

УДК 664.8.047

## ОГЛЯД МЕТОДІВ СУШКИ ПЛОДООВОЧЕВОЇ СИРОВИНИ

Калина В. С., к.т.н.,

Куянов Ю. Ю., к.т.н.,

Корсун О. Ю., магістр,

Грабовська Є. С., магістр

*Дніпровський державний аграрно-економічний університет*

Тел. (056) 713-51-46

**Анотація** – у статті наведено огляд методів сушки плодоовочевої сировини, їх характеристика та обґрунтування. Запропоновано комбінований метод сушіння, а саме поєднання конвективного методу на початковій стадії сушки з НВЧ-методом.

**Ключові слова** – сушка, вологість, чіпси, овочі, конвективна сушка, сублімаційна сушка, сировина.

*Постановка проблеми.* Виробники сушених овочів і фруктів традиційно використовують конвективний спосіб сушіння, який має ряд недоліків – висока температура сушильного агента, тривалість процесу і значна енергоємність. Однак, сучасні технології сушіння дозволяють виробляти продукти харчування широкого асортименту, заданої форми, з новими фізико-хімічними властивостями, з тривалими термінами зберігання без втрати якості.

Розробка технологій виробництва високоякісних сухих продуктів рослинного походження є актуальним завданням, а отже і розробка та обґрунтування нових менш енергозатратних та менш тривалих способів сушіння плодоовочевої сировини є одним з першочергових завдань для науковців.

*Аналіз останніх досліджень.* На цей час існує велика кількість різних технологій сушки (зневоднення): природна сушка, аераційна, конвективна, сушка в псевдокиплячому шарі, інфрачервона сушка, мікрохвильова та сублімаційна.

Способи сушки розрізняються організацією процесу відбирання вологи від матеріалу і характеризуються використанням одного або декількох процесів, що визначають всю специфіку сушіння. Найбільш поширені такі способи сушіння: природна – конвективна; сушка дрібних крапель розпорошеного продукту в високотемпературному газовому середовищі; сушка високов'язких продуктів на металевих поверхнях; сушка спіненого продукту;

вакуумна або сублімаційна; експлозійна; сушка в киплячому шарі сипучого продукту; аерофонтанна (пневматична); сушка з нагріванням продукту інфрачервоними променями; сушка з нагріванням в полі струмів високої частоти і інші.

Природна сушка застосовується в сприятливих кліматичних умовах і передбачає розкладання висушених продуктів на спеціальних щитах або сітках на відкритому повітрі.

Вченим Пенто В. Б. [1] пропонується геліосушилка для сушки фруктів і овочів з метою їх тривалого зберігання без втрати якості продукту. Вона може бути використана в сільськогосподарському виробництві, харчовій промисловості та інших суміжних галузях промисловості. Сушарка включає лотки на рамі з чарунками для їх щільної установки. Над кожним лотком закріплена відкидна кришка, виконана у вигляді рами з закріпленням на ній світлопроникним матеріалом. До днища лотків прикріплені контейнери, заповнені теплоакумуючим матеріалом. Один з торців сушарки відкритий, а інший з'єднаний з трубою, встановленою вертикально.

В розпилювальних сушках використовують швидке випаровування розпорошених рідких продуктів в високотемпературному середовищі. Велика площа поверхні розпорошеного продукту забезпечує інтенсивну тепловіддачу до нього і, як наслідок, малу тривалість сушки (1–10 с). У розпилювальних сушарках можуть переважати один з двох видів теплопередачі – конвекція або радіація, хоча в загальному випадку вони обидва мають місце. Розпилювальна сушка застосовується для одержання порошкових продуктів із соків, гідролізованого крохмалю, бурякового соку та ін. При одержанні сухих фруктових і овочевих соків необхідне збереження їх ароматів. Сушарки, які реалізують ці процеси, створюються зі зменшеною температурою випаровування рідини. Це часто спричиняє необхідність створення вакууму в сушильній камері, що ще більше ускладнює обладнання.

Вальцева сушка полягає в нанесенні тонкого шару висушуваного продукту на поверхню циліндричних підігрітих вальців. Цей шар висихає за 40–60 с, після чого його тонкі сухі пластівці знімають ножем.

