

## ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ У ТЕХНОЛОГІЇ СУШІННЯ ДУБОВОГО ШПОНУ

Боярчук В. М., Коробка С. В., Кригуль Р. Є., Бабич М. І.

Львівський національний аграрний університет

*Запропоновано використовувати сонячну енергію у технології сушіння дубового шпону, що дасть змогу підвищити технологічну та енергетичну ефективність процесу.*

**Постановка проблеми.** Якісне сушіння дубового шпону є один з найбільш затребуваних технологічних процесів у лісовому комплексі України. Сьогодні на ринку існує багато високотемпературних апаратів для високоякісного та економічного сушіння деревини в "м'яких режимах». Проте їх застосування є нерентабельним за невеликих об'ємів переробки пиломатеріалів у малих побутово-господарських столярних цехах (МППСЦ). Це насамперед пов'язано з високими капітальними вкладеннями. Крім цього, великою проблемою для МППСЦ, які надають послуги стосовно сушіння пиломатеріалів є кінцева якість деревини після сушіння. Також зустрічаються не поодинокі випадки, коли у зв'язку з незадовільними результатами сушіння пиломатеріалів, власникам МППСЦ доводиться відшкодовувати збитки замість отримання прибутку.

У зв'язку із цим, для запобігання таких ситуацій необхідно застосовувати сучасні сушильні агрегати, зокрема геліотермічні установки з активною системою використання сонячної енергії, що дозволяють мінімізувати економічні, енергетичні фактори сушіння на всіх його етапах. Тому, розроблення даного виду сушильного обладнання, що працює за рахунок сонячної енергії є ідеальним рішенням для виконання поставленої задачі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Обґрунтування найкращих режимів роботи геліотермічних сушильних агрегатів із забезпеченням найбільшої ефективності процесу сушіння мінімальними енергетичними витратами є важливим завданням. Оскільки складність даного процесу обумовлена перебігом взаємозалежних енергетичних, кінетичних, динамічних параметрів та тепломасообмінних процесів і високою мінливістю фізичних властивостей дубового шпону [1].

Натомість залишається мало досліджуваним питання ефективності процесу сушіння шпону за рахунок використання сонячної енергії та сушарок заснованих на її принципі роботи. Тому, що більшість розроблених конструкцій існуючих сушарок виконано для країн зі спекотним кліматом, а їхній принцип роботи та процес сушіння досліджено у лабораторних умовах або за допомогою імітаційних-моделей під час комп'ютерного моделювання. Тому, відомі конструкції сушарок потребують модифікації та удосконалення з метою підвищення ефективності роботи в умовах помірного континентального клімату Західної України та зменшення капітальних і експлуатаційних затрат [2].

Наведені аргументи дали змогу визначити основні напрями підвищення технологічної ефективності проце-

су сушіння з використанням сонячної енергії. Відсутність на ринку сушильних апаратів такого типу формує задачу розробки конструкції геліосушарки з раціональними технологічними параметрами, яку можна було б використовувати для МППСЦ [2].

**Мета статті** є інтенсифікація процесу сушіння дубового шпону з використанням сонячної енергії шляхом об'єднання у єдиний енергетичний блок в геліосушарці повітряного колектора та сушильної камери.

**Основні матеріали дослідження.** Геліосушарка – це різновид геліотермічного сушильного обладнання, призначений для сушіння рослинних матеріалів, зокрема дубового шпону, що працює від Сонячної енергії, а саме перетворення Сонячної енергії в тепло-ву енергію [2].

Застосування сонячної енергії для сушіння дубового шпону є прийнятним для широти розташування Рівненської області, яка має середньорічну потужність сонячного випромінювання порядку 3,41 кВт·год/м<sup>2</sup> за світловий день. Це дозволяє з 1 м<sup>2</sup> площі повітряного колектора отримати від 1,5 до 2,3 кВт·год енергії за добу.

Нами пропонується міні-геліосушарка для сушіння дубових пиломатеріалів, що наведено рис. 1. Даний прототип сушильної установки був розроблений на кафедрі енергетики Львівського національного аграрного університету.

