

¹ Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, Україна, <https://orcid.org/0009-0004-1630-9974>

² Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, Україна, <https://orcid.org/0000-0003-2678-511X>

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ТЕРМІЧНОГО МОДИФІКУВАННЯ ДЕРЕВИНИ ЯСЕНА НА ФОРМОСТІЙКІСТЬ МЕБЛЕВИХ ЩИТІВ

Анотація. У роботі досліджено вплив параметрів процесу термічного модифікування деревини ясеня за вакуумно-кондуктивною технологією на формостійкість меблевих щитів. Експериментальні дослідження проводилися за В-планом другого порядку з варіюванням температури від 160 до 220°C та тривалості обробки від 4 до 16 годин. Встановлено, що величина відхилення від площинності зменшується зі зростанням як температури, так і тривалості термічного модифікування. За результатами експериментальних досліджень отримали регресійну залежність, яка описує залежність відхилення поверхні щитів від площинності від режимних параметрів обробки. Отримана модель характеризується високою точністю та інформативністю, що дозволяє прогнозувати показники формостійкості меблевих щитів виготовлених із термодеревини ясеня.

Ключові слова: термодеревина, меблевий щит, формостійкість, вакуумно-кондуктивна технологія.

Вступ. Плитні матеріали, у тому числі і меблеві щити, є основними конструкційними матеріалами для виробництва корпусних меблевих виробів. Стабільність їх геометричних розмірів та форми є надзвичайно важливими факторами, оскільки вони безпосередньо здійснюють вплив на цілісність конструкції та візуальний ефект готових меблів протягом їх життєвого циклу. Меблеві щити – це клеєні деревинні матеріали, виготовлені з рейок шляхом їх склеювання по ширині. У свою чергу рейки можуть бути цільними та склеєними по довжині на зубчастий шип із бездефектних відрізків. Завдяки склеюванню відносно вузьких рейок у щити, такий конструкційний матеріал має більшу стабільність розмірів та форми у порівнянні із масивною деревиною [1].

Формостійкість меблевих щитів залежить від багатьох факторів. Зокрема ширина та товщина рейок, з яких склеюється щит, мають критичний вплив на його площинність та схильність до викривлення. Розміри поперечного перерізу рейок по-різному впливають на формостійкість: збільшення їх товщини покращує стабільність форми щита, тоді як збільшення ширини призводить до збільшення величини відхилення від площинності поверхні меблевого щита. Для твердолистяних порід (наприклад, бука) рекомендується дотримуватися співвідношення товщини до ширини рейки на рівні 1:3 (наприклад, при товщині щита 16 мм ширина рейок має становити 40-50 мм) [2]. Для шпилькових порід (наприклад, сосни) мінімальне відхилення від площинності фіксується при використанні ще вужчих рейок – шириною близько 20 мм [3]. Не менш важливим фактором, який впливає на жолоблення меблевих щитів є орієнтація річних кілець рейок. Меблеві щити, які виготовлені з рейок, річні кільця яких розміщені під кутом близьким до 90° до пласти щита (рейки радіального розпилу), краще зберігають площинність поверхні ніж ті, які виготовленні із рейок тангентального розпилу [4]. Значний вплив на формостійкість та стабільність геометричних розмірів меблевих щитів чинять умов експлуатації готових меблевих виробів, зокрема зміна вологості повітря навколишнього середовища, а отже і зміна рівноважної вологості деревини. Анізотропність деревини – різний ступінь

розбухання та всихання у різних напрямках (радіальний, тангентальний та вздовж волокон), значно погіршує здатність конструкційних елементів з неї утримувати свої форму та розміри незмінними протягом всього терміну експлуатації.

Термічне модифікування деревини – це екологічний спосіб підвищення розмірної стабільності та формостійкості деревинних матеріалів та виробів з них. Зазвичай термічну обробку проводять у діапазоні температур 160...240°C. Під дією високої температури першочергово деградують геміцелюлози з виділенням летких продуктів, змінюється структура целюлози та відбуваються конденсаційні перетворення лігніну [5,6,7,8]. Хімічні зміни структури деревини, які пов'язані із зменшенням вмісту гідроксильних груп, призводить до зниження гігроскопічності й поліпшення розмірної стабільності.

