

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

ФОРОС ВІКТОР ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 674.24:66.085.1

**ЗАКОНОМІРНОСТІ ВПЛИВУ ПОПЕРЕДНЬОГО ІНФРАЧЕРВОНОГО
ПРОГРІВАННЯ ПАКЕТІВ ШПОНУ НА ПРОЦЕС СКЛЕЮВАННЯ
ФАНЕРИ**

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

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2018

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано в Національному університеті біоресурсів і природокористування України Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник доктор технічних наук, професор
Бехта Павло Антонович,
Державний вищий навчальний заклад
Національний лісотехнічний університет України,
завідувач кафедри технологій
деревинних композиційних матеріалів,
целюлози та паперу

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Білик Сергій Іванович,
Київський національний університет
будівництва і архітектури,
завідувач кафедри металевих
та дерев'яних конструкцій

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

Захист відбудеться «20» лютого 2018 року о 13⁰⁰ 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 науковій бібліотеці Національного університету біоресурсів і природокористування України за адресою: 03041, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 13, навчальний корпус № 4, кімната 41а

Автореферат розіслано « » січня 2018 року

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Н. В. Буйських

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Склеювання є однією з найважливіших операцій в технологічному процесі виготовлення фанери. Під час її виконання формується структура та властивості готової продукції. Крім того, саме ця операція визначає продуктивність лінії з виготовлення фанери, а отже обсяги її виробництва. Тому прагнуть, щоб час пресування, який відводиться на виконання цієї операції, був якомога коротшим, але разом з тим достатнім для затвердіння клею, утворення необхідних клейових зв'язків, формування структури і фізико-механічних показників фанери. Зазвичай ця операція виконується в пресі, де тепло від його нагрітих плит завдяки теплопровідності передається пакету шпону. При цьому відбувається нерівномірне прогрівання останнього, особливо в крайовій зоні, по периметру якої за рахунок тепло- і масообмінних процесів, волога, яка частково вноситься у пакет разом із клеєм під час операції його нанесення, випаровується. Відповідно до цього, поки енергія витрачається на виведення вологи, температура всередині пакета не підвищується. Оскільки для початку поліконденсації клею температуру необхідно довести до певного рівня, то відповідно процес випаровування віддаляє досягнення необхідного значення температури, що і є причиною сповільнення процесу прогрівання. За такого способу прогрівання пакета шпону процес пресування прискорити складно. Підвищення температури пресування дає змогу швидше прогріти пакет шпону, але виникає небезпека перегрівання зовнішніх шарів і руйнування (деструкції) клейових зв'язків, вже утворених у зовнішніх шарах. Тому пошук і впровадження альтернативних способів прогрівання пакета шпону за якомога меншого часу, рівномірно й одночасно за всією товщиною пакета постає актуальною проблемою, яка має важливе практичне значення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційне дослідження є складовою частиною науково-дослідних робіт, які виконуються відповідно до одного з основних напрямів наукової діяльності кафедри технологій та дизайну виробів з деревини Національного університету біоресурсів і природокористування України.

Експериментальну частину роботи було виконано у Технічному університеті м. Зволен, Словачька Республіка, в рамках гранту «Improving of the physical and mechanical properties of plywood by preprocessing of veneer».

Мета та завдання дослідження. Мета дисертаційного дослідження – встановлення закономірностей впливу попереднього інфрачервоного прогрівання пакетів шпону на властивості фанери і розроблення на цій основі інноваційної технології виготовлення фанери за зменшеного часу пресування.

Для досягнення поставленої мети було сформовано та вирішено такі основні завдання:

– встановити можливість і довести доцільність попереднього прогрівання пакета шпону в спектрі інфрачервоного випромінювання перед операцією пресування фанери;

- обґрунтувати вибір джерела і основних параметрів інфрачервоного прогрівання, його вплив на перебіг процесу прогрівання пакета шпону;
- розробити математичну модель процесу прогрівання пакета шпону в спектрі інфрачервоного випромінювання для визначення зміни температури та вологовмісту у склеюваному пакеті шпону;
- розробити експериментальну установку та методику проведення експериментальних досліджень прогрівання пакета шпону в спектрі інфрачервоного випромінювання;
- дослідити кінетичні закономірності процесу прогрівання пакета шпону із застосуванням енергії інфрачервоного випромінювання;
- встановити закономірності впливу режимних параметрів інфрачервоного прогрівання пакета шпону та тривалості пресування на властивості фанери;
- запропонувати технічні рішення і конструкції пристроїв для проведення операції попереднього інфрачервоного прогрівання пакетів шпону;
- розробити інноваційний технологічний процес виготовлення фанери з операцією попереднього прогрівання пакетів шпону інфрачервоним випромінюванням.

Об'єкт дослідження – технологічний процес виготовлення фанери.

Предмет дослідження – закономірності впливу попереднього інфрачервоного прогрівання пакетів шпону на процес склеювання фанери.

Методи дослідження. У дисертації застосовано ряд методів проведення експериментальних досліджень. Зокрема, під час визначення властивостей фанери: фізичні методи дослідження – для встановлення розмірів і вологості шпону та фанери; механічні – для визначення міцності фанери на зріз; тепло- і масообмінні процеси – для дослідження кінетики прогрівання пакета шпону та математичне моделювання – з метою розроблення розрахункової моделі згаданого процесу. Задля зменшення системних похибок під час проведення дослідів використано метод рандомізації. Обробку отриманих експериментальних даних проведено методом статистичного аналізу результатів дослідження.

Наукова новизна одержаних результатів. На основі виконаних теоретичних і експериментальних досліджень доведено можливість попереднього прогрівання пакета шпону в спектрі інфрачервоного випромінювання перед операцією пресування фанери та одержано наступні результати, *вперше*:

- отримано кінетичні закономірності прогрівання пакета шпону із застосуванням інфрачервоного випромінювання, що дають змогу охарактеризувати зміну температури та вологовмісту всередині пакета шпону в будь-який момент процесу прогрівання та надати оцінку перебігу цього процесу;
- встановлено закономірності впливу режимних параметрів інфрачервоного прогрівання пакета шпону: густини теплового потоку, тривалості прогрівання в спектрі інфрачервоного випромінювання, тривалості пресування на міцність фанери на зріз;

– побудовано адекватну регресійну залежність міцності фанери на зріз від зміни параметрів інфрачервоного прогрівання пакета шпону: густини теплового потоку, тривалості прогрівання в спектрі інфрачервоного випромінювання, тривалості пресування, яка дає змогу обрати раціональні параметри прогрівання пакета шпону і пресування фанери. Одержана залежність може використовуватися у технологічних розрахунках, пов'язаних із виготовленням фанери.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблено рекомендації технологічних засад проведення операції попереднього прогрівання пакета шпону в спектрі інфрачервоного випромінювання перед пресуванням фанери. Така технологія дозволяє суттєво скоротити (1,3–3,3 рази) тривалість процесу склеювання фанери, що безумовно збільшує продуктивність фанерних виробництв разом з одночасним підвищенням якісних показників їх продукції.

Запропоновано спосіб виготовлення фанери із застосуванням інфрачервоного випромінювання з можливими варіантами обладнання та пристроїв для проведення операції попереднього інфрачервоного прогрівання пакетів шпону, а також лінію з виготовлення фанери (патенти України на корисні моделі № 108245; № 108245; № 107605).

Науково-технічні результати роботи рекомендовано для впровадження у виробництво виготовлення фанери із застосуванням операції попереднього прогрівання інфрачервоним випромінюванням пакетів шпону на ТзОВ «ФАНПЛИТ» (акт впровадження від 14.09.2017 р.).

Одержані результати дисертаційної роботи використовуються в навчальному процесі кафедри технологій та дизайну виробів з деревини Навчально-наукового інституту лісового і садово-паркового господарства Національного університету біоресурсів і природокористування України (акт впровадження від 14.09.2017 р.).

Особистий внесок здобувача полягає у встановленні основних причин сповільнення процесу склеювання фанери, узагальненні даних, аналізі можливих методів вирішення наявної проблематики [1, 7, 12]; виявленні впливу інфрачервоного випромінювання на терморадіаційні характеристики деревини [2, 6]. У співавторстві розроблено пристрої та спосіб виготовлення деревинних композиційних матеріалів [3, 8, 9, 10]; запропоновано технологію виготовлення фанери з попереднім інфрачервоним прогріванням пакетів шпону [4]; встановлено вплив параметрів інфрачервоного випромінювання на кінетику прогрівання пакета шпону [5]; розроблено висновки щодо результатів дисертаційної роботи та подано рекомендації щодо їх практичного застосування.