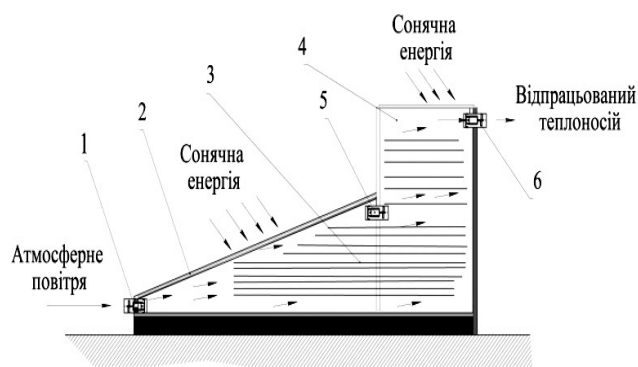


Рисунок 1 – Технологічна схема геліосушарки: 1 – осьовий нагнітальний вентилятор; 2 – повітряний геліоколектор; 3 – висушувальний матеріал (шпон); 4 – сушильна камера; 5 – осьовий нагнітальний вентилятор, 6 – витяжний осьовий вентилятор [2]

Геліосушарка має рамну конструкцію розміром 2800×1200×1200 мм виготовлену із струганого соснового бруса розміром 50×50 мм. Повітряний колектор 2 розмірами 1500×1200 мм розміщений на передній

фронталі під кутом  $\beta_{\text{омт}}=40,4^\circ$  до горизонту та складається із світлопрозорого матеріалу і абсорбера. Світлопрозорим матеріалом є скло зі складом 72%  $\text{SiO}_2$ , 13%  $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ , 11%  $\text{Ca}$ ; 4%  $(\text{R}_2\text{O}_3+\text{MgO})$ ). Абсорбер виготовлений із листової міді розміром  $1000 \times 1500$  мм та обпалено газовим різакком для утворення шорсткості поверхні у 390 мкм. Поверхню абсорбера вкрили селективною фарбою з товщиною шару покриття  $\lambda \approx 4,40$  мкм із технічними характеристиками коефіцієнтами короткохвильового поглинання  $\alpha \approx 0,92$ , довгохвильового випромінювання  $\varepsilon \approx 0,48$ , з товщиною шару покриття  $\lambda \approx 4,40$  мкм.

На бічній стінці колектора 2 зроблено вхідний канал для подачі повітря в сушильну камеру 4 з осьовим нагнітальним вентилятором 1 типу ebm-papst 3200J Series Axial Fan. Циркуляція теплоносія зі швидкістю 1...3 м/с у сушильній камері забезпечується осьовим нагнітальним вентилятором 5 типу ebm-papst 3200J Series Axial Fan, що закріплений на поворотному шарнірному механізмі. Видалення відпрацьованого теплоносія у верхній частині сушильної камери здійснюється з регулюванням обертів осьового вентилятора 6 типу ebm-papst 3200J Series Axial Fan. Розроблена автоматична система контролю вологовиділення, вологовиділення та повітрообміну у геліосушарці, як з автономним так і мережевим живленням. Дана система укомплектована вдосконаленим контролером K1-102 та датчиками контролю циркуляції, температури, вологи теплоносія і висушуваного матеріалу. Керуючим елементом у системі контролю є контролер K1-102 з давачами, а виконавчим елементом є 3 осьові вентилятори.

Геліосушарка працює таким чином. Сушильна камера заповнюється дубовим шпоном 5 поліс (розміром  $0,6 \times 2500 \times 100$  мм). Повітря з навколишнього середовища надходить у колектор, нагрівається та потрапляє в сушильну камеру. Відпрацьований теплоносій видалається вимушеною конвекцією в навколишнє середовище через витяжний канал. У випадку мінливої хмарності в геліосушарці значну частину циклу сушіння складають перехідні процеси, а при тривалому затінненні та вночі – переходить у режим атмосферної сушарки.

Таким чином, розроблена конструкція геліосушарки відповідає концепції активної сонячної енергетичної установки.

Натурні випробування геліосушарки проводили в ТзОВ «Зоря», що розташоване у м. Корці Рівненської області (Україна), у літньо-осінній період з 16 липня до 9 жовтня 2019 р. [2].

На основі аналізу природних погодо залежних факторів виявлено, що повне співпадіння параметрів потоку сонячної енергії, температури і вологості зовнішнього повітря освітлення, швидкості і сили вітру впродовж двох послідовних місяців малоімовірно. Тому, неупередженим фактором впливу того чи іншого параметра на кінцевий результат залишається порівняння часових залежностей відповідних величин. Наприклад, енергетичні параметри роботи геліосушарки були різними, а саме коливання піків температури та енергетичної освітленості, що наведено на рис. 2.

Енергетична освітленість, яка надходить на горизонтальну поверхню повітряного колектора під кутом

$\beta_{\text{омт}}=40,4^\circ$ , географічної широти (для м. Корець, Рівненська область –  $50,61^\circ$ ) впродовж двох місяців з 1.06.2018 р. до 29.07.2018 р. коливалася у межах  $E$  від  $450 \text{ Вт/м}^2$  до  $1269 \text{ Вт/м}^2$ .