Дослідження меблевих щитів із термодеревини липи показали, що після трьох місяців їхнього перебування на відкритому повітрі вони мали на 70% менше об'ємне розбухання у порівнянні із меблевими щитами з термічно не обробленої деревини [9]. Дослідження площинності поверхні комбінованих меблевих щитів, виготовлених шляхом поєднання ділянок із термодеревини ясена, обробленої за вакуумно-кондуктивною технологією обробки деревини та ділянок термічно не обробленої деревини ясена показали, що більший вплив на формостійкість має фактор температури обробки у порівнянні із фактором часу обробки [10]. Ділянки деревини, оброблені при високій температурі (наприклад, 220°C), значно краще зберігають свої геометричні розміри та форму у порівнянні з ділянками деревини, обробленою за значно нижчих температур (160°C), або необробленої.

Одним з основних факторів жолоблення деревинних матеріалів є зміна їх вологості під впливом параметрів навколишнього середовища. Переважна більшість наукових публікацій, присвячених дослідженню формостійкості меблевих щитів, стосується обмеженого переліку порід деревини, підданих термічній обробці; водночас у науковій літературі відсутні відомості про формостійкість меблевих щитів повністю виготовлених із термодеревини ясена, що й зумовило проведення наших досліджень.

Методика експериментальних досліджень. Експериментальні дослідження формостійкості меблевих щитів, виготовлених із термодеревини ясена проводили за В-планом другого порядку із двома факторами: температура ($t, ^\circ\text{C}$) та тривалість (τ , год) обробки. Температуру обробки змінювали в інтервалі 160...220°C, а тривалість обробки в інтервалі 4...16 год. Термічне модифікування деревини ясена проводили за вакуумно-кондуктивною технологією. Для цього заготовки деревини ясена розмірами 500×120×30 мм та з початковою вологістю 10% поміщали у герметичну ємність експериментальної установки (рис. 1), створювали розрідження із залишковим тиском не більше 20 кПа, а нагрів деревини здійснювали кондуктивним методом за допомогою грюючих плит.

Процес термічної обробки відбувався у чотири етапи:

- 1) нагрівання заготовок деревини до температури 100°C (контроль температури проводили на поверхні заготовок деревини), з постійною рівномірною швидкістю 10°C/год;
- 2) створення розрідження не більше 20 кПа, температуру доводили до необхідного рівня (160°C, 190°C, 220°C) зі швидкістю 10°C/год;
- 3) при досягненні необхідного рівня температури деревини, її витримували при цій температурі протягом заданого часу (4 год, 10 год, 16 год);
- 4) на останньому етапі термічної обробки здійснювали охолодження деревини до 100°C, після чого в ємність впускали повітря для інтенсивнішого охолодження. Охолоджували деревину в експериментальній установці до температури 30°C.

