

ВИКОРИСТАННЯ ГЕЛІОТЕРМІЧНИХ УСТАНОВОК ТА СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ У ТЕХНОЛОГІЇ СУШІННЯ ФРУКТІВ

В. М. Боярчук¹, к.т.н.,
С. В. Сиротюк¹, к.т.н.,
С. В. Коробка¹, к.т.н.,
В. М. Сиротюк¹, к.т.н.,
І. Г. Стукалець¹ к.т.н.,

¹Львівський національний аграрний університет, м. Львів, Україна.

Постановка проблеми. Сушіння – теплофізичний процес, спрямований на видалення вологи з продукту. Проте даний процес матеріалів є одночасно й технологічним процесом, під час якого необхідно не тільки видалити зайву вологу, а й зберегти поживні речовини, вітаміни, ароматичні та смакові якості продукту.

Сьогодні існує багато високотемпературних автоматизованих апаратів для сушіння фруктів. Проте їх застосування є нерентабельним за невеликих об'ємів переробки свіжозібраних фруктів в умовах особистих селянських і фермерських господарств, що пов'язано з великими капітальними вкладеннями, високими енерговитратами. Недоліками цих сушильних установок є: забруднення фруктів і довкілля токсичними продуктами горіння палива; нерівномірність нагрівання фруктової маси і висока швидкість сушіння, що призводить до пересушування, деформації і розтріскування матеріалу; великі витрати енергоносіїв. Застосування природного сушіння фруктів на відкритому повітрі в умовах природного освітлення вимагає значних затрат праці та має низьку продуктивність [1].

У зв'язку з цим необхідність розробки технічних засобів сушіння фруктів на основі альтернативних джерел енергії, що забезпечують енерго-, ресурсозберігання, виконання екологічних вимог, зумовлює актуальність дослідження.

Основні матеріали дослідження. Геліотермічна установка для сушіння фруктів (геліосушарка) – це різновид геліотермічного сушильного обладнання, призначений для сушіння рослинних матеріалів, зокрема фруктів, що працює від Сонячної енергії, а саме перетворення Сонячної енергії в теплову енергію [2].

Застосування сонячної енергії для сушіння фруктів є прийнятним для широти розташування Рівненської області, яка має середньорічну потужність сонячного випромінювання порядку 3,41 кВт·год/м² за світловий день. Це дозволяє з 1 м² площі повітряного колектора отримати від 1,5 до 2,3 кВт·год енергії за добу.

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

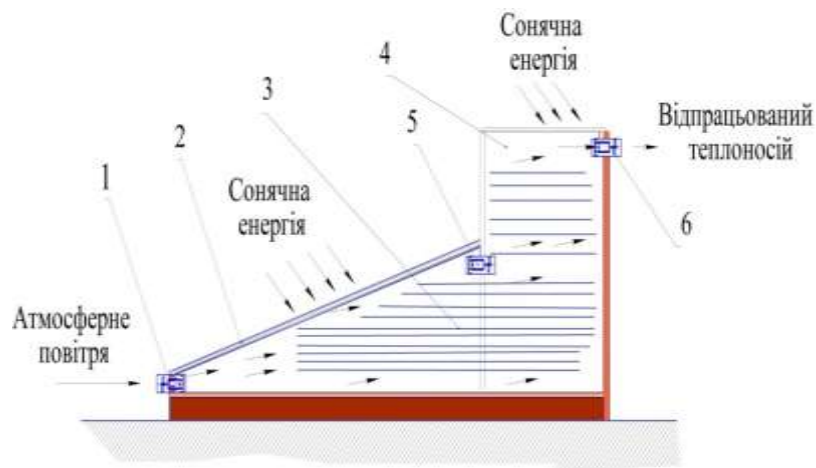


Рис.1. Технологічна схема геліосушарки: 1 – осьовий нагнітальний вентилятор; 2 – повітряний геліоколектор; 3 – висушувальний матеріал (фрукти); 4 – сушильна камера; 5 – осьовий нагнітальний вентилятор, 6 – витяжний осьовий вентилятор [2].