Апробація результатів дисертації. Матеріали роботи доповідалися та обговорювалися на: наукових семінарах кафедри технології деревообробки (нині – кафедра технологій та дизайну виробів з деревини) НУБіП України (м. Київ, 2013–2016 рр.); наукових семінарах кафедри технологій деревинних композиційних матеріалів, целюлози та паперу Державного вищого навчального закладу Національний лісотехнічний університет України (м. Львів, 2013–2016 рр.); Міжнародній науково-практичній конференції

«Лісове і садово-паркове господарство ХХІ сторіччя: актуальні проблеми та шляхи їх вирішення» (м. Київ, 2014 р.); Міжнародній науковій конференції «Дерево-оброблювальні технології та системотехніка лісового комплексу» (м. Харків, 2016 р.).

Публікації. Основні результати дослідження повною мірою представлено в 11 наукових працях, з яких 3 статті у наукових фахових виданнях України, 2 статті у наукових фахових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз даних, 2 статті в інших наукових виданнях, 3 патенти України на корисну модель та тези наукової доповіді.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з анотацій, вступу, п'яти розділів, висновків та рекомендацій, списку використаних джерел, який містить 178 найменувань, та 6 додатків. Загальний обсяг роботи становить 187 сторінок. Дисертація містить 49 рисунків та 10 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

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

У першому розділі «**Передумови застосування інфрачервоного випромінювання у процесі склеювання фанери**» коротко проаналізовано перебіг процесів, що відбуваються під час склеювання фанери, та їх вплив на тривалість пресування і міцність склеювання. Охарактеризовано методи, які дають змогу інтенсифікувати процес склеювання фанери, а саме: попереднє холодне підпресування пакетів шпону, багатоступеневе нашарування шпону, використання перфорованих плит преса, модифікування рецептури клею, попереднє ущільнення шпону, струми високих частот, інфрачервоне випромінювання тощо. Розглянуто існуючі типи та наведено основні характеристики інфрачервоних випромінювачів, аналіз яких допоміг обрати необхідний тип генератора інфрачервоного випромінювання.

Попереднє математичне моделювання такого складного процесу як склеювання фанери, дозволяє скоротити тривалість дослідження згаданого процесу та безумовно зменшити витрати для виконання експериментальних досліджень. Проведено аналіз вже розроблених розрахункових методів і моделей процесу склеювання фанери. Існуючі методи розрахунку тривалості склеювання фанери дозволяють моделювати вплив багатьох процесів, які супроводжують склеювання, але жоден з них не описує прогрівання в спектрі інфрачервоного випромінювання. Крім того, існуючі методи та моделі забезпечують лише приблизні результати розрахункової тривалості досліджуваного процесу.

Проаналізовано вплив інфрачервоного випромінювання на властивості деревини. Розглянуто основні переваги та недоліки існуючих інфрачервоних випромінювачів. Встановлено головні фактори інфрачервоного

випромінювання, які найбільшою мірою впливають на процес склеювання фанери, сформульовано завдання дослідження.

У другому розділі «**Моделювання кінетики прогрівання пакета шпону інфрачервоним випромінюванням**» наведено фізичну та математичну моделі процесу інфрачервоного прогрівання пакета шпону.

Указана фізична модель описується за законами Стефана – Больцмана та Бугера, що дозволяє змоделювати саме процес інфрачервоного прогрівання пакета шпону. Пакет шпону з точки зору теорії теплової обробки є «сірим» тілом та розглядається як необмежена пластина (плоска багат шарова стінка). Також пакет шпону з нанесеним клеєм можна розділити на три складові: шпон, фенолоформальдегідна смола та вода (входить до складу клею). Під час прогрівання тришарового пакета шпону інфрачервоним випромінюванням, тепла енергія передається матеріалу шляхом часткового проникнення інфрачервоних променів на певну товщину матеріалу (рис. 1). Кількість виділеного тепла по товщині пакета шпону зменшується за напрямком теплового потоку відповідно до закону Бугера. Як наслідок, виникає градієнт температури, що направлений від більш нагрітих поверхневих шарів шпону до менш нагрітих вглиб пакета. Через наявність термоградієнта деяка кількість теплоти переноситься теплопровідністю в напрямку проходження інфрачервоного випромінювання. За високих значень теплового потоку і товщини пакета, перенесення тепла може здійснюватися за допомогою пари. Тепло з поверхні шпону частково переноситься в оточуюче середовище завдяки конвективній тепловіддачі від поверхонь, а також під час пароутворення.

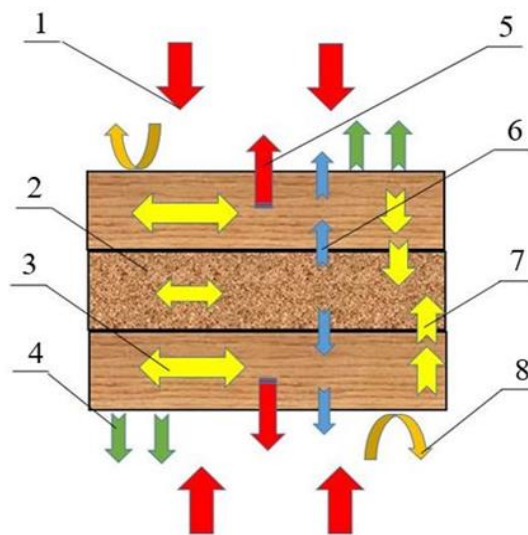


Рис. 1. Схема руху тепла та вологи по перетину пакета шпону: 1 – тепловий потік інфрачервоного випромінювання; 2 – пакет шпону; 3 – поглинуте інфрачервоне випромінювання; 4 – тепловіддача; 5 – інфрачервоне випромінювання, що пройшло наскрізь; 6 – потік пари; 7 – теплопровідність; 8 – інфрачервоне випромінювання, що відбилося від поверхні.

Процес прогрівання пакета шпону з нанесеним клеєм за допомогою інфрачервоного випромінювання супроводжується великою кількістю

фізичних, хімічних та теплових процесів. Урахування цього дає можливість сформулювати оптимальну розрахункову модель, яка дозволяє математично змоделювати перебіг згаданого процесу.

Основною метою прогрівання пакета шпону є досягнення необхідної температури (в середньому 135 °С) для початку процесу поліконденсації клею та виведення зайвої вологи, яка перешкоджає швидкому досягненню заданої температури. Під час інфрачервоного прогрівання пакета шпону розпочинається процес сушіння. Проте, оскільки вологість шпону менша за рівноважну, то процес доволі динамічний та відрізняється виразною ступінчастістю переходу.

Технологічний режим та обладнання для радіаційного нагрівання пакетів шпону з нанесеним клеєм дають можливість розглядати цей процес як одновимірний. Тому варто розглянути головні припущення для запису основних співвідношень нестационарного теплообміну в одновимірному випадку:

– поле температур та інші поля, що є похідними від нього, одновимірні та змінюються тільки в напрямку осі O_z вглиб пакета шпону (рис. 2);

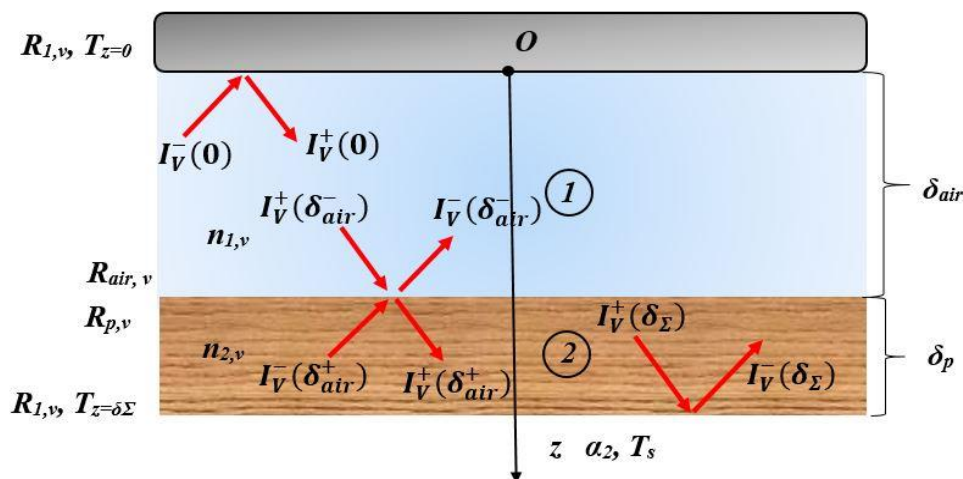


Рис. 2. Схема області для формування одновимірної нестационарної математичної моделі стосовно нагрівання пакета шпону з нанесеним клеєм за допомогою інфрачервоного випромінювання: 1 – шар повітря з водяною парою; 2 – шар вологого шпону.