Вакуумна сушка здійснюється при зниженому тиску, що дозволяє істотно знизити температуру сушіння. Відомо застосування обертових вакуумних мікрохвильовок (НВЧ-пристроїв) в інших галузях. В обертових барабанних вакуумних НВЧ-сушарках з відносно великим об'ємом харчові продукти, такі як фрукти і овочі, пошкоджуються внаслідок зіткнення в процесі сушки в барабані. Крім того, оскільки через вологу, що утворюється під час дегідратації на поверхні харчового продукту, він може ставати липким, одним з недоліків також є комкування. У зв'язку з цим, харчовим продуктам,

що піддаються вакуумній НВЧ-обробці, зазвичай надають одношарову конфігурацію. Проте, одношарова конфігурація часто неефективна і неекономічна, оскільки при цьому значно знижується пропускна здатність або продуктивність, особливо при виготовленні продукції партіями.

У патенті [2] описана лінія для сушіння плодів і ягід, яка характеризується тим, що містить послідовно встановлені по ходу технологічного процесу інспекційний стіл або транспортер, мийну машину або ванну, мікрохвильову вакуумну установку, інспекційний стіл і фасувальний автомат.

Сушка в киплячому шарі і аерофонтанна (пневматична) здійснюються при продуванні повітря крізь шар сипучого матеріалу від низу до верху. В обох випадках явище принципово одне і те ж, але при пневматичному сушінні швидкість повітря вище і відстані між частинками, що висушуються більше. Киплячий (псевдозріджений) шар реалізується при швидкостях повітряного потоку 1–5 м/с; для аерофонтанної сушки його швидкість збільшується до 12–14 м/с.

Інфрачервона сушка і сушка в полі струмів високої частоти відрізняються тільки відповідним способом підведення теплоти. Організація сушильного процесу в цілому може бути будь-який із зазначених вище.

За умов імпульсного інфрачервоного сушіння різних сільськогосподарських культур, нарізаних фруктів і овочів, чаю, овочевої зелені та інше. Сушка проводиться в сушильній камері в імпульсному режимі «нагрів-охолодження», при цьому нагрів здійснюють ІЧ-променями з довжиною хвилі в діапазоні 0,8–10 мкм, а контроль температури матеріалу здійснюється за допомогою оптичного пірометра, який сигналом на блок управління автоматично включає і відключає ІЧ випромінювачі. Сушка ведеться з безперервною вентиляцією шару матеріалу, що висушується, при цьому максимальна температура матеріалу на стадії ІЧ-нагріву становить 40–60°C, а мінімальна на стадії охолодження – 25–35°C [3].

Також відомий спосіб сушіння високовологих матеріалів рослинного і тваринного походження із застосуванням нагріву ІЧ-випромінювачами в імпульсному режимі «нагрів-охолодження». Спосіб сушіння високовологих матеріалів передбачає підготовку сировини шляхом миття, подрібнення, формування його шару шляхом розкладання на піддоні і подальшого опромінення ІЧ-променями до заданої вологості, відповідно до винаходу сушку ведуть в сушильній камері в імпульсному режимі «нагрів-охолодження», при цьому нагрів здійснюють ІЧ-променями з довжиною хвилі в діапазоні 1,2–10 мкм з щільністю потоку 6–15 кВт/м<sup>2</sup> тривалістю 3–11 с до досягнення граничної температури в камері 55–60 °С, а охолодження ведуть

тривалістю 9,0–33,0 с до досягнення температури в камері, яка дорівнює 45–50 °С.

Чотирьохстрічкова сушильна установка (завантаження і вивантаження продукту виробляється з одного боку, що дозволяє контролювати подачу і вихід продукту одній людині з одного боку установки), заснований на конвективно-радіаційному способі сушіння – ІЧ спосіб (нагрітим повітрям в комбінації з інфрачервоним нагріванням) з примусовою циркуляцією сушильного агента (повітря) всередині сушильної установки, з примусовим викидом відпрацьованого агента (вологого повітря) за межі виробничого приміщення.

Продукт розкладається на безупинно рухливу сітчасту стрічку з нержавіючої сталі шириною 1,8 м (розмір комірки 11×3,6 мм). Максимальне питоме завантаження продукту для снєків – 2,3 кг/м (на прикладі яблучних чіпсів товщиною 2–3 мм), м'ясних снєків – 3–4 кг/м.

