

УДК 674.093.26

ТЕПЛОМАСООБМІННІ ПРОЦЕСИ ПІД ЧАС ІНФРАЧЕРВОНОГО ПРОГРІВАННЯ ПАКЕТА ШПОНУ

О. О. ПІНЧЕВСЬКА, доктор технічних наук, професор,

Ю. О. РОМАСЕВИЧ, доктор технічних наук, професор

В. В. ФОРΟΣ, здобувач *

*Національний університет біоресурсів і природокористування
України*

*E-mails: opinchewska@gmail.com, romasevichyuriy@ukr.net,
vitjok.foros@gmail.com*

Анотація. *Наведено результати досліджень тепломасообмінних процесів, які супроводжують процес прогрівання пакета шпону за допомогою інфрачервоного випромінювання. Встановлено вплив інфрачервоного випромінювання на зміну вологовмісту пакета шпону з нанесеним клеєм після прогрівання інфрачервоним випромінюванням. Рекомендовано використання інфрачервоного випромінювання для попереднього прогрівання пакетів шпону у виробництві фанери.*

Ключові слова: *інфрачервоне випромінювання, тривалість прогрівання, пакет шпону.*

Актуальність. Упродовж останніх декількох десятиліть інфрачервоне випромінювання (ІЧ) отримало дуже широкий спектр застосування [1], майже у всіх галузях життєдіяльності людини, починаючи від харчової і медичної та закінчуючи електронікою, приладобудуванням, обігрівом і військово-промисловим комплексом.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У деревообробній галузі ІЧ випромінювання застосовують для підсушування лакофарбових покриттів, точкового прогрівання шипових з'єднань із нанесеним на них клеєм [2; 3], попереднього прогрівання зволжених чурбаків перед операцією лушіння [4], з метою збільшення пластичності. Використання ІЧ випромінювання дає змогу значно скоротити тривалість технологічних операцій із підведенням тепла, саме через радіаційний характер прогрівання, та підвищити продуктивність підприємств за рахунок інтенсифікації процесів і покращення якості продукції.

Це спонукало до досліджень застосування енергії інфрачервоного ІЧ випромінювання у фанерному виробництві. У процесі склеювання фанери пакет шпону з нанесеним клеєм підлягає операції гарячого пресування, яка є основною операцією, що впливає на кінцеву якість продукції та продуктивність підприємства загалом. Гаряче пресування характеризується високою складністю через перебіг тепломасообмінних процесів усередині пакета, що сприяє завершенню поліконденсації клею, яка починається лише за досягнення певного рівня температури. Волога,

* Науковий керівник – доктор технічних наук, професор П. А. Бехта.

© О. О. Пінчевська, Ю. О. Ромасевич, В. В. Форос, 2017

що вноситься разом із клеєм, перешкоджає підвищенню температури, адже теплова енергія витрачається на її випаровування. Відповідно до цього тривалість процесу пресування фанери зростає. Запобігти цьому можна за допомогою попереднього прогрівання пакета шпону, що дасть змогу вивести зайву вологу, яку було внесено разом із клеєм, що, безумовно, допоможе інтенсифікувати процес пресування та виробництво фанери в цілому.

Мета досліджень – аналіз тепломасообмінних процесів, які супроводжують прогрівання пакета шпону за допомогою інфрачервоного випромінювання, та визначення зміни його вологовмісту.

Методи та результати досліджень. Для виготовлення зразків використано луцений березовий шпон вологістю 6 ± 2 % і фенолоформальдегідну смолу. Після нанесення клею на листи шпону та формування пакетів шпону здійснювали їхнє попереднє прогрівання у спеціальному пристрої (рис. 1). Як джерело інфрачервоного випромінювання використано керамічний випромінювач ЕСР-1 із довжиною хвилі 4,2 мкм. Для визначення стану клею, який характеризується величиною вмісту води в пакеті шпону, проводили визначення зміни маси пакета ваговим методом із нанесеним на шпон клеєм до та після прогрівання у спектрі ІЧ випромінювання.