– шар газу вважаємо за нерухомий, оскільки температура пакета шпону вища, або дорівнює оточуючому газоподібному теплоносію (отже конвективна складова не слугує джерелом підведення тепла);

– система з точки зору радіаційних властивостей селективна напівпрозора, поглинальна та випромінювальна; верхня границя системи (інфрачервоний випромінювач) не прозора, границя між шарами напівпрозора;

– всі границі є дифузними, тобто відбивання не залежить від напрямку;

– радіаційні властивості (коефіцієнт поглинання, ступінь чорноти, показник заломлення та коефіцієнти відбивання і пропускання границь системи) селективні (залежать від частоти випромінювання або довжини хвилі);

– область моделювання складається з двох шарів: верхнього, що є сумішню повітря з водяною паром (газ), та нижнього – вологого пакета шпону, що є колоїдним капілярно-пористим тілом (далі – система), яке піддається процесу радіаційного прогрівання (тобто система двофазна);

– теплофізичні властивості (масова ізобарна теплоємність, густина та коефіцієнт теплопровідності) є ефективними значеннями та залежать від температури.

Якщо скористатися наближенням оптично тонкого шару з поправкою на поглинання та застосувати модель Бугера для визначення зміни густини радіаційного потоку в шарі шпону, то математичне формулювання одновимірної задачі процесу прогрівання пакета шпону значно спрощується. Середовище, що є вологим пакетом шпону, приймається напівпрозорим «сірим» і поглинальним, а границі його шару та поверхня інфрачервоного випромінювача – дифузними. При цьому можна обмежитися розглядом тільки шару матеріалу, але з більш складними умовами зовнішнього теплообміну, ніж для двофазного селективного середовища. За такого наближення математична постановка задачі з урахуванням кінетики прогрівання включає систему рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} c_{p\text{efp}}(T)\rho_{\text{efp}}(T)\frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda_{\text{efp}}(T)\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} - \frac{\partial q_r(z)}{\partial z} - \rho_p(T)r\frac{du}{d\tau}; \\ q_r(z) = nq_r(T_{z=0})e^{-\int_0^z K(T(z))dz}; \\ q_r(T_{z=0}) = \varepsilon_{pr}(K_{a-v})\sigma(T_{IR}^4 - T_{z=0}^4); \\ \frac{du}{d\tau} = \frac{\beta}{g}[p_H(T_{z=0}^+) - p_n(T_{z=0}^-)] + k(u - u_p), \end{array} \right. \quad (1)$$

де $c_{p\text{efp}}(T)$ – температурна залежність масової ізобарної теплоємності пакета шпону, Дж/(кг·К); $\rho_{\text{efp}}(T)$ – температурна залежність ефективної густини вологого пакета шпону, кг/м³; $\rho_p(T)$ – температурна залежність густини абсолютно сухого шпону, кг/м³; T – абсолютна температура, К; τ – час, с; $\lambda_{\text{efp}}(T)$ – температурна залежність ефективного коефіцієнта теплопровідності вологого шпону, Вт/(м·К); z – декартова координата; $q_r(z)$ – вектор густини радіаційного теплового потоку, Вт/м²; n – вектор нормалі до поверхні пакета шпону; r – масова теплота випаровування води; $K(T(z))$ – температурна залежність «сірого» значення ефективного коефіцієнта поглинання вологого шпону, м⁻¹; $\frac{\partial u}{\partial \tau}$ – швидкість сушіння, с⁻¹(кг/(кг·с)); ε_{pr} – приведений ступінь чорноти вологого повітря; $\varepsilon_{z=0}$ – ступінь чорноти поверхні пакета шпону; K_{a-v} – «сіре» значення коефіцієнта поглинання вологого повітря, м⁻¹; σ – стала Стефана – Больцмана, Вт/(м²·К⁴); $T_{IR}, T_{z=0}$ – абсолютна температура поверхонь інфрачервоного випромінювача та пакета шпону, відповідно, К; β – коефіцієнт вологообміну, с/м; k – константа швидкості сушіння в другому періоді, с⁻¹;

g – маса квадратного метра абсолютно сухого шпону, кг/м²; p_n, p_n – тиск насичення пари на поверхні шару шпону та парціальний тиск водяної пари в прилеглому шарі оточуючого середовища (вологого повітря) відповідно, Па; u, u_p – середній відносний вологовміст у поточний момент часу і відносний рівноважний у шарі пакета шпону, відповідно, кг/кг.

Ступінь поглинання енергії інфрачервоного випромінювання вологим пакетом шпону визначається за формулою:

$$\varepsilon_{pr}(K_{a-v}) = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_{IR}} + \left(\frac{1}{\varepsilon_{z=0}} - 1 + \frac{3 K_{a-v} \delta_{air}}{4} \right) \frac{F_{IR}}{F_f}}. \quad (2)$$

Для отримання дивергенції радіаційного потоку необхідно виконати диференціювання за параметром z підінтегрального виразу, що є показником ступеня в другому рівнянні системи (1):

$$\frac{\partial q_r(r)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(q_r(T_{z=0}) e^{-\int_0^z K(T(z)) dz} \right) = |K(T(z)) = const| = -q_r(T_{z=0}) K e^{-Kz}. \quad (3)$$

Рівняння теплопровідності можна також записати через коефіцієнт температуропровідності. Тоді з урахуванням цього та виразу (3) система рівнянь (1) набуває вигляду:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial T}{\partial \tau} = a_{efp}(T) \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{q_r(T_{z=0})}{c_{pefp}(T) \rho_{efp}(T)} K e^{-Kz} - \frac{\rho_p(T) r}{\rho_{efp}(T) c_{pefp}(T)} \frac{du}{d\tau}; \\ q_r(T_{z=0}) = \varepsilon_{pr}(K_{a-v}) \sigma (T_{IR}^4 - T_{z=0}^4); \\ \frac{du(T)}{d\tau} = \frac{\beta}{g} [p_H(T_{z=0}^+) - p_n(T_{z=0}^-)] + k(u - u_p), \end{array} \right. \quad (4)$$

де $a_{efp} = \frac{\lambda_{efp}}{c_p \varepsilon_{pr} \rho_{efp}}$ – ефективна температуропровідність пакета шпону, м²/с.

Наведена вище математична модель дозволила отримати графічні залежності розрахункових значень зміни температури всередині пакета шпону протягом інфрачервоного прогрівання та зміни його вологовмісту (рис. 3–4). Графічна залежність температури від часу (див. рис. 3) описує прогрівання від початкової температури до температури початку поліконденсації клею за різних величин густини теплового потоку (q). Під час досягнення температури близько 100 °С спостерігається певне сповільнення процесу, що можна пояснити початком випаровування вологи, після чого температура знову починає зростати. Наведені криві характерні для перебігу процесу сушіння деревини. Для процесу прогрівання за низьких значень вологості притаманна більша виразність між періодами прогрівання.

Також можна стверджувати, що вихідна густина теплового потоку після досягнення температури початку пароутворення вологи впливає на тривалість

періоду сповільнення прогрівання. Подібне явище можна пояснити більшими витратами енергії на випаровування; відповідно зі збільшенням густини теплового потоку зростає й швидкість прогрівання. Щодо вологовмісту (див. рис. 4), то тут спостерігається позитивна тенденція поступового зменшення кількості вологи в процесі прогрівання пакета шпону з нанесеним клеєм за всіх трьох величин густини теплового потоку.

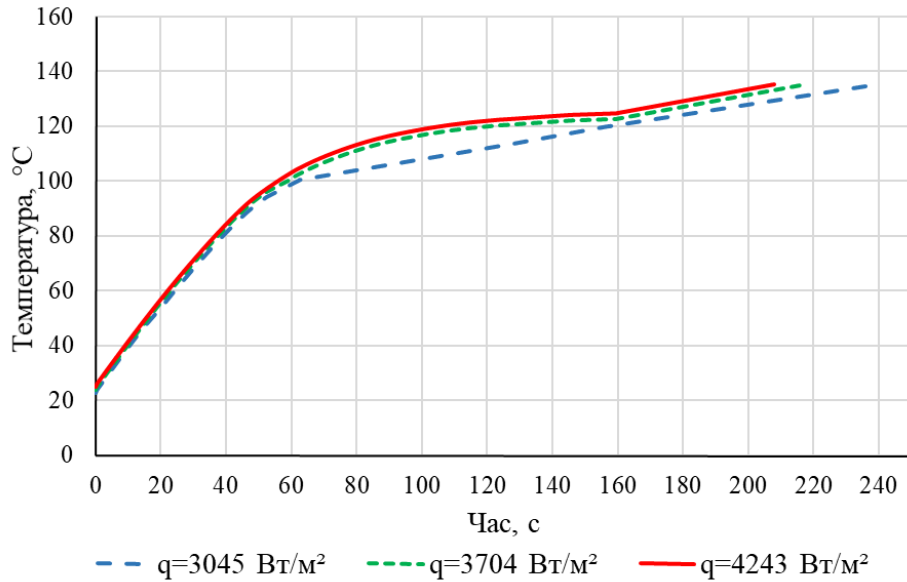


Рис. 3. Залежність зростання температури всередині пакета шпону з нанесеним клеєм від часу інфрачервоного прогрівання за різної густини теплового потоку