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 $\beta_{opt}=40,4^\circ$ до горизонту та складається із світлопрозорого матеріалу і абсорбера. Світлопрозорим матеріалом є скло зі складом 72% SiO₂, 13% (Na₂O+K₂O), 11% Ca; 4% (R₂O₃+MgO)). Абсорбер виготовлений із листової міді розміром 1000×1500 мм та обпалено газовим різакон 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, волого видалення 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 нарізаними дольками фруктів 5 (розміром 50×25×50 мм). Повітря з навколишнього середовища надходить у колектор, нагрівається та потрапляє в

сушильну камеру. Відпрацьований теплоносієм видаляється вимушеною конвекцією в навколишнє середовище через витяжний канал. У випадку мінливої хмарності в геліосушарці значну частину циклу сушіння складають перехідні процеси, а при тривалому затіненні 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 2020 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 мало ймовірно. 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 температур та енергетичної освітленості, що наведено на рис. 2.

Енергетична освітленість, яка надходить на горизонтальну поверхню повітряного колектора під кутом $\beta_{opt}=40,4^\circ$, географічної широти (для м. Корець, Рівненська область – $50,61^\circ$) впродовж двох місяців з 1.06.2020 р. до 29.07.2020 р. коливалася у межах E від 450 Вт/м^2 до 1269 Вт/м^2 .

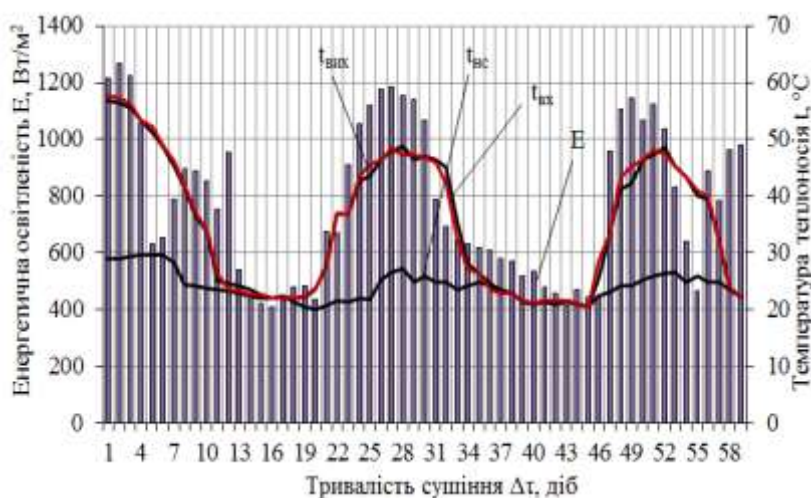


Рис. 2. Енергетичні параметри роботи геліосушарки у період з 1.06.2020 р. по 29.07.2020 р. [2]

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 Δt були з 13 по 20 годину доби або з 42 по 47 годину доби. Це пояснюється різкою зміною погодо залежних факторів, а саме сезоном дощів наприклад 13.06.2020 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 25.06.2020 р. ($\Delta\tau=25$ година доби періоду сушіння фруктів) 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_{nc} в межах від 18,5 °С до 32,3 °С. Температура теплоносія у колекторі $t_{вх}$ становила в межах від 20,5 °С до 57,3 °С, а на виході з сушильної камери $t_{вих}$ була в межах від 21,3 °С до 56,9 °С. Відносна вологість повітря навколишнього середовища на вході у колектор коливалася φ_{nc} від 28,9 до 82 % (рис. 3). Відносна вологість теплоносія на виході з сушильної камери $\varphi_{вих}$ була в межах від 30,8 до 85,3 %. Порівняльний аналіз отриманих результатів (рис. 4) показує, що вологовміст атмосферного повітря в період випробувань $X_{вх}$ коливався від 0,019 до 0,0055 кг/кг, а відпрацьованого теплоносія на виході з сушильної камери $X_{вих}$ змінювався від 0,024 до 0,067 кг/кг.

Отож, температура теплоносія у геліосушарці коливається в межах від 18,5 °С до 56,9 °С. Такі, мінімальні та максимальні піки коливань температури теплоносія у геліосушарці у різні періоди сушіння фруктів пов'язані з великою розбіжністю та нерівномірністю інтенсивності сонячної енергії та зміна її величини у різні періоди сушіння $\Delta\tau$ були з 13 по 20 годину доби або з 24 по 31 годину доби.