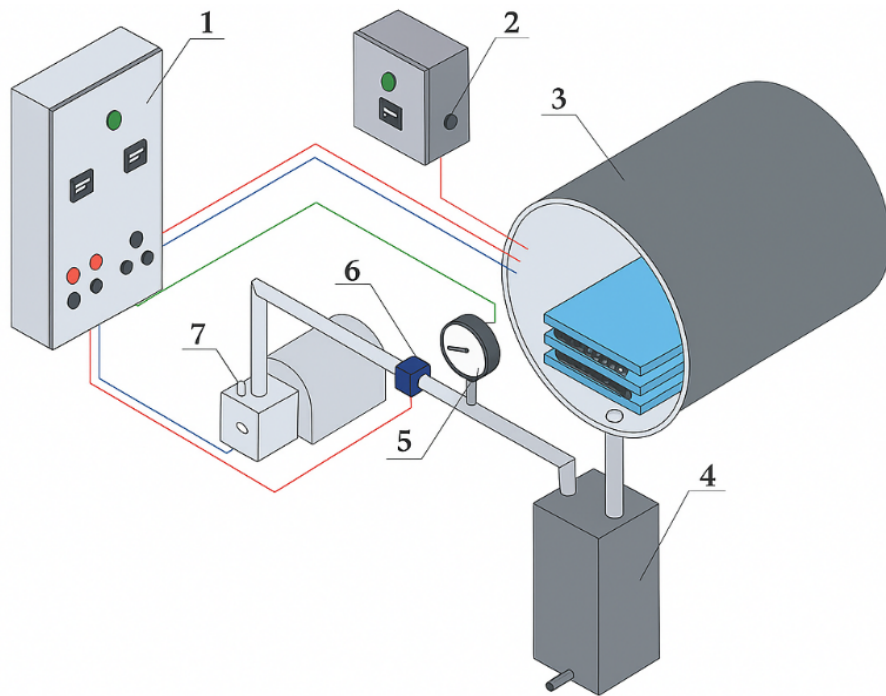


Рис.1. Схема експериментальної установки для проведення термічного модифікування деревини: 1 – система автоматичного керування процесом термічної обробки деревини; 2 – багатоканальний регулятор температури РТ-0108-8; 3 – камера термічної обробки; 4 – ємність для конденсату; 5 – електроконтактний вакуумметр ЄКВ-1У; 6 – засувка з електроприводом; 7 – вакуумна pompa

Експериментальні взірці меблевих щитів виготовляли із ділянок термодеревини ясена із поперечним перерізом 45×18 мм. Для формування клейових з'єднань між окремими ділянками деревини, використовували однокомпонентний поліуретановий клей PUR 501.0 (Kleiberit). Витрата клею PUR 501.0 при ручному нанесенні становила 190 г/м^2 , а в'язкість клею за Брукфілдом – $8,000 \text{ мПа}\cdot\text{с}$. Технологічний процес виготовлення експериментальних взірців меблевих щитів (300×210 мм) був реалізований таким чином: поздовжній розкрій заготовок (ширина заготовок $b_1 = 50$ мм, довжина заготовок $l_1 = 450$ мм); формування базових поверхонь; формування розмірів поперечного перетину (45×24 мм); склеювання заготовок на гладку фугу; видалення залишків клейового матеріалу; формування базової поверхні меблевих щитів; формування розміру меблевих щитів за товщиною ($h = 18$ мм); форматне оброблення експериментальних взірців по периметру ($b = 210$ мм, $l = 350$ мм). Заготовки перед склеюванням сортували, підбирали за поперечним перерізом та текстурою. Тривалість відкритої технологічної витримки заготовок з нанесеним клеєм становила 5 хв, а тривалість пресування – 4 год.

Вимірювання величини відхилення поверхні меблевих щитів від площинності здійснювали після їх витримки при кімнатних умовах (температура повітря – 22 ± 2 °С, відносна вологість повітря – 60 %) . Вимірювання проводили за допомогою автоматизованої експериментальної установки: на штативі автоматизованої експериментальної установки, за допомогою гвинтового кріплення встановлювали механічний індикатор годинникового типу ИЧ-10-0,01, що відповідає вимогам ТУ У 33.2-30291682-006:2010. Для оцінки площинності проводили вимірювання величини відхилення від номінальної товщини експериментальних взірців (18 мм). Заміри на експериментальних взірцях проводили вздовж їх більшої сторони. У даному напрямку вимірювання проводили по 7-ми умовних лініях розташованих на поверхні щита з кроком 35 мм (рис. 2). Внаслідок вимірювань на кожній лінії фіксували 7 точок (з кроком 50 мм). Таким чином за результатами одного вимірювання отримували вибірку сукупність обсягом 49 значень. Значенням величини стріли прогину вважали різницю між

максимальним та мінімальним значеннями відхилення від номінального розміру в даній вибірковій сукупності.