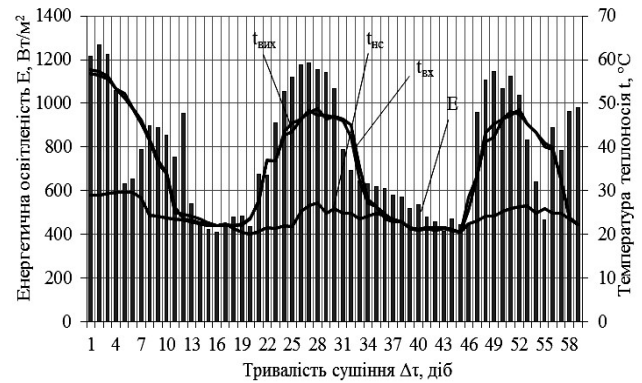


Рисунок 2 – Енергетичні параметри роботи геліосушарки у період з 1.06.2019 р. по 29.07.2019 р.: [2]

Такі мінімальні та максимальні піки коливань енергетичної освітленості можна пояснити хмарністю, непрозорістю та забруднюваністю атмосфери. Зокрема, якщо подивитися на стовпчикову гістограму томи побачимо, що мінімальні значення енергетичної освітленості були у різні періоди сушіння  $\Delta t$  були з 13 по 20 добу або з 42 по 47 добу. Це пояснюється різкою зміною погодо залежних факторів, а саме сезоном дощів наприклад 13.06.2018 р. погода утримувалася хмарна з опадами. Ступінь прозорості атмосфери коливався у межах від 0,42 до 0,6. Потік повітряних мас (вітер) коливався у межах від 1,3 м/с до 2,8 м/с. Максимальні піки енергетичної освітленості можна пояснити тим, що 25.06.2018 р. ( $\Delta t=25$  доба періоду сушіння шпону) погода утримувалася ясна, без опадів. Ступінь прозорості атмосфери коливався у межах від 0,72 до 0,86. Потік повітряних мас (вітер) коливався у межах від 1 м/с до 2,2 м/с. Температура навколишнього середовища повітря на вході у геліосушарку коливалася  $t_{\text{вх}}$  в межах від  $18,5^\circ\text{C}$  до  $32,3^\circ\text{C}$ . Температура теплоносія у колекторі  $t_{\text{вх}}$  становила в межах від  $20,5^\circ\text{C}$  до  $57,3^\circ\text{C}$ , а на виході з сушильної камери  $t_{\text{вих}}$  була в межах від  $21,3^\circ\text{C}$  до  $56,9^\circ\text{C}$ . Відносна вологість повітря навколишнього середовища на вході у колектор коливалася  $\varphi_{\text{вх}}$  від 28,9 до 82 % (рис. 3).

Відносна вологість теплоносія на виході з сушильної камери  $\varphi_{\text{вих}}$  була в межах від 30,8 до 85,3 %. Порівняльний аналіз отриманих результатів (рис. 4) показує, що вологовміст атмосферного повітря в період випробувань  $X_{\text{вх}}$  коливався від 0,019 до 0,0055 кг/кг, а відпрацьованого теплоносія на виході з сушильної камери  $X_{\text{вих}}$  змінювався від 0,024 до 0,067 кг/кг.

Отож, температура теплоносія у геліосушарці коливається в межах від  $18,5^\circ\text{C}$  до  $56,9^\circ\text{C}$ . Такі, мінімальні та максимальні піки коливань температури теплоносія у геліосушарці у різні періоди сушіння шпону пов'язані з великою розбіжністю та нерівномірністю інтенсивності сонячної енергії та зміна її величини у різні періоди сушіння  $\Delta t$  були з 13 по 20 добу або з 24 по 31 добу.

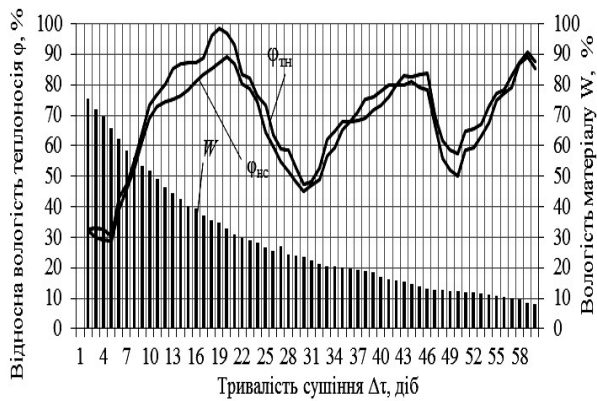


Рисунок 3 – Кінетичні параметри процесів вологовіддачі в геліосушарці у період з 1.06.2019 р. по 29.07.2019 р. [2]