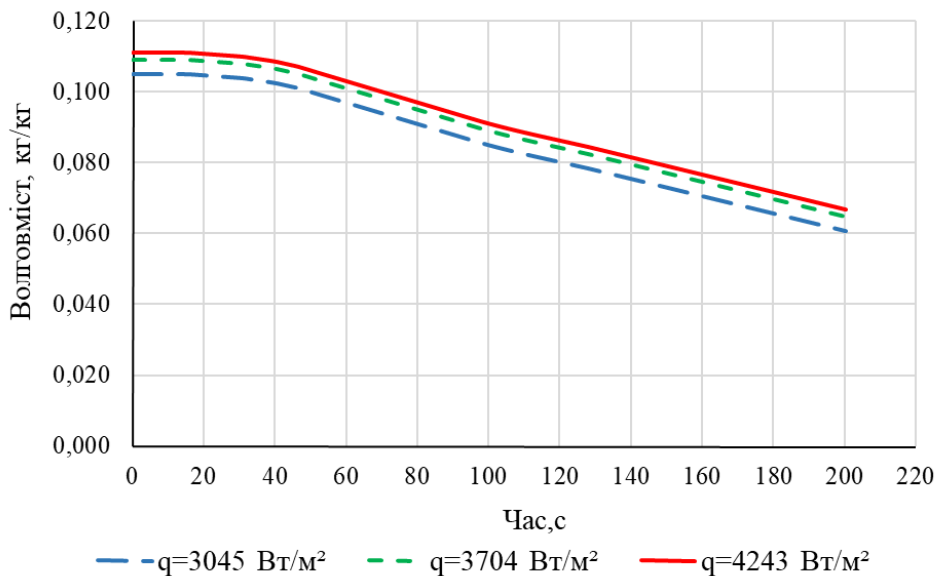


Рис. 4. Залежність вологовмісту пакета шпону з нанесеним клеєм від часу інфрачервоного прогрівання за різної густини теплового потоку

У третьому розділі «Методика експериментальних досліджень» наведено методику прогрівання пакета шпону в спектрі інфрачервоного випромінювання, поетапну технологію виготовлення фанери з попереднім

інфрачервоним прогріванням та методику випробування міцнісних показників отриманої фанери.

Для проведення експериментальних досліджень кінетики прогрівання пакета шпону та виготовлення фанери з операцією попереднього інфрачервоного прогрівання було розроблено експериментальний пристрій (рис. 5), який оснащений інфрачервоними випромінювачами, що знаходяться з обох площин (верхня та нижня). Це дозволяє одночасно проводити двостороннє обігрівання пакета шпону, регулюючи густину теплового потоку. Тепловий потік регулюється відстанню між поверхнями випромінювачів і пакета шпону. Зміну величини температури всередині пакета шпону вимірювали за допомогою терморпарі, яка була розміщена всередині пакета (рис. 6) та під'єднана до мультиметрів.



Рис. 5. Загальний вигляд пристрою для прогрівання інфрачервоним випромінюванням: 1 – пристрій для вимірювання витрати електроенергії; 2 – інфрачервоний випромінювач; 3 – рефлектор інфрачервоного випромінювача; 4 – стінка камери пристрою з відбиваючою поверхнею; 5 – пакет шпону.



Рис. 6. Прогрівання пакета шпону у спектрі інфрачервоного випромінювання: 1 – пакет шпону; 2 – затискач; 3 – інфрачервоний випромінювач; 4 – терморпара.

Фіксування зміни температури всередині пакета шпону є важливим аспектом під час дослідження інтенсифікації процесу пресування, адже швидкість підведення тепла безпосередньо впливає на тривалість процесу. З метою порівняння показників тривалості прогрівання, проведено два вимірювання: із застосуванням інфрачервоного випромінювання та за умов пресування у гарячому пресі.

Прогрівання у спектрі інфрачервоного випромінювання проводилося в експериментальному пристрої як для сухих пакетів шпону, так і для пакетів з уже нанесеним на шпон клеєм. Для фіксації зміни температури було використано термопари, які вставлялися всередину пакета шпону (див. рис. 6) в попередньо випиляний паз, і які підключалися до двох мультиметрів.

Змінними факторами під час проведення експериментальних досліджень стали густина теплового потоку ($q=3045$ Вт/м², 3704 і 4243 Вт/м²), тривалість прогрівання інфрачервоного випромінюванням ($\tau_{\text{прог}}=30$ с, 45 і 60 с) і тривалість пресування у пресі ($\tau_{\text{прес}}=1,0$ хв, 1,5 і 2,0 хв) за сталих температури (150 °С) і тиску пресування (1,8 МПа). Вихідні параметри – температура всередині пакета шпону і міцність фанери на зріз. Межу міцності фанери на зріз визначали після закінчення 5 діб із дня пресування відповідно до методики, наведеної у ДСТУ EN 314-1 та EN 314-2:2003.

У четвертому розділі «**Закономірності впливу прогрівання пакетів шпону інфрачервоним випромінюванням на властивості фанери**» наведено кінетику перебігу процесу прогрівання пакета шпону за допомогою інфрачервоного випромінювання і перевірку адекватності розробленої математичної моделі та порівняння показників тривалості прогрівання одержаних експериментальним шляхом, із результатами отриманими за допомогою математичної моделі. Порівняння виконувалося як для пакетів шпону з нанесеним клеєм, так і для пакетів без клею, з метою визначення впливу вологовмісту на тривалість перебігу згаданого процесу. Також проведено порівняння експериментальних результатів прогрівання інфрачервоного випромінювання із тривалістю прогрівання контактним способом між плитами гарячого пресу, оскільки саме така технологія підведення тепла та пресування сьогодні використовується при виготовленні фанери.

У разі контактного способу підведення тепла прогрівання відбувається швидше, ніж при прогріванні у спектрі інфрачервоного випромінювання (рис. 7). Адже позначку у 140 °С при контактному способі досягнуто за 130 с, а при максимальній густині теплового потоку (4243 Вт/м²) за допомогою інфрачервоного випромінювання – за 145 с, тобто на 15 с швидше. Однією з основних відмінних характеристик перебігу процесу прогрівання є те, що за використання інфрачервоного випромінювання сповільнення прогрівання починається вже при досягненні 100 °С упродовж 30 с, на відміну від прогрівання контактним способом, за якого сповільнення протягом 35 с наступає лише при досягненні 120 °С.

Виходячи з порівняння значень, одержаних експериментальним шляхом і розрахункових даних (рис. 8), то тут можна спостерігати певну відмінність

перебігу згаданих процесів. Адже криві, які отримано розрахунковим шляхом, не мають виразного переходу між фазами прогрівання, сповільнення та зростання температури, як це простежується на кривих з експериментальними значеннями. Плавний перехід, який спостерігається для розрахункових даних, більш характерний для процесу сушіння. Подібне можна пояснити складністю моделювання прогрівання за порівняно нижчих значеннях вологості та специфіки підведення тепла. Попри це, отриману математичну модель можна застосовувати для розрахунку процесів прогрівання пакета шпону за допомогою інфрачервоного випромінювання.