Перше дослідження площинності комбінованих меблевих щитів проводили після двох тижнів їх витримки всередині приміщень за нормальних умов. Наступні дослідження проводили із періодичністю в 1 тиждень. Дослідження площинності проводили до того часу, поки різниця між суміжними значеннями відхилень не стала меншою за 5 %. Остаточні показники відхилення поверхні від площинності, враховують відхилення, що пов'язані із технологічною точністю обладнання та відхилення, що пов'язані безпосередньо із деформацією щитів. Площинність експериментальних взірців характеризується різницею між найменшим та найбільшим значенням відхилення від номінальної товщини щитів.

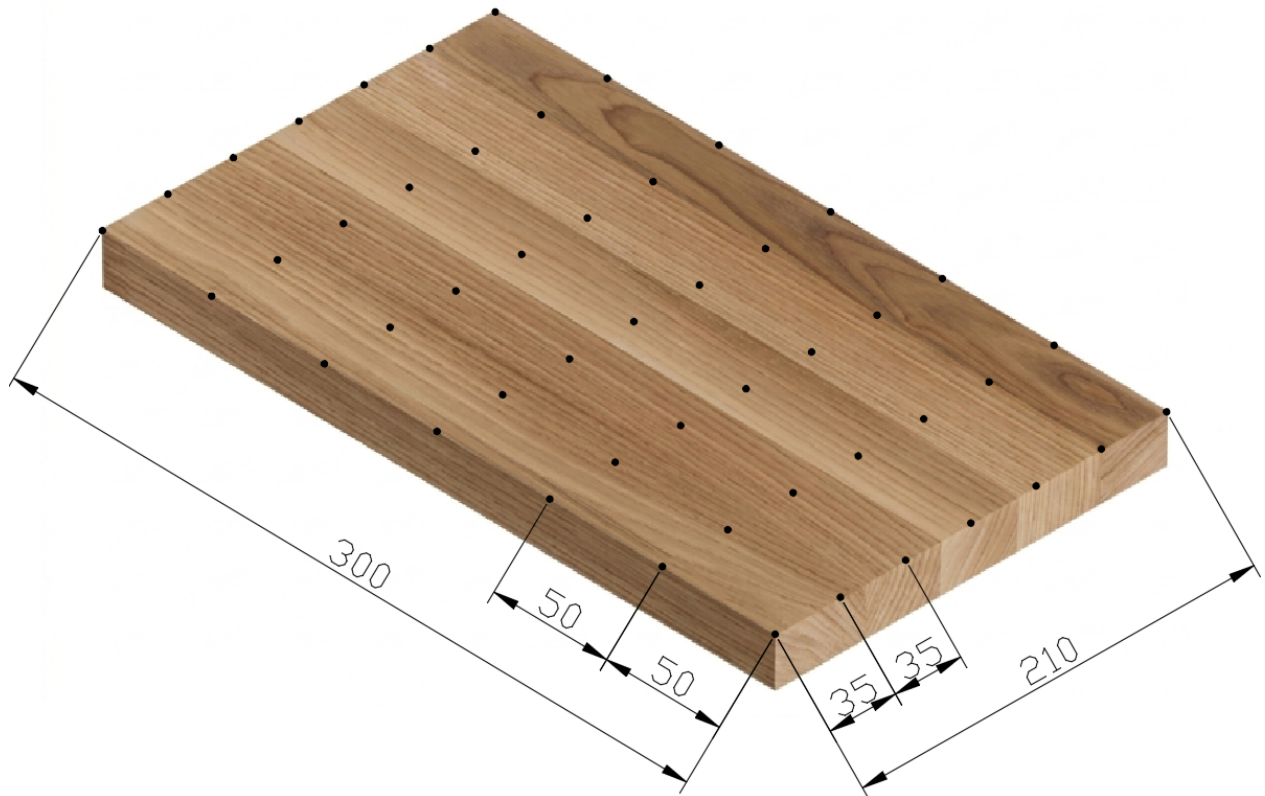


Рис. 2. Схема розмітки меблевого щита для проведення експериментального вимірювання величини відхилення поверхні пласті від площинності

Результати. Результати визначення величини відхилення поверхні меблевого щита від площинності (температура обробки деревини $t = 190^\circ\text{C}$, тривалість обробки деревини $\tau = 16$ год.) зведені у таблицю 1.

