигляді технологічного регламенту з виготовлення деревинно-композиційного матеріалу прийнятого до впровадження на двох підприємствах.

Ключові слова: деревинно-композиційний матеріал, деревний компонент, роздавлювання гілок, лісосічні відходи, фізико-механічні властивості, режим пресування, формостабільність плит.

АННОТАЦИЯ

Лакида Ю. П. Технологические особенности изготовления древесного компонента композиционного материала. – На правах рукописи.

Диссертация 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, 2017.

Диссертационная работа посвящена решению актуальной научно-практической задачи – эффективного использования лесосечных отходов путем применения их в качестве древесного компонента композиционного материала, полученного методом раздавливания.

Проведенный анализ отходов, образующихся в лесозаготовительной отрасли показал, что значительную часть составляют отходы лесосек, которые представлены ветвями и верхушками деревьев. В основном они сжигаются в местах лесозаготовок и не используются в производстве плитных материалов из-за высокого удельного содержания коры и отсутствия простых методов ее удаления.

Впервые предложено рассмотреть композиционный материал как трехслойный, который состоит из двух одинаковых по плоскости наружных слоев и одного внутреннего. Реологическая модель состоит из упругого тела и тела Кельвина каждого слоя, что позволяет определить время релаксации материала после прессования различными режимами.

Разработана имитационная модель расчета величины остаточных деформаций, с помощью которой можно спрогнозировать максимальную формостабильность плиты из различных по массе и размерам слоев в зависимости от параметров режимов прессования.

Разработан технологический процесс изготовления нового древесно-композиционного материала, который включил следующие операции: раздавливания сырья (ветвей), сушки полученного древесного волокна, проклейки, формирования пакетов, холодного подпрессования и горячего прессования материала. Полученный материал из волокон нескольких фракций с разной ориентацией волокон и на основе различного связующего, позволил обосновать структуру древесно-композиционных плит и подтвердить его перспективность и альтернативность плитам OSB.

Экспериментальным путем определены физико-механические свойства нового древесно-композиционного материала. Установлено, что материал имеет среднюю плотность 665 кг/м^3 , которая является приближенной к плитам OSB. Показатели водопоглощения и разбухания в воде по толщине составляли 77,5 и 18,7 % соответственно. Значение предела прочности и модуля упругости при изгибе полученного материала являются больше на 25 и 77 % соответственно этим показателям для плит OSB повышенной прочности.

На основе исследований механических свойств определено целесообразность использования фенолформальдегидного связующего, трехслойной структуры с взаимно перпендикулярным расположением волокон толщиной 6–10 мм.

Полученные адекватные регрессионные модели зависимости деформативности древесно-композиционных плит от параметров режимов прессования – температуры, давления и времени выдержки под давлением, позволили определить рациональный режим прессования, при котором можно

достичь минимального деформирования плит после прессования и времени формостабилизации: температура $t=200$ °С, давление $p=8$ МПа, время $\tau=7$ мин.

Проведенный сравнительный анализ технологических процессов изготовления плит OSB и нового древесно-композиционного материала показал упрощенность последнего отсутствием операций раскроя бревен (ветвей) и сортировки стружки. Расчет стоимости изготовления 1 м² опытного образца древесно-композиционного материала, составляет 71,83 грн, что на 6,57 грн меньше промышленно изготовленного 1 м² плит OSB.

Результаты выполненных исследований реализованы в виде технологического регламента по изготовлению древесно-композиционного материала, принятого к внедрению на двух предприятиях отрасли.

Ключевые слова: древесно-композиционный материал, древесный компонент, раздавливание ветвей, лесосечные отходы, физико-механические свойства, режим прессования, формостабильность плит.

ANNOTATION

Lakyda Yu. P. Technological peculiarities of production of wood component of engineered composite material. – The Manuscript.

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences, speciality 05.23.06 «Technology Wood Working, Furniture and Wood Products». – National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, 2017.

The dissertation is devoted to solving a topical scientific and practical task – efficient use of logging waste through their use as a wood component obtained by crushing for an engineered composite material. Physical and mechanical properties of material obtained from weavings of various fractions with different orientation of fibers and based on different types of binders were experimentally determined. The research described above has enabled substantiation of structure of the proposed composite wood-based panels and confirmed prospects for their future use as an alternative for oriented strand boards. A rheological model of multilayer wood-composite material was developed and based on simulation modeling a rational mode of pressing material from crushed branches were developed. The proposed pressing mode provides the lowest possible residual deformation after the pressing process and stability of form of the composite wood-based panels. Results of the research are being implemented as technological regulations for manufacture of the composite wood-based panels. The technological regulations are approved for implementation on two enterprises.

Key words: composite wood-based panels, wood component, crushing of branches, logging waste, physical and mechanical properties, pressing regime, form stability of plates.