

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ КОМБІНОВАНОГО СПОСОБУ СУШІННЯ ЯБЛУК

Сіренко В.Ф., к.т.н., доцент
Савойський О.Ю.

snaumen105@ukr.net
o.savoiskyi@gmail.com

Сумський національний аграрний університет

Актуальність постановки проблеми. Сушіння – найпростіший, найдешевший та найменш трудомісткий процес консервування овочів та фруктів. Висушені продукти добре зберігаються, не потребують спеціальних приміщень для зберігання та займають небагато місця. Останнім часом при розробці технологій та обладнання для термічного зневоднення харчових продуктів в основному приділяється увага поліпшенню їх споживацьких властивостей за рахунок ускладнення виробництва, а високий рівень прибутковості підтримується маркетинговими ходами.

Устаткування, що застосовується для сушіння, розрізняється між собою способами підведення теплоти до об'єктів зневоднення: конвективним, кондуктивним (або контактним), термовипромінюванням (за допомогою інфрачервоних променів) та струмами високої і надвисокої частоти. Для сушіння плодовоовочевої продукції застосовують також сублімаційний метод. Перераховані способи сушіння овочів та плодів базуються на використанні чистого виду енергії - електричної. Але мають великі питомі енергетичні затрати порівняно із кількістю тепла, що потрібне на випаровування одного кілограма вологи і досить тривалий час ведення процесу.

Основні матеріали досліджень. Основним способом підвищення коефіцієнту використання високопотенціальної електроенергії та підвищення економічності виробництва є інтенсифікація процесу сушіння. Технічна реалізація прискорення процесу видалення вологи із висушуваних об'єктів полягає у введенні необхідної кількості електричної енергії, для наступного перетворення в теплову, по всьому об'єму вологого зразка із мінімальною кількістю перетворень.

Найбільший ефект досягається при використанні комбінованих способів сушіння [1]. В нашому випадку прямий електричний нагрів доповнюється конвективною складовою, необхідною для видалення випаруваної вологи в першому періоді сушіння і для завершення всього процесу в другому періоді, коли вологи недостатньо для електропровідності матеріалу. В практичних розрахунках конвективних сушильних апаратів за основу приймається цикл «теоретичної сушарки» в якій адіабатний процес видалення вологи (тобто без втрат) відбувається при незмінному тепловмісті – ентальпії – сушильного агенту [2].

В реальних умовах відступ від ідеалізованого процесу враховується зміною коефіцієнту відхилення, що залежить від значень питомих тепловтрат та теплонадходжень на один кілограм випарованої вологи. При наявності тільки теплових втрат зменшується кінцевий вологовміст відпрацьованого теплоносія і, відповідно, питома витрата теплової енергії на 1 кг видаленої вологи, до 5000 кДж/кг і більше при питомій величині пароутворення біля 2500 кДж/кг.

Запропоновано ввести ще один ідеалізований ізотермічний режим сушіння, коли під час всього процесу сушіння температура теплоносія залишається незмінною, що на практиці досягається засобами автоматики. Із збільшенням кінцевого вологовмісту (в межах до відносної вологості до $\phi=0,9$) витрата теплової енергії на одиницю видаляємої вологи стає меншою ніж в теоретичній сушарці і

наближається до табличної величини пароутворення. Ці відносно великі значення кінцевого вологовмісту можна отримати при використанні дуже високих значень температури теплоносія 150-200 °С. Такий прийом розподіленого теплонавантаження дає можливість провести висушування без ушкодження термолабільних матеріалів. Взагалі, залежність температури теплоносія від часу може бути будь-якою, це лише може зменшувати потенціал сушіння порівняно із теоретичною сушаркою. Позитивною особливістю нагріву прямим пропусканням електричного струму є незначна незалежність теплової потужності від температури вологого матеріалу і, відповідно, температури теплоносія.

Проведені розрахунковий аналіз і експеримент показали, що для циліндричних тіл із розмірами висушуваних зразків яблук в прийнятних умовах конвективного сушіння теплове навантаження від повітряного теплоносія не може бути більше 0,07 Вт/ см². Величина питомого електричного навантаження обмежена значенням 0,2 Вт/ см², що визначається термічною стійкістю яблучної сировини при електроплазмолізі.

Виходячи із визначених теплонавантажень, розрахунковий час в першому періоді сушіння за умов комбінованого конвективного та електричного нагріву вчетверо менший ніж при нагріві лише повітрям. Такі ж значення отримані нами і під час експериментального визначення кривих сушіння яблук при градієнтах прикладеної напруги 30-40 В/см [3]. В такій же пропорції в розрахунок теплового балансу вводяться і величини втрат енергії.

При визначенні співвідношення підведеного потоку електричної енергії до конвективної складової слід задавати масив кінцевих параметрів відпрацьованого теплоносія: температуру, вологовміст або відносну вологість. Далі визначається коефіцієнт відхилення від теоретичного процесу і з теплового балансу наприкінці підраховується підвід електричної складової для нагріву висушуваного матеріалу. Для заданого масиву кінцевих параметрів визначені найкращі і прийнятні режими роботи із відношеннями 0,73-0,82. Якщо спочатку задавати ступінь використання теплової енергії, то більшість режимів сушіння будуть виходити за межі допустимих температур.

Отримані сумарні значення питомої витрати теплової енергії в залежності від кінцевих значень відносної вологості відпрацьованого сушильного агенту в діапазоні $\varphi=0,7-0,9$ мають невелике перевищення над ізотермічним процесом і показують зниження на 30-40 % порівняно із конвективним сушінням.

Висновок. Такий результат енергоінтенсифікації процесу сушіння дає прямі значення зниження вартості використаної електричної енергії. Результатом інтенсифікації також є 3-4 кратне підвищення продуктивності сушарок, відповідно, і продуктивності праці, що зменшує питомі витрати на оплату праці і експлуатаційні затрати. В цілому зниження собівартості висушеної продукції складає 30-50% в залежності від вартості і властивостей висушуваних сортів яблук.

Список використаних джерел

1. Лебедев П.Д. Расчет и проектирование сушильных установок: Учеб. для высш. техн. учеб. заведений. Москва : Госэнергоиздат, 1962. 320 с.
2. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов. 7-е изд. Москва : Госхимиздат, 1961. 831 с.
3. Савойський, О.Ю., Яковлев, В.Ф., Сіренко, В.Ф. Дослідження комбінованого процесу сушіння високовологої яблучної сировини. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного. Мелітополь: ТДАТУ імені Дмитра Моторного, 2019. Вип. 9, том 1. DOI:10.31388/2220-8674-2019-1-33.