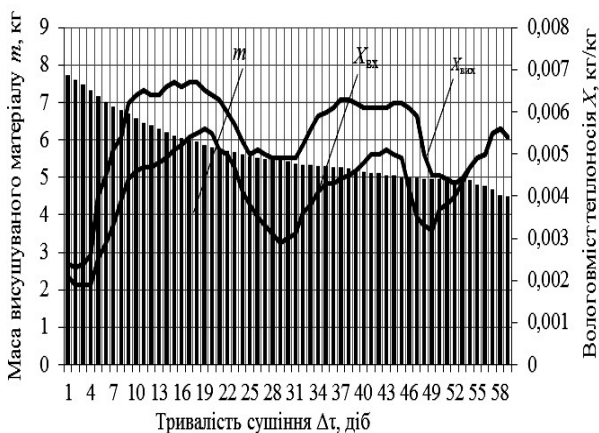


Рисунок 4 – Динаміка процесів масообміну в геліосушарці у період з 1.06.2019 р. по 29.07.2019 р. [2]

Тому, параметри теплоносія у сушильній камері із зростанням температури та пропорційним збільшенням відносної вологості повітря контролюються збільшенням циркуляції теплоносія від 1 до 3 м/с та навпаки.

Таким чином, під час сушіння шпону за вологості матеріалу  $W$  від 75,3% до 6% та маси пиломатеріалів  $m$  від 7,73 до 4,41 кг температура теплоносія повинна коливатися, наприклад  $t_{вх}=25$  °С, а  $t_{вих}=31$  °С, то відносна вологість повітря повинна бути  $\phi_{нч}=72,1\%$ , а  $\phi_{вих}=75,9\%$ , вологовміст  $X_{вх}=0,0055$  кг/кг, а  $X_{вих}=0,067$  кг/кг. Тобто, вихідна температура, вологість теплоносія повинна бути у 1,5 рази вища порівнянні з вхідною  $t_{вх} < t_{вих}$ ,  $\phi_{нч} < \phi_{вих}$ ,  $X_{вх} < X_{вих}$ , якщо дана умова не забезпечується, то необхідно у сушильній камері збільшити вимушену конвекцію перемішування повітряних мас теплоносія (активно вентилювати). Тому, що на стінках геліосушарки та на поверхні матеріалу виникне явище точки роси, за рахунок перенасичення теплоносія надлишковим конденсатом водяної пари.

Основним недоліком геліосушарок є контроль за некерованими параметрами процесу сушіння, які зводяться до регулювання його вологості та вологовмісту, а регулювання температури можливо тільки в сторону зменшення їхніх значень. Тому, що температура, вологість та

вологовміст теплоносія у геліосушарці коливаються в досить широкому діапазоні в залежності від погодних умов, часу доби, конфігурації енергетичного блоку сушарки, інтенсивності сонячної енергії.

Тому, процес сушіння дубового шпону необхідно контролювати за кінетичними і динамічними параметрами процесу, а саме за зміною маси  $m$ , вологості  $W$  і вологовмісту  $X$  висушуваного матеріалу та отриманою якістю сировини.

**Висновки.** Розроблено новий тип геліотермічного сушильного обладнання з активною системою використання сонячної енергії.

Досліджено вплив фізичних параметрів навколишнього середовища та погоди залежних факторів на тепло-, масо- і вологообмінні процеси сушіння дубового шпону у геліосушарці. На їхній основі побудовані гістограми енергетичних, кінетичних та динамічних параметрів процесу сушіння дубового шпону для визначення тривалості сушіння, оцінки якості висушуваного матеріалу та робочих характеристик геліосушарки.

#### Список використаних джерел

1. Boyarchuk V., Korobka S., Babych M., Krygul R. Results of research into kinetic and energy parameters of convection fruit drying in a solar drying plant. Eastern European Journal of Enterprise Technologies 2018. Vol. 6. Issue 8 (96). P. 74-85 (DOI: 10.15587/1729-4061.2018.147269, www.jet.com.ua).

2. Babych M., Krygul R., Shapoval S, Tolstushko N., Korobka S., Tolstushko M Results of experimental researches into process of oak veneer drying in the solar dryer. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. Vol 2, №8 (98) P.13-22. (DOI: 10.15587/1729-4061.2019.162948, www.jet.com.ua).

#### Аннотація

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В ТЕХНОЛОГИИ СУШКИ ДУБОВОГО ШПОНА

Боярчук В. М., Коробка С. В., Кригуль Р. Е., Бабич М. И.

*Предложено использовать солнечную энергию в технологии сушки дубового шпона, что позволит повысить технологическую и энергетическую эффективность процесса.*

#### Abstract

### USE OF SOLAR ENERGY IN OAK VENEER DRYING TECHNOLOGIES

V. Boyarchuk, S. Korobka, R. Krygul, M. Babych

*Proposed to use solar energy in the drying technology of oak veneer, which will increase the technological and energy efficiency of the process.*