Рис. 1. Загальний вигляд пристрою для прогрівання пакета 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

Результати дослідження та їх обговорення. Особливість будови деревини полягає в тому, що за початкового зволоження сухої деревини вона має яскраво виражені колоїдні властивості, а за полімолекулярної конденсації – виражені властивості капілярнопористого тіла [5]. Тобто, як фізико-механічний, так і фізико-хімічний зв'язок таких тіл буде різним для

певних періодів нагрівання або охолодження, сушіння або зволоження. Складнощі, які виникають під час дослідження теплообмінних процесів, що наявні в певних технологіях деревообробної галузі, пояснюються не тільки складністю будови деревини, а й широким діапазоном змін її фізико-механічних властивостей, як природних, так і набутих під час обробки. Складність опису фізичних процесів, що відбуваються під час обробки деревини та деревинних матеріалів, зумовлено складністю взаємодії середовища з матеріалом, взаємодії різних способів передачі тепла до матеріалу та теплоперенесення в матеріалі залежно від породи деревини, щільності, вологості, напрямку щодо волокон, товщини шару, структурної особливості макро- і мікробудови деревини.

Оскільки прогрівання пакета шпону проводилося у спектрі ІЧ випромінювання, то, відповідно, необхідно враховувати терморадіаційні властивості деревини, а саме теплофізичні властивості, що характеризують у процесі переносу енергії взаємодію твердого тіла з електромагнітним випромінюванням та його перетворення на теплову енергію.

До основних терморадіаційних властивостей деревини, які мають найбільший вплив і поширення у процесах деревообробної галузі, можна віднести: поглинальну здатність A_λ , відбивну здатність R_λ , пропускну здатність T_λ , спектральну ϵ_λ і інтегральну ϵ випромінювальні здатності деревини (ступені чорноти). Вище наведені характеристики деревини, своєю чергою, залежать від довжини хвилі випромінювання λ , тобто, при потраплянні електромагнітного випромінювання (потіку випромінювання) на інше тіло, залежно від його радіаційних властивостей, електромагнітне випромінювання Q_e може бути поглинуте поверхнею тіла Q_eA , відбите поверхнею тіла Q_eR або пропущене тілом Q_eT (рис. 2) [6].

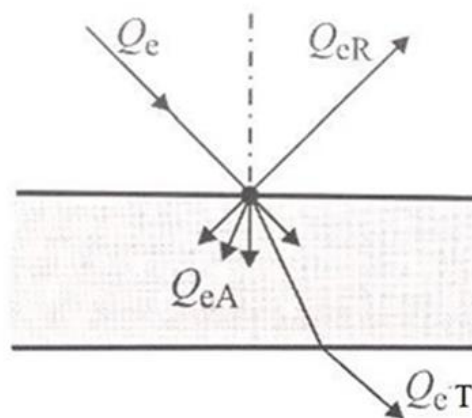


Рис. 2. Розподіл енергії електромагнітного випромінювання (променевого потоку Q_e) при потраплянні на поверхню матеріалу

Пакет шпону з погляду теорії теплової обробки являє собою «сіре» тіло та розглядається як необмежена пластина (плоска багатшарова стінка), яку можна розділити на три складові: шпон вологістю 6 %, фенолоформальдегідна смола та вода (входить до складу клею). Під час прогрівання ІЧ випромінюванням тришарового пакета шпону, тепла

енергія передається матеріалу шляхом часткового проникнення інфрачервоних променів на певну товщину (рис. 3). Кількість виділеного тепла по товщині пакета шпону зменшується за напрямком теплового потоку відповідно до закону Бугера. Тому 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 ІЧ випромінювання. За високих значень теплового потоку та товщини пакета, перенесення тепла може здійснюватися за допомогою пари. Тепло з поверхні шпону частково переноситься у навколишнє середовище, завдяки конвективній тепловіддачі від поверхонь, а також під час пароутворення.