Спосіб видалення вологи у вакуумі включає в себе нагрів натурального соку, випаровування, відведення і конденсації пари, видалення конденсату і перемішування соку. Одержаний після закінчення випарювання пастоподібний сік тривалістю чотирьох днів досушують при атмосферному тиску і температурі, що не перевищує 50 °С до досягнення в'язкості, достатньої для здійснення екструзії. Потім отриманий гранульований сік сушать протягом трьох днів при температурі, що не перевищує 50 °С, до досягнення вологості 11 % і подрібнюють. Це забезпечує зниження діапазону зміни температури при переробці натурального соку в рази і пропорційне зниження витрат електроенергії на отримання сухого соку.

Конвективна сушка плодів і овочів відбувається в конвеєрних або камерних сушарках гарячим повітрям. Використовується вимушений рух підігрітого повітря відносно шару висушуваного продукту, швидкість конвекції 1–5 м/с. Д.С. Ізбасаров запропонував триступеневий режим сушіння яблук: в першій зоні температура повітря підтримується на рівні 80–90 °С, у другій – 60–70 °С, у третій – 15–20 °С. Швидкість руху повітря всередині зон сушарки становить 2–2,5 м/с і визначається конструкцією сушарки.

У західних країнах для сушіння рослинної сировини використовується велика гамма конвеєрних сушарок.

Фірма «Hans Binder Maschinenfabric» (ФРН) випускає п'ятистрічкові конвеєрні сушарки НВМ для сушки плодів і овочів. Сушильний агент нагрівається в спеціальному пристрої, де спалюється рідке паливо або газ. Залежно від режиму сушіння кількість повітря, що подається під кожен стрічку регулюється. Відпрацьоване повітря видаляється зверху сушарки відцентровим вентилятором. Швидкість стрічок регулюється безступінчатими

варіаторами. Продуктивність сушарки можна змінити від 3,5 до 35 т сировини на добу, тривалість сушіння – від 1,5 до 9 год.

Стрічкові конвеєрні сушильні установки забезпечують безперервність процесу сушіння і знижують витрати ручної праці на їх обслуговування. Однак, незважаючи на ряд переваг, вони мають істотні недоліки: обмежена швидкість і нерівномірний розподіл повітря призводить до нерівномірного розподілу теплоти і вологи, до можливих місцевих перегрівів матеріалу. Тому температура нагрітого повітря при сушінні рослинної сировини на цих установках не повинна перевищувати 80 °С через можливе підгоряння продукту. Це, в свою чергу, змушує працювати на малих питомих навантаженнях матеріалу: від 5 до 16 кг/м<sup>2</sup>, що знижує продуктивність сушильної установки.

З метою інтенсифікації процесу сушіння і максимального збереження первинних якісних показників плодів слід зруйнувати зовнішній шар оболонки плода. Дослідження показали, що при температурі сушильного агента 80 °С забезпечується збереження кольору плодів і вмісту вітаміну С. З ростом температури до 100 °С процес інтенсифікується. При цьому вміст аскорбінової кислоти залишається на початковому рівні, проте відзначено зміну кольору – плоди темніють [4].

Як зазначає А. С. Гінзбург [5], каскадний рух продукту в зоні сушки дозволяє інтенсифікувати процес тепло- і масообміну за рахунок перелопачування продукту.

*Формування цілей статті.* Метою запропонованої статті є аналіз способів сушіння плодоовочевої сировини для одержання плодоовочевих чіпсів, що забезпечить максимальне збереження властивостей сировини і оригінального смаку, консистенції і якості готового продукту шляхом поєднання конвективного способу сушки з НВЧ-енергопідводом.

*Основна частина.* Комбінована сушка включає в себе конвективний енергопідвід на стадії постійної швидкості сушіння і НВЧ-енергопідвод на стадії падаючої швидкості сушки [6].