Статистичну обробку експериментальних даних було виконано за допомогою табличного процесора Excel, зокрема, розрахунок коефіцієнтів рівняння регресії (за допомогою функції “Регресія” пакету “Аналіз даних”). У результаті було отримано регресійну залежність формостійкості меблевих щитів виготовлених із термодеревини ясена від режимних параметрів ВКТОД: температури обробки (t , $^\circ\text{C}$) та часу обробки (τ , год) у кодованій формі (1) та натуральній формі (2):

$$y = 0,215 - 0,07333 \cdot x_1 - 0,03667 \cdot x_2 + 0,025 \cdot x_1^2 + 0,005 \cdot x_2^2 - 0,01 \cdot x_1 \cdot x_2 \quad (1)$$

де, x_1 – кодоване позначення фактора температури обробки, $x_1[-1; +1]$;

x_2 – кодоване позначення фактора тривалості обробки, $x_2[-1; +1]$.

$$h = 1,651 - 124,444 \cdot 10^{-4} \cdot t + 16,667 \cdot 10^{-4} \cdot \tau + 27,7778 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 + 138,8889 \cdot 10^{-6} \cdot \tau^2 - 55,5556 \cdot 10^{-6} \cdot t \cdot \tau \quad (2)$$

Геометрична інтерпретація одержаної регресійної моделі в межах області проведення експерименту представлена на рисунках 3 та 4.

Таблиця 1.

Результати визначення величини відхилення поверхні меблевого щита від площинності (температура обробки деревини $t = 190\text{ }^{\circ}\text{C}$, тривалість обробки деревини $\tau = 16$ год.)

Координата точки по довжині меблевого щита, мм	Координата точки по ширині меблевого щита, мм						
	0	35	70	105	140	175	210
0	0,19	0,19	0,18	0,14	0,11	0,09	0,06
50	0,17	0,18	0,15	0,11	0,09	0,06	0,04
100	0,12	0,13	0,14	0,1	0,07	0,03	0,02
150	0,07	0,08	0,08	0,07	0,05	0,02	0,01
200	0,03	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01
250	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
300	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