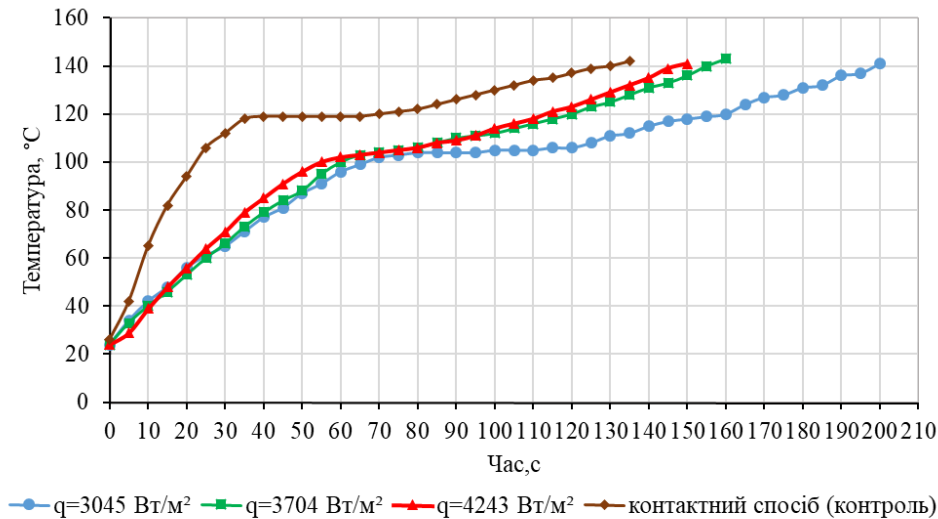


Рис. 7. Залежність температури всередині пакета шпону з нанесеним клеєм від часу інфрачервоного прогрівання за різних значень густини теплового потоку

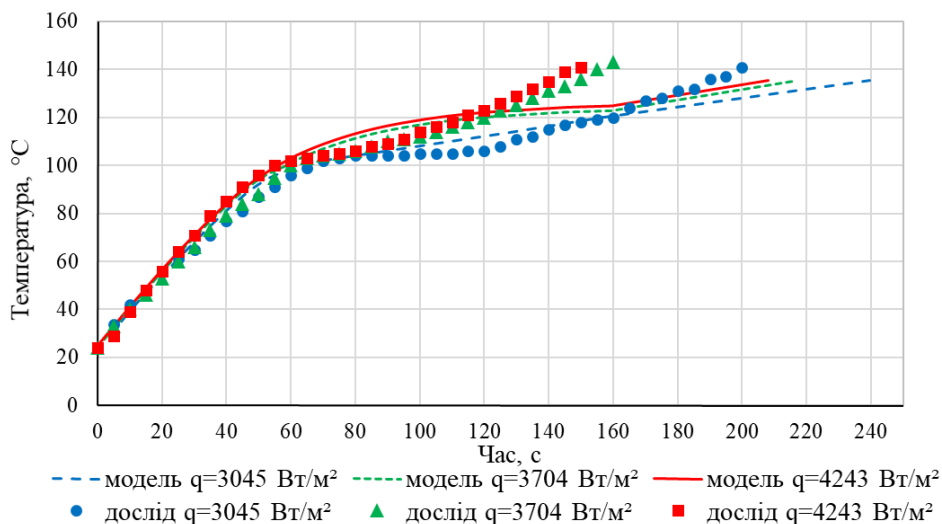


Рис. 8. Залежності температури всередині пакета шпону з нанесеним клеєм від часу інфрачервоного прогрівання за різних значень густини теплового потоку, отримані експериментальним шляхом (зображено точками) та в результаті математичного моделювання (зображено лініями)

Під час прогрівання відбувається певне випаровування вологи, зменшення кількості якої дозволяє скоротити тривалість пресування фанери.

Дослідження зміни вологовмісту пакета шпону під впливом попереднього прогрівання інфрачервоним випромінюванням дозволило отримати наступні результати. Найбільша інтенсивність виведення вологи відзначається за вищих значень густини потоку тепла та тривалішого прогрівання (рис. 9). Адже найбільша величина виведеної вологи (32,7 % від загальної маси нанесеного клею) зафіксована при 4243 Вт/м² та максимальній тривалості прогрівання пакета шпону у спектрі інфрачервоного випромінювання. Доволі високі показники 19,8 %, 17,6 та 16,8 % виявилися при $q=4243$ Вт/м² за тривалості прогрівання 45 с і за густини теплових потоків 3704 і 3045 Вт/м² при тривалості прогрівання 60 с.

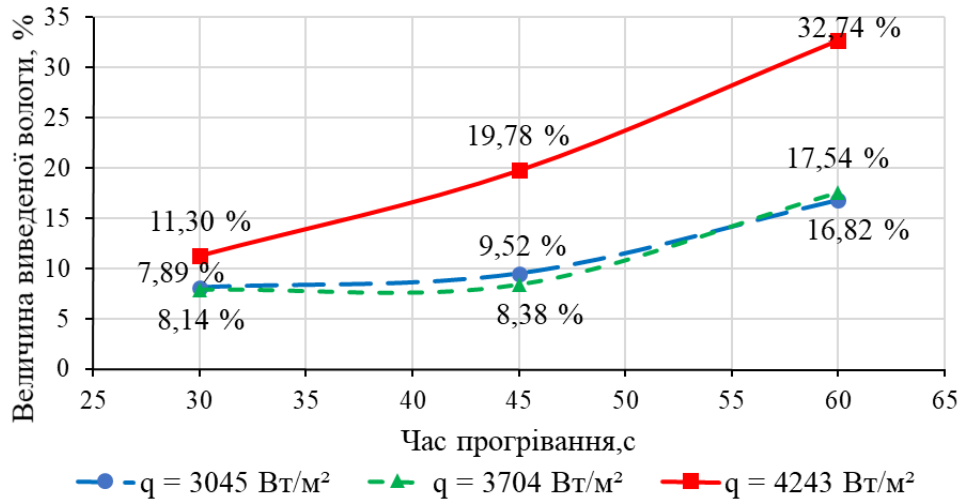


Рис. 9. Виведення вологи з пакета шпону з нанесеним клеєм після прогрівання у спектрі інфрачервоного випромінювання за різної густини теплового потоку

Величину виведення вологи можна збільшити за рахунок підвищення густини теплового потоку випромінювання разом із збільшенням тривалості інфрачервоного прогрівання. Але оскільки після попереднього інфрачервоного прогрівання слідує гаряче пресування пакетів шпону, то відповідно для перевірки впливу наведених режимних параметрів безпосередньо на якісні показники фанери виникає необхідність їх зіставлення між собою та детального аналізу.

Для з'ясування впливу режимних параметрів (густини теплового потоку, тривалості інфрачервоного прогрівання, тривалості гарячого пресування) на міцність фанери на зріз було проведено числову обробку отриманих даних. Експериментальні дані апроксимовано функцією у вигляді полінома другого степеня, що дозволило отримати адекватну регресійну залежність міцності фанери на зріз від величини режимних параметрів, яка має такий вигляд:

$$\begin{aligned} \sigma_{зр} = & 0,9819 + 0,0016 \cdot q + 0,0793 \cdot \tau_{прог} + 0,9812 \cdot \tau_{прес} + 7,36 \cdot 10^{-5} \cdot q^2 + 0,0005 \cdot \tau_{прог}^2 + \\ & + 0,9760 \cdot \tau_{прес}^2 - 0,0006 \cdot q \cdot \tau_{прог} - 0,0163 \cdot q \cdot \tau_{прес} - 0,0681 \cdot \tau_{прог} \cdot \tau_{прес} + 0,0004 \cdot q \cdot \tau_{прог} \cdot \tau_{прес} \end{aligned} \quad (5)$$

Графічна інтерпретація отриманої залежності дала змогу представити характер впливу основних технологічних факторів процесу склеювання із

попереднім інфрачервоним прогріванням пакетів шпону на міцність фанери на зріз (рис. 10–12).