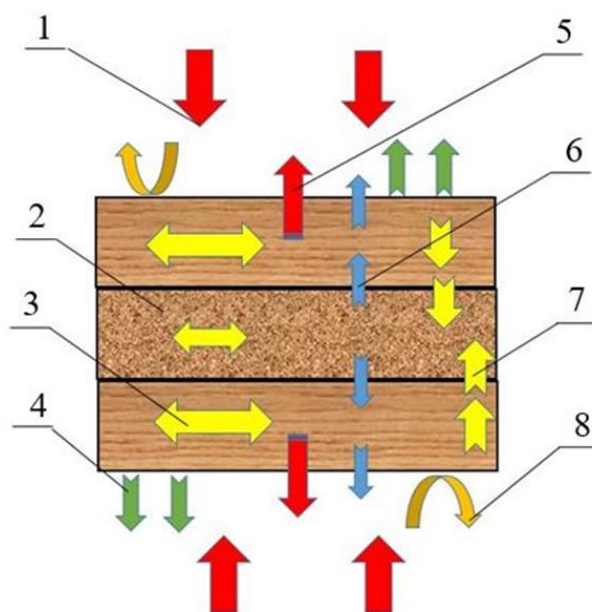


Рис. 3. Схема руху тепла та вологи по перетину пакета шпону:
 1 – тепловий потік ІЧ випромінювання; 2 – пакет шпону; 3 – поглинуте ІЧ випромінювання; 4 – тепловіддача; 5 – ІЧ випромінювання, що пройшло наскрізь; 6 – потік пари; 7 – теплопровідність; 8 – ІЧ випромінювання, що відбилося від поверхні

Оскільки пакет шпону сформований із листів з нанесеним клеєм, то відповідно його вологість зростає. Попереднє ІЧ прогрівання сприяє видаленню з пакета певного об'єму вологи, що дасть змогу скоротити тривалість операції гарячого пресування, оскільки волога не має перешкод для випаровування по всій площині та периметру пакета шпону.

Під час ІЧ прогрівання пакета шпону процес можна розділити на три періоди: I період характеризується прогріванням пакета шпону через різницю початкових температур матеріалу та джерела випромінювання, який триває приблизно до початку переходу вологи до іншого агрегатного стану (температура при цьому є близькою до 100 °С); після чого починається II період, що характеризується сповільненням зростання температури, на певний час, через протікання процесу випаровування вологи, по закінченню цього процесу настає III період; який характеризується доволі стрімким

зростанням температури, аж до досягнення необхідної встановленої температури, залежно від характеристик клею [7]. Перебіг цих фаз частково пояснюється відомими тепло-фізичними процесами, які є характерними і для процесу сушіння деревини.

При прогріванні у спектрі ІЧ випромінювання волога не має перешкод для випаровування, відповідно проходить зміна вологовмісту пакета шпону, величина якого також свідчить про інтенсивність процесу прогрівання. Проведене дослідження зміни вологовмісту пакета шпону під впливом інфрачервоного випромінювання дало змогу отримати наступні результати.

Прогрівання проводили за трьох значень густини теплового потоку: $q = 4243, 3704$ і 3045 Вт/м^2 і за таких тривалостей прогрівання: 30, 45 і 60 с. Тривалість прогрівання обрано відповідно до рекомендацій [8] – зі збільшенням температури прогрівання, для отримання міцного клейового з'єднання у всіх шарах фанери час на додаткові операції, а саме: завантаження, змикання плит пресу та підймання тиску, має бути мінімальним і не перевищувати 1,5 хв. Також потрібно зважати на характеристики використовуваного фенолоформальдегідного клею, затвердіння якого проходить шляхом нагрівання.

Швидкість реакції клею та його перехід з однієї фази в іншу пояснюють перебіг процесів, що відбуваються усередині пакета під час прогрівання, та змушують слідкувати за тривалістю операції попереднього прогрівання пакетів шпону під дією ІЧ випромінювання. Про стан клею та ступінь завершення його полімеризації свідчить вміст у ньому вологи. Для цього проводили визначення зміни ваги пакета з нанесеним на шпон клеєм до та після прогрівання у спектрі ІЧ випромінювання. Результати визначення відсоткового співвідношення внесеної з клеєм вологи та вологи, що випарувалася, графічно зображено на рис. 4.