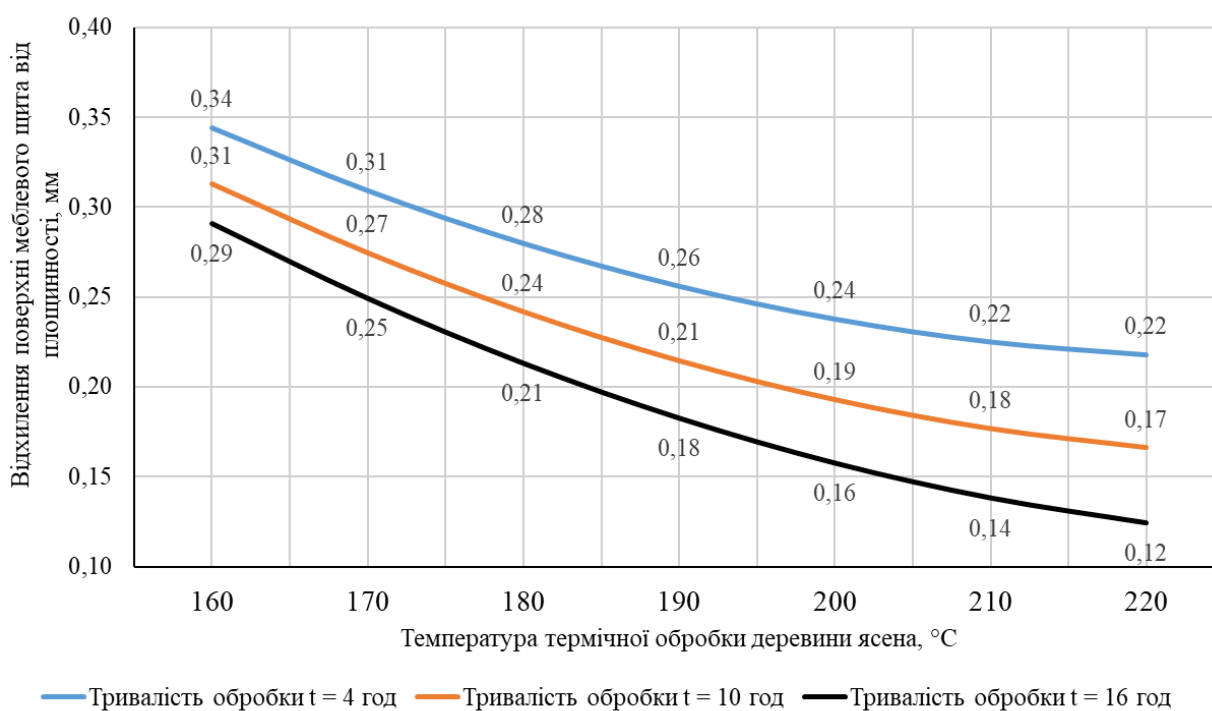


Рис. 3. Залежність величини відхилення поверхні меблевого щита від площинності від температури термічної обробки деревини