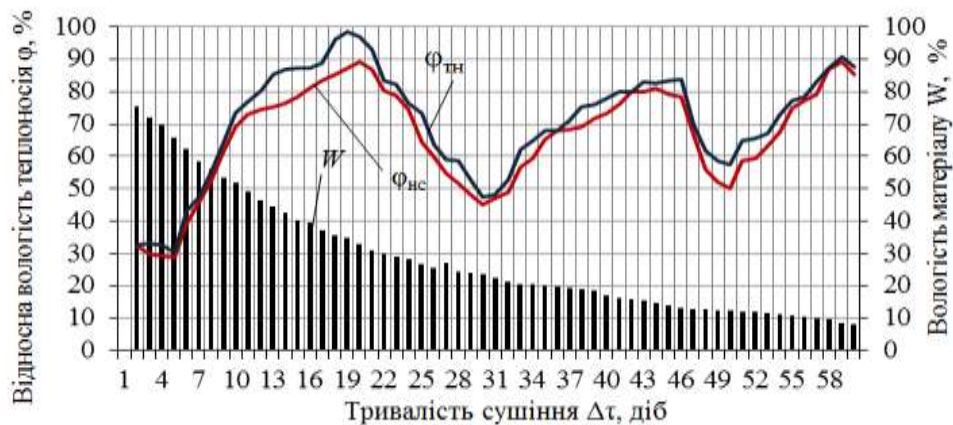


Рис. 3. Кінетичні параметри процесів вологовіддачі в геліосушарці у період з 1.06.2020 р. по 29.07.2020 р. [2]

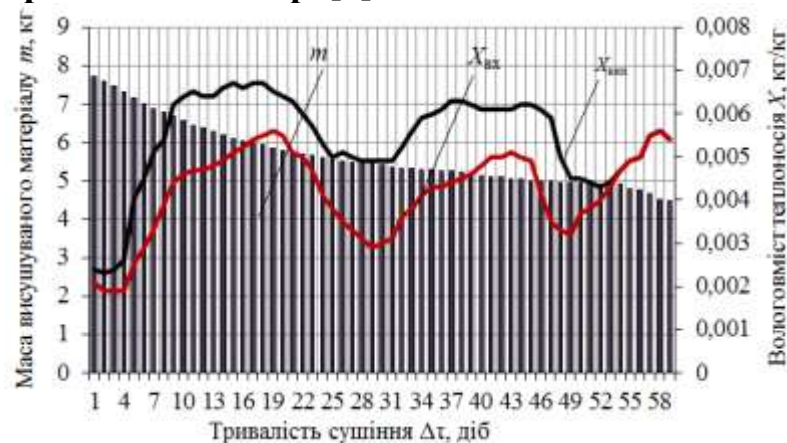


Рис. 4. Динаміка процесів масообміну в геліосушарці у період з 1.06.2020 р. по 29.07.2020 р. [2]

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 фруктів за вологості матеріалу W від 75,3% до 6% та маси m від 7,73 до 4,41 кг температура теплоносія повинна коливатися, наприклад $t_{\text{вх}}=25$ °С, а $t_{\text{вих}}=31$ °С, то відносна вологість повітря повинна бути $\varphi_{\text{вх}}=72,1\%$, а $\varphi_{\text{вих}}=75,9\%$, вологовміст $X_{\text{вх}}=0,0055$ кг/кг, а $X_{\text{вих}}=0,067$ кг/кг. Тобто, вихідна температура, вологість теплоносія повинна бути у 1,5 рази вища порівнянні з вхідною $t_{\text{вх}} < t_{\text{вих}}$, $\varphi_{\text{вх}} < \varphi_{\text{вих}}$, $X_{\text{вх}} < X_{\text{вих}}$, 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 фруктів необхідно контролювати за кінетичними і динамічними параметрами процесу, а саме за зміною маси m , вологості W і вологовмісту U 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 вологообміні процеси сушіння фруктів у геліосушарці. На їхній основі побудовані гістограми енергетичних, кінетичних та динамічних параметрів процесу сушіння фруктів для визначення тривалості сушіння, оцінки якості висушуваного матеріалу та робочих характеристик геліосушарки.

Список використаних джерел

1. Korobka S., Boyarchuk V., 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. Korobka S., Babych M., Krygul R., Shapoval S, Tolstushko N., 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).