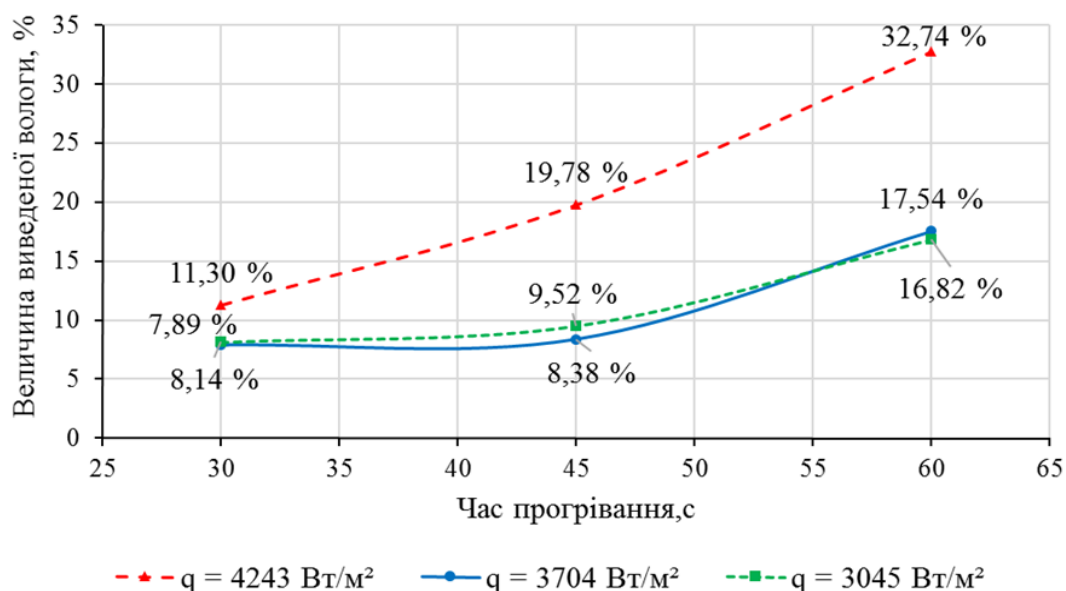


Рис. 4. Виведення вологи з пакета шпону з нанесеним клеєм після прогрівання у спектрі ІЧ випромінювання

Видно, що найбільша інтенсивність виведення вологи спостерігається за вищих значень густини потоку тепла та довшої тривалості прогрівання:

найбільша величина виведеної вологи, що становить 32,74 % від загальної маси клею, – за 4243 Вт/м² та максимальної тривалості прогрівання пакета шпону у спектрі ІЧ випромінювання. Виходячи з концепції інтенсифікації процесу пресування фанери, значення з найкоротшою тривалістю – 45 с – є перспективним для подальшого використання при формуванні режимних параметрів способу прогрівання пакетів у спектрі ІЧ випромінювання.

Висновки і перспективи. Аналіз тепломасообмінних процесів, які супроводжують процес прогрівання пакета шпону інфрачервоним випромінюванням, дав змогу розробити фізичну модель цього процесу та описати в перебіг кожного етапу.

Проведене дослідження з визначення зміни величини вологовмісту пакета з нанесеним на шпон клеєм після прогрівання у спектрі ІЧ випромінювання показує перебіг процесу виведення вологи з пакета в умовах вільного випаровування по всій площі та периметру пакета. Попереднє прогрівання дає змогу вивести до 32 % вологи з пакета шпону за короткий період часу. Це підтверджує раціональність застосування цього виду випромінювання для попереднього прогрівання пакетів шпону, перед операцією пресування.