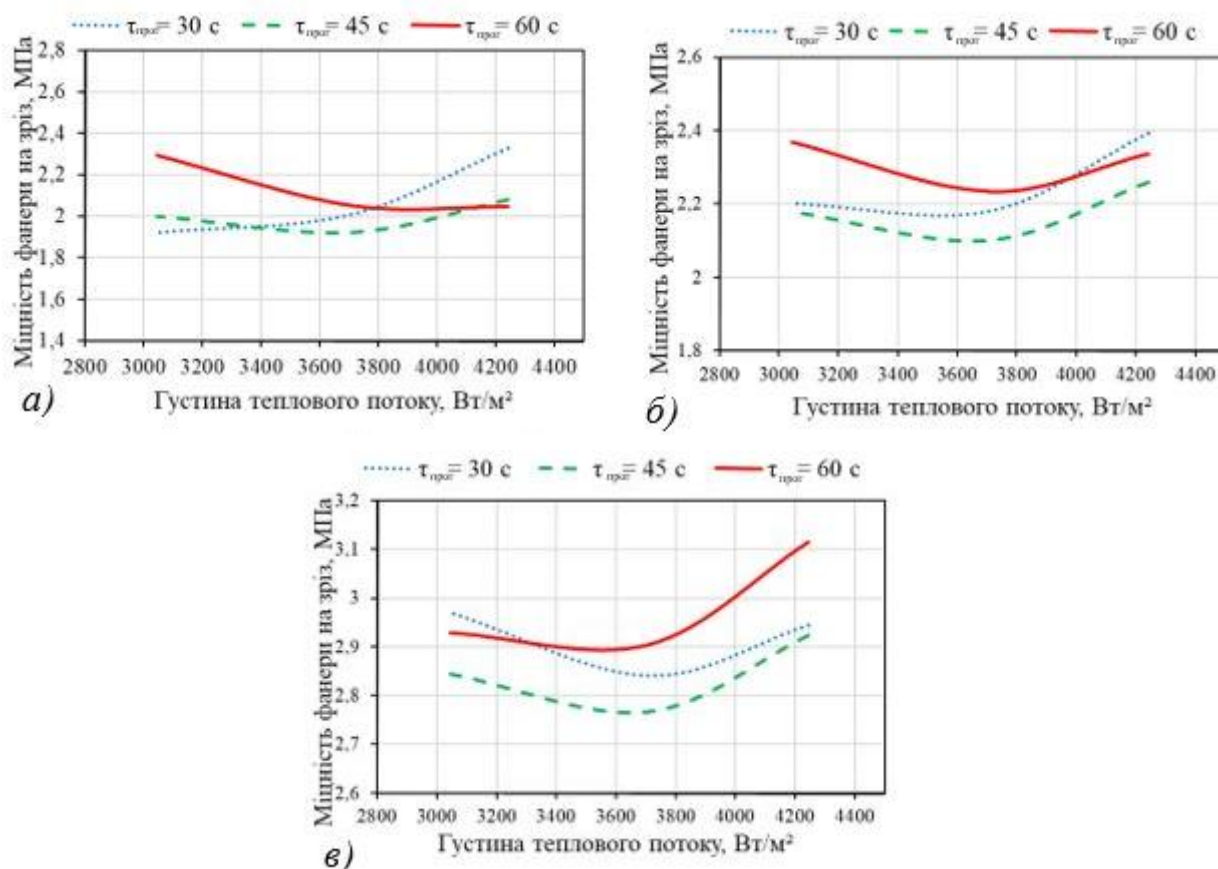


Рис. 10. Залежність міцності фанери на зріз від густини теплового потоку при тривалості пресування: а) $\tau_{\text{прес}}=1$ хв; б) $\tau_{\text{прес}}=1,5$ хв; в) $\tau_{\text{прес}}=2$ хв.

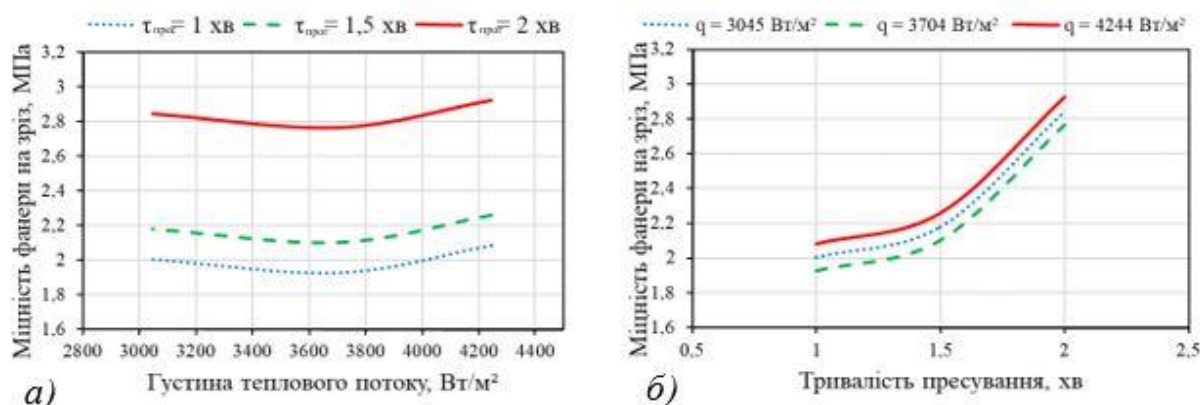


Рис. 11. Залежність міцності фанери на зріз при тривалості інфрачервоного прогрівання $\tau_{\text{прог}}=45$ с: а) від густини теплового потоку; б) від тривалості пресування.

Збільшення значень густини теплового потоку та інших параметрів (тривалості прогрівання, тривалості пресування) призводить до зростання міцності фанери на зріз (див. рис. 10). Міцність фанери знаходиться в діапазоні 1,9–3,1 МПа, що в декілька разів більше за допустиме значення згідно з ДСТУ EN 314-2 (1,0 МПа). Лише у випадку $\tau_{\text{прес}}=1,0$ і 1,5 хв за максимальної

тривалості інфрачервоного прогрівання спостерігається певне зменшення міцності при зростанні густини теплового потоку. Тобто, навіть за мінімальних значень усіх параметрів основна умова мінімізації тривалості операцій виконується.

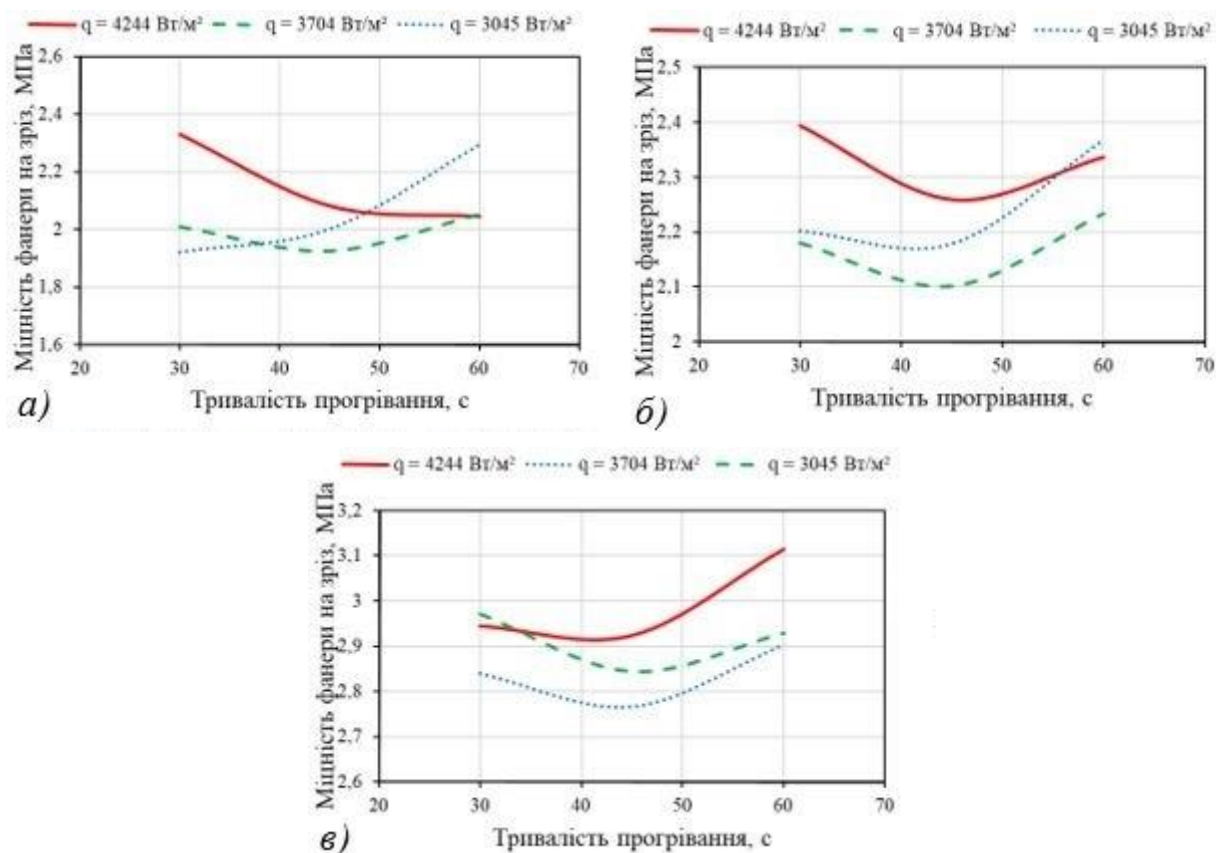


Рис. 12. Залежність міцності фанери на зріз від тривалості інфрачервоного прогрівання при тривалості пресування: а) $\tau_{\text{прес}}=1$ хв; б) $\tau_{\text{прес}}=1,5$ хв; в) $\tau_{\text{прес}}=2$ хв.

Аналіз графічних залежностей міцності фанери на зріз від величини густини теплового потоку (див. рис. 11, а) показав, що тенденція зміни міцності має параболічний характер та є аналогічною для всіх тривалостей інфрачервоного прогрівання. При цьому, спочатку із збільшенням густини потоку від 3045 до 3704 Вт/м² прослідковується незначне зменшення міцності, доді як з подальшим збільшенням густини потоку вона починає зростати. Із збільшенням же тривалості пресування у досліджуваному діапазоні спостерігається підвищення міцності на зріз (див. рис. 11, б). Така тенденція однакова для всіх значень тривалості інфрачервоного прогрівання.