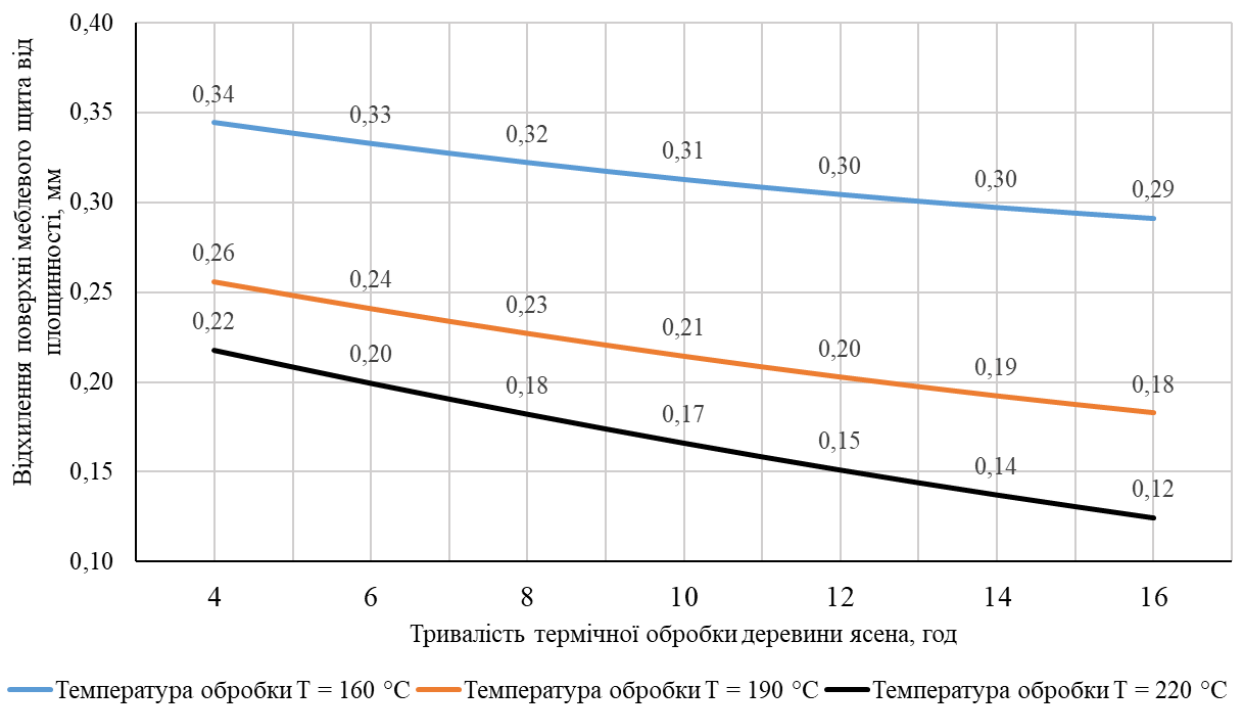


Рис. 4. Залежність величини відхилення поверхні меблевого щита від площинності від тривалості термічної обробки деревини

Висновки. Коефіцієнт детермінації R^2 отриманої регресійної моделі рівний 0,996, що підтверджує високу точність апроксимації та інформативність моделі. Середнє значення відносної похибки між експериментальними значеннями міцності клейового з'єднання та розрахунковими становить 1,98 %, що засвідчує високу точність отриманої моделі.

Результати експериментальних досліджень показали, що величина відхилення поверхні меблевого щита від площинності зменшується зі зростанням температури та тривалості термічного модифікування. При максимальних параметрах обробки ($t = 220^\circ\text{C}$, $\tau = 16$ год) відхилення від площинності становить 0,13 мм.

Джерела

1. Podibka T. A investigation of form of stability of variously designed furniture board made of pine wood of different constructions // *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*. 2020. Issue 46. P. – DOI: <https://doi.org/10.36930/42204613>.
2. Podibka T. I., Kiyko O. A. A study of the influence of the transverse dimensions of beech strips on the form stability of furniture board // *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*. 2019. Vol. 45. P. 155–171. DOI: <https://doi.org/10.36930/42194521>.
3. Гайда С. В., Подібка Т. І. Формостійкість меблевих щитів із сосни звичайної // *Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2024) : тези доп. XIV Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Чернігів, 23–24 трав. 2024 р.) : у 2 т. Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2024. Т. 1. С. 211–212.*
4. Johansson J., Sandberg D. Design of form stable and crack free edge-glued oak panels // *Hardwood Research and Utilisation in Europe – New Challenges: conference proceedings, 6 September 2005, University of West Hungary, Faculty of Wood Sciences, Sopron, Hungary. 2005.*
5. Hill C., Altgen M., Rautkari L. Thermal modification of wood – A review: Chemical changes and hygroscopicity. *Journal of Materials Science*. 2021. Vol. 56. P. 6581–6614. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10853-020-05722-z>.
6. Kubovský I., Kačíková D., Kačík F. Structural changes of oak wood main components caused by thermal modification. *Polymers*. 2020. Vol. 12. P. 485. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym12020485>.

7. Lin B.-J., Colin B., Chen W.-H., Pétrissans A., Rousset P., Pétrissans M. *Thermal degradation and compositional changes of wood treated in a semi-industrial scale reactor in vacuum*. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 2018. Vol. 130. P. 8–18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2018.02.005>.
8. He Z., Wang Z., Qu L., Qian J., Yi S. *Gaseous decomposition products from wood degradation via thermogravimetric and fourier transform infrared analysis during thermal modification of beech and pine woods*. BioResources. 2019. Vol. 14(3). P. 6883–6894. DOI: <https://doi.org/10.15376/biores.14.3.6883-6894>.
9. Olarescu M. C., Campean M., Cosereanu C. *Shape- and dimensional stability of solid wood panels made from heat-treated lime wood strips* // European Journal of Wood and Wood Products. – 2017. – Vol. 75. – P. 467–471. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s00107-016-1141-z>.
10. Ільків М. М., Солонинка В. Р., Грицак С. А., Білий Я. М. *Дослідження впливу режимних параметрів процесу термічної обробки деревини ясеня на формостійкість комбінованих меблевих щитів* // Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість : міжвід. наук.-техн. зб. – Львів : НЛТУ України, 2019. – Вип. 45. – С. 47–55. DOI: <https://doi.org/10.36930/42194507>