Список використаних джерел

1. Долацис Я. А. Воздействие ИК-излучения на древесину / Я. А. Долацис, С. Г. Ильясов, В. В. Красников. – Рига : Зинатне, 1973. – 496 с.
2. Здор В. Ф. Технология механической обработки древесины. Терморационная сушка лакокрасочных покрытий / В. Ф. Здор. – Ленинград, 1964. – 86 с.
3. Вольф У. Справочник по инфракрасной технике : в 4 т. / У. Вольф, Б. Герман, Э. Ла Рокка и др. ; пер. с англ. – Т. 1. Физика излучения. – М. : Изд-во Мир, 1995. – 606 с.
4. Dupleix A. Rational production of veneer by IR-heating of green wood during peeling: Modeling experiments / A. Dupleix, S.-A. Ould Ahmedou, L. Bléron et al. // *Holzforschung*. – 2012. – Vol. 67. – № 1. – P. 53–58.
5. Požgaj A. Štruktúra a vlastnosti dreva / A. Požgaj, D. Chovanec, S. Kurjatko a iní. – Bratislava : Príroda, a.s., 1997. – 485 s.
6. Dzurenda L. Tepelné procesy v technológiách spracovania dreva / L. Dzurenda. – Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2010. – 273 s.
7. Форос В. В. Вплив інфрачервоного випромінювання на терморадіаційні характеристики деревини / В. В. Форос // Науковий вісник НУБіП України. Серія: «Лісівництво та декоративне садівництво». – 2015. – № 238. – С. 283–288.
8. Волков А. В. Справочник фанерщика. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – 486 с.

References

1. Dolatsis, J. A., Il'jasov, S. G., Krasnikov, V. V. (1973). *Vozdeystvie IK-izlucheniya na drevesinu* [Influence of IR-radiation on wood]. Riga, 496.
2. Zdor, V. F. (1964). *Tehnologyja mehanycheskoj obrabotky drevesyny. Termoradyacyonnaja sushka lakokrasochnyh pokrytyj* [Technology of

- mechanical processing of wood. Thermoradiation drying of paint and varnish coatings] Leningrad, 86.
3. Vol'f, U., German, B., La Rokka, E., et al. (1995). Spravochnyk po ynfyrakrasnoj tehnyke. Fyzyka yzluchenyja [Handbook of infrared technology. Physics of radiation]. 1. Moskow, 606.
 4. Dupleix, A., Ould Ahmedou, S.-A., Bléron, L., et al. (2012). Rational production of veneer by IR-heating of green wood during peeling: Modeling experi-ments. Holzforschung, 67 (1), 53–58.
 5. Požgaj, A., Chovanec, D., Kurjatko, S., a iní. (1997). Štruktúra a vlastnosti dreva [Structure and properties of wood]. Bratislava, 485.
 6. Dzurenda, L. (2010). Tepelné procesy v technológiách spracovania dreva [Heat processes in wood processing technologies]. Zvolen, 273.
 7. Foros, V. V. (2015). Vplyv infrachervonogo vyprominjuvannja na termoradiacijni harakterystyky derevyny [Effect of infrared radiation on thermo-radiation characteristics of wood]. Scientific Bulletin of the National University of Bioresources and Natural Resources of Ukraine. Series: Arboriculture and ornamental horticulture, 238, 283–288.
 8. Volkov, A. V., Kondrat'ev, V. P., Orlov, A. T. (2010). Spravochnyk fanerschyka [Plywood handbook]. SPb., 486.

ТЕПЛОМАССОБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ИНФРАКРАСНОМ ПРОГРЕВЕ ПАКЕТА ШПОНА

Е. А. Пинчевская, Ю. П. Ромасевич, В. В. Форос

***Аннотация.** Приведены результаты исследований тепломассообменных процессов, которые сопровождают процесс прогрева пакета шпона с помощью инфракрасного излучения. Установлено влияние инфракрасного излучения на изменение влагосодержания пакета шпона с нанесенным клеем после прогрева инфракрасным излучением. Рекомендовано использование инфракрасного излучения для предварительного прогрева пакетов шпона в производстве фанеры.*

***Ключевые слова:** инфракрасное излучение, продолжительность прогрева, пакет шпона.*

HEAT-EXCHANGE PROCESSES OF VENEER PACKAGE INFRARED HEATING

O. Pinchevska, Yu. Romasevich, V. Foros

***Annotation.** Studied of heat and mass transfer processes that accompany the process of heating the veneer package with the help of infrared radiation. The influence of infrared radiation on the change in the moisture content of a veneer pack with applied glue after heating with infrared radiation is established. It is recommended to use infrared radiation to pre-heat veneer packs in plywood production.*

***Keywords:** infrared radiation, duration of heating, veneer pack.*