Вплив тривалості інфрачервоного прогрівання на міцність фанери на зріз (див. рис. 12) відзначається складністю, адже для кожного із значень густини теплового потоку тенденція зміни міцності є різною, але практично в кожному випадку вона має параболічний характер. Незалежно від цього, навіть за мінімальних значень як тривалості прогрівання, так і тривалості пресування, показники міцності не виходять за межі допустимого мінімального значення міцності фанери на зріз.

З метою знаходження раціональних параметрів виготовлення фанери з операцією попереднього інфрачервоного прогрівання пакетів шпону як критерій оптимізації обрано показник тривалості пресування ($\tau_{прес}$). Його величина повинна бути мінімальною за умови дотримання міцності на зріз згідно з вимогами стандарту:

$$\tau_{прес} \rightarrow \min \quad (6)$$

за таких обмежень:

$$\sigma \geq \sigma_{дон} = 1,0 \text{ МПа} \quad (7)$$

$$30 \leq \tau_{прог} \leq 60 \text{ с} \quad (8)$$

$$3045 \leq q \leq 4244 \text{ Вт/м}^2 \quad (9)$$

де σ , $\sigma_{дон}$ – межа міцності фанери на зріз згідно з експериментальними даними та стандартно допустимими, МПа; $\tau_{прог}$ – тривалість прогрівання пакета шпону у спектрі інфрачервоного випромінювання, с; q – величина густини теплового потоку інфрачервоного випромінювання, Вт/м².

Для пошуку значень величин режимних параметрів до функції мети (6) з обмеженнями (7)–(9) застосовано градієнтний метод, який реалізовано за допомогою процедури «Пошук рішень» програми Microsoft Office Excel. Раціональними параметрами прогрівання та пресування фанери є: густина теплового потоку – $q=4243$ Вт/м²; тривалість прогрівання у спектрі інфрачервоного випромінювання – 45 с; тривалість пресування – 1 хв; температура пресування – 150 °С; тиск пресування – 1,8 МПа.

У п'ятому розділі «Розроблення процесу і обладнання для прогрівання пакетів шпону інфрачервоним випромінюванням у виробництві фанери» наводяться режими і процес виготовлення фанери з попереднім інфрачервоним прогріванням пакетів шпону та можливі варіанти обладнання для проведення такої операції. Розроблено пристрої, лінію та запропоновано спосіб для виготовлення фанери з попереднім інфрачервоним прогріванням пакетів шпону, на основі яких отримано документи інтелектуальної власності. Запропонований технологічний процес виготовлення фанери з попереднім інфрачервоним прогріванням пакетів шпону дозволяє значно скоротити тривалість пресування фанери. Сумарна продуктивність підприємства при використанні згаданого способу зростає в 1,7 раза, що безумовно свідчить про значну інтенсифікацію процесу склеювання фанери та підвищення продуктивності виробництва в цілому.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено важливе та актуальне науково-технічне завдання, яке полягає у встановленні закономірностей впливу попереднього інфрачервоного прогрівання пакетів шпону на процес склеювання фанери і розробленні на цій основі інноваційної технології виготовлення фанери за зменшеного часу пресування зі збереженням високої міцності склеювання. Внаслідок виконаних експериментальних і теоретичних досліджень та їх аналізу отримано такі висновки:

1. Встановлено можливість і доведено доцільність попереднього прогрівання інфрачервоним випромінюванням пакета шпону в процесі виготовлення фанери.

2. Обґрунтовано тип джерела інфрачервоного випромінювання для попереднього прогрівання пакета шпону перед операцією склеювання фанери. Обрано плоский керамічний інфрачервоний випромінювач типу ЕРС-1, потужністю 250 Вт із довжиною хвилі – 4,2 μm . Цей випромінювач має найбільш ефективну площу випромінювання, ефективне значення потужності випромінювання, близьку до оптимальної величину довжини хвилі.

3. Математично описано зміну температури та вологості у середині пакета шпону під час його прогрівання в спектрі інфрачервоного випромінювання, що дає змогу прогнозувати його температуру та вологість залежно від початкової вологості шпону та температури склеювання.

4. Розроблено експериментальну установку та методику проведення експериментальних досліджень прогрівання пакета шпону в спектрі інфрачервоного випромінювання.

5. Отримано кінетичні закономірності процесу інфрачервоного прогрівання пакета шпону. Встановлено вплив величини густини теплового потоку на швидкість підведення тепла, із зростанням якої пришвидшується прогрівання пакета шпону та визначено зміну вологовмісту пакета шпону під часу інфрачервоного прогрівання.

6. Встановлено закономірності впливу режимних параметрів інфрачервоного прогрівання пакета шпону (густина теплового потоку, тривалість прогрівання у спектрі інфрачервоного випромінювання) та тривалість пресування на міцність фанери на зріз. Зі збільшенням значень густини теплового потоку і тривалості пресування міцність фанери на зріз зростає.

7. Отримано раціональні значення параметрів режиму попереднього прогрівання пакетів шпону інфрачервоним випромінюванням і пресування фанери, що дає змогу збільшити обсяг виробництва фанери в 1,7 рази порівняно з існуючою технологією та забезпечити міцність фанери на зріз згідно з вимогами стандарту. Рекомендуються такі технологічні параметри режиму інфрачервоного прогрівання пакета шпону і пресування фанери: густина теплового потоку – $q=4243 \text{ Вт/м}^2$; тривалість прогрівання у спектрі інфрачервоного випромінювання – 45 с; тривалість пресування – 1 хв; температура пресування – 150 °С; тиск пресування – 1,8 МПа.

8. Розроблено спосіб виготовлення фанери з попереднім прогріванням пакетів шпону за допомогою інфрачервоного випромінювання, а також лінію виготовлення фанери і завантажувальну етажерку преса з пристроєм попереднього прогрівання пакетів шпону інфрачервоним випромінюванням.

9. Розроблено рекомендації щодо впровадження отриманих результатів виготовлення фанери із застосуванням операції попереднього прогрівання пакетів шпону інфрачервоним випромінюванням на ТзОВ «ФАНПЛИТ» (м. Київ), які дають змогу збільшити обсяги виробництва фанери в 1,7 рази.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Форос В. В. Актуальні проблеми фанерного виробництва. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2015. Вип. 160. С. 76–82.

2. Форос В. В. Вплив інфрачервоного випромінювання на терморадіаційні характеристики деревини. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво. 2015. Вип. 238. С. 283–288.

3. Форос В. В. Пристрої для попереднього інфрачервоного прогрівання пакетів шпону у виробництві фанери. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2016. Вип. 169. С. 11–17.

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

4. Форос В. В. Технологія виготовлення фанери з попереднім інфрачервоним прогріванням пакетів шпону. Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. 2016. Вип. 26.4. С. 303–308.

5. **Форос В. В.**, Бехта П. А. Вплив параметрів інфрачервоного випромінювання на кінетику прогрівання пакета шпону. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво. 2016. Вип. 219. С. 267–273. *(Здобувачем особисто проведено та опрацьовано результати експериментальних досліджень).*

Статті в інших наукових виданнях:

6. Форос В. В. Щодо можливості застосування інфрачервоних нагрівачів для сушіння шпона. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво. 2012. Вип. 171. С. 225–229.

7. Форос В. В. Методи інтенсифікації процесу склеювання фанери. Сучасні будівельні конструкції із металу та деревини. 2015. Вип. 19. С. 127–132.

Патенти України на корисну модель:

8. **Форос В. В.**, Бехта П. А., Седлячків Ян. Патент на корисну модель № 107605, Україна, МПК В27 D 3/00. Завантажувальна етажерка преса з и 201600323; власник В. В. Форос, заявлено 15.01.2016; опубліковано 10.06.2016; Бюл. № 11. *(Здобувачем особисто запропоновано формулу винаходу на корисну модель).*

9. Бехта П. А., **Форос В. В.**, Седлячків Ян. Патент на корисну модель № 108245, Україна, МПК В27 N 3/18, В27N 1/00, С09J 5/02. Спосіб виготовлення деревинних композиційних матеріалів із шпону; власник

П. А. Бехта; № у 201600222; заявлено 11.01.2016; опубліковано 11.07.2016; Бюл. № 13. (*Здобувачем особисто запропоновано формулу винаходу на корисну модель*).

10. Бехта П. А., **Форос В. В.**, Седлячків Ян. Патент на корисну модель № 108244, Україна, МПК В27 N 3/00, В27D 1/00, С09J 5/00. Лінія виготовлення деревинних композиційних матеріалів із шпону; власник П. А. Бехта; № у 201600220; заявлено 11.01.2016; опубліковано 11.07.2016; Бюл. № 13. (*Здобувачем особисто запропоновано формулу винаходу на корисну модель*).

Теза наукової доповіді

11. Форос В. В. Метод інтенсифікації процесу пресування фанери та покращення її фізико-механічних властивостей. 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. 239–240.

АНОТАЦІЯ

Форос В. В. Закономірності впливу попереднього інфрачервоного прогрівання пакетів шпону на процес склеювання фанери. – 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, 2018.

Дисертаційну роботу присвячено розв'язанню актуального науково-практичного завдання – встановлення закономірностей впливу попереднього інфрачервоного прогрівання пакетів шпону на властивості фанери і розроблення на цій основі інноваційної технології виготовлення фанери за зменшеного часу пресування. У роботі наведено аналіз впливу інфрачервоного випромінювання на деревину та існуючі джерела інфрачервоного випромінювання. Розроблено фізичну та математичну моделі процесу прогрівання пакета шпону за допомогою енергії інфрачервоного випромінювання. Виявлено кінетичні закономірності перебігу процесу прогрівання пакетів шпону з нанесеним клеєм та без нього за допомогою інфрачервоного випромінювання і його впливу на тривалість прогрівання пакета шпону та величину виведення вологи з нього. На основі статистичної обробки отриманих даних встановлено вплив основних параметрів прогрівання на тривалість склеювання фанери та міцнісні характеристики фанери. Запропоновано технологію виготовлення фанери з попереднім прогріванням пакета шпону в спектрі інфрачервоного випромінювання та наведено основні величини режимних параметрів для проведення згаданого процесу. Розроблено пристрої, лінію та запропоновано спосіб для виготовлення фанери з попереднім інфрачервоним прогріванням пакетів шпону. Запропонований технологічний процес виготовлення фанери з попереднім інфрачервоним прогріванням пакетів

шпону дозволяє значно скоротити тривалість пресування фанери. Сумарна продуктивність підприємства при використанні цього способу зростає в 1,7 рази, що безумовно свідчить про значну інтенсифікацію процесу склеювання фанери та підвищення продуктивності виробництва в цілому.

Ключові слова: фанера, інфрачервоне випромінювання, попереднє прогрівання, пакет шпону, тривалість прогрівання, склеювання, пресування.

АННОТАЦІЯ

Форос В. В. Закономерности влияния предварительного инфракрасного прогревания пакетов шпона на процесс склеивания фанеры. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.06 «Технология деревообработки, изготовления мебели и изделий из древесины». Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, Киев, 2018.

Диссертационная работа посвящена решению актуального научно-практического задания – установления закономерностей влияния предварительного инфракрасного прогревания пакетов шпона на свойства фанеры и разработка на этой основе инновационной технологии изготовления фанеры за уменьшенного времени прессования. В работе выполнен анализ влияния инфракрасного излучения на древесину и существующие источники инфракрасного излучения. Установлена возможность и доказана целесообразность предварительного прогрева инфракрасным излучением пакета шпона в процессе изготовления фанеры. Обоснован тип источника инфракрасного излучения для предварительного прогрева пакета шпона перед операцией склеивания фанеры. Избран плоский керамический инфракрасный излучатель типа ЕРС-1, мощностью 250 Вт с длиной волны – 4,2 мкм. Этот излучатель имеет наиболее эффективную площадь излучения, эффективное значение мощности излучения, близкую к оптимальной величине длины волны. Разработана физическая и математическая модели процесса прогрева пакета шпона с помощью энергии инфракрасного излучения. Математически описано изменение температуры и влажности внутри пакета шпона во время его прогрева в спектре инфракрасного излучения, что позволяет прогнозировать его температуру и влажность в зависимости от начальной влажности шпона и температуры склеивания. Выявлены кинетические закономерности протекания процесса прогрева пакетов шпона с нанесенным клеем и без него с помощью инфракрасного излучения и его влияние на продолжительность прогрева пакета шпона и величину вывода влаги из него. Установлено влияние величины плотности теплового потока на скорость подвода тепла, с ростом которой ускоряется, прогрев пакета шпона и определены изменение влагосодержания пакета шпона от времени инфракрасного прогревания. Во время прогревания происходит определенное испарение влаги, уменьшение количества которой позволяет сократить продолжительность прессования фанеры. Исследование изменения влагосодержания пакета шпона под влиянием предварительного

прогрева инфракрасным излучением показало, что наибольшая интенсивность вывода влаги отмечается при более высоких значениях плотности потока тепла и длительного прогрева. Ведь наибольшая величина выводимой влаги (32,7 % от общей массы нанесенного клея) зафиксирована при 4243 Вт/м^2 и максимальной продолжительности прогрева пакета шпона в спектре инфракрасного излучения. Довольно высокие показатели 19,8 %, 17,6 и 16,8 % оказались при $q=4243 \text{ Вт/м}^2$ за продолжительности прогрева 45 с и при плотности теплового потока 3704 и 3045 Вт/м^2 при продолжительности прогрева 60 с. Величину вывода влаги можно увеличить за счет повышения величины плотности теплового потока излучения вместе с увеличением продолжительности инфракрасного прогревания. Установлены закономерности влияния режимных параметров инфракрасного прогревания пакета шпона (плотность теплового потока, продолжительность прогрева в спектре инфракрасного излучения) и продолжительность прессования на прочность фанеры на срез. С увеличением значений плотности теплового потока и продолжительности прессования прочность фанеры на срез растет. На основе статистической обработки полученных данных установлено влияние основных параметров прогрева на продолжительность склеивания фанеры. Предложена технология изготовления фанеры с предыдущим прогревом пакета шпона в спектре инфракрасного излучения и приведены основные величины режимных параметров для проведения упомянутого процесса. Получены рациональные значения параметров режима предварительного прогрева пакетов шпона инфракрасным излучением и прессования фанеры, которые позволяют увеличить объем производства фанеры в 1,7 раза по сравнению с существующей технологией и обеспечить прочность фанеры на срез в соответствии с требованиями стандарта. Рекомендуются следующие технологические параметры режима инфракрасного прогревания пакета шпона и прессования фанеры: плотность теплового потока – $q=4243 \text{ Вт/м}^2$; продолжительность прогрева в спектре инфракрасного излучения – 45 с; продолжительность прессования – 1 мин; температура прессования – $150 \text{ }^\circ\text{C}$; давление прессования – 1,8 МПа. Разработан способ изготовления фанеры с предыдущим прогревом пакетов шпона с помощью инфракрасного излучения, а также линию изготовления фанеры и загрузочную этажерку прессы с устройством предварительного прогрева пакетов шпона инфракрасным излучением. Предложенный технологический процесс изготовления фанеры с предыдущим инфракрасным прогревом пакетов шпона позволяет значительно сократить продолжительность прессования фанеры. Суммарная производительность предприятия при использовании этого способа возрастает в 1,7 раза, что безусловно свидетельствует о значительной интенсификации процесса склеивания фанеры и повышения производительности производства в целом.

Ключевые слова: фанера, инфракрасное излучение, предварительный прогрев, пакет шпона, продолжительность прогрева, склеивания, прессование.

ANNOTATION

Foros V. V. The regularities of the effect of previously infrared heating of veneer packages on the plywood gluing process. – The Manuscript.

The thesis for Candidate Degree of Technical Sciences with the specialty 05.23.06 Wood Technology, Furniture and Wooden Goods Production. National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, 2018.

The dissertation is devoted to solving the actual scientific and practical issue – to establish the regularities of the influence of the previously infrared heating of veneer packages on the properties of plywood and on the basis of it the development of the innovative technology of manufacturing plywood for a reduced compression time. In this paper, the influence of infrared radiation on wood and existing sources of infrared radiation have been analyzed. The physical and mathematical models of the process of heating the pack of veneer using the energy of infrared radiation have been developed. The kinetic regularities of the process of heating the packages of veneer with and without glue with the use of infrared radiation are determined and its influence on the duration of the heating of the package of veneer and the amount of removal of moisture from it are revealed. On the basis of statistical processing of the obtained data, the influence of the main parameters of warming on the duration of gluing of plywood and the strength characteristics of plywood were determined. The technology of plywood manufacturing with the pre-heating of the veneer packet in the infrared radiation spectrum is proposed and the main parameters of the regime parameters for the given process are given. The devices, production line is developed and a method for making plywood with the prior infrared heating of veneer packages is offered. The proposed technological process of manufacturing plywood with preinfrared heating of veneer packages can significantly reduce the duration of plywood pressing. The total productivity of the enterprise with the use of this method increases by 1.7 times, which undoubtedly proves a significant intensification of the process of gluing plywood and increases the productivity of production in general.

Keywords: plywood, infrared radiation, preheating, veneer package, heating duration, gluing, pressing.