Мікрохвильовий метод досушування заснований на впливі на продукт інтенсивного електромагнітного поля надвисоких частот (НВЧ). Під дією НВЧ поля молекули води здійснюють коливальні і обертальні рухи, орієнтуючись з частотою поля по його електричним лініям. Чим більше води в заданому обсязі, чим більше молекул бере участь в цьому русі, тим більше теплової енергії виділяється і розігрів відбувається у всьому об'ємі продукту. Відбувається видалення вологи, сушка продукту і, одночасно, вирівнювання вологості в обсязі продукту. Причому при зниженні вологості сировини процес сушіння продукту не вповільнюється, оскільки механізм теплопровідності не грає ключову роль. Мікрохвильова сушка риби, м'яса, грибів, круп,

овочів і фруктів характеризується невеликою тривалістю і відносно низькою температурою процесу, що обумовлює збереження корисних речовин і вітамінів в готовому харчовому продукті. Джерелом енергоспоживання генераторів НВЧ енергії є тільки електроенергія, що забезпечує їх виняткову екологічну чистоту. Єдиним обмеженням цього методу є відносно низький (60 %) ККД перетворення енергії електричного струму в енергію НВЧ поля в мікрохвильовому обладнанні. У зв'язку з цим доцільно застосовувати мікрохвильове обладнання при низькій вологості (нижче 50 %), тобто при досушуванні до заданих значень вологості. Слід зазначити, що під впливом інтенсивного НВЧ поля відбувається зменшення мікробного обміненія оброблюваного продукту, що сприяє збільшенню терміну його зберігання. В даний час мікрохвильові технології застосовують при виготовленні: харчових концентратів для перших та других страв, соусів і спецій; продуктів швидкого приготування; продуктів дитячого харчування; начинок, повидла, конфітурів.

У харчовій промисловості та сільськогосподарської галузі технології та обладнання, засновані на конвективних механізмах зневоднення набули широкого поширення [7]. Але конвективна технологія має деякі недоліки обумовлені специфікою взаємодії гарячого повітря (або іншого теплоагента) з оброблюваними об'єктами на різних етапах процесу сушіння. На початковому етапі сушильного процесу взаємодія протікає досить ефективно, енергоємність процесу мала, а швидкість сушіння досить висока. Однак, у міру висихання продукту і пов'язаного з цим зниження його тепло і масопровідних характеристик дедалі більша частка теплової енергії не проникає вглиб висушуваних продуктів, а відбивається в простір.

Енергоємність процесу зростає, час сушки багаторазово збільшується, виникають локальні перегріву продукту (в першу чергу, його приповерхневих шарів). Це безпосередньо позначається на якості готової продукції. Так, для харчових продуктів збільшення часу і температури процесу сушіння призводить до втрати харчової цінності продукту, погіршення його органолептичних показників.

Велика енергоємність процесу призводить в цілому в сушильній галузі до невиправданих втрат енергії, підвищеного споживання рідких і газоподібних видів палива, використовуваних в процесах конвективного сушіння. Наслідком останнього є також і зниження екологічної чистоти, як технологічного процесу сушіння, так і власне одержуваних за допомогою конвективних технологій сушених овочів і фруктів.

Близькі по суті проблеми виникають при використанні менш поширених, але мають подібні ж недоліки, технологій сушки в псевдокиплячому шарі, сушки інфрачервоним випромінюванням і

інших, заснованих (як і конвективна сушка) на поверхневому обігріві висушуваних продуктів.

Очевидно, що сучасні високоефективні технології сушіння, які забезпечують високу якість кінцевого продукту повинні спиратися на інші фізичні механізми зневоднення, на фізичні процеси, перебіг яких не так сильно пов'язаний з мінливими в процесі сушіння властивостями продуктів (в першу чергу, з їх тепло- і масопровідністю).

Вельми перспективними в цьому плані видаються технології сушки, в яких зневоднення продуктів здійснюється під впливом мікрохвильового випромінювання [8].

*Висновки.* Переваги, які здатні забезпечити ці технології, спираються на цілий ряд властивостей, які характеризують взаємодію мікрохвильового випромінювання з діелектричними об'єктами.

Об'ємний характер виділення енергії при опроміненні об'єктів мікрохвильовими електромагнітними хвилями; при будь-яких методах сушіння енергія виділяється виключно на поверхні об'єктів і тим гірше проникає всередину, чим нижче його вологість. У зв'язку з цим заключний етап сушіння при використанні будь-яких інших (крім мікрохвильового) фізичних механізмів сушки пов'язаний з істотно підвищеними енерговитратами.

Мікрохвильова енергія виділяється селективно. Ця особливість виділення енергії при мікрохвильовому впливі на об'єкт забезпечує високу кінцеву однорідність об'єктів сушіння за вологістю.

Мікрохвильова сушка характеризується невеликою тривалістю і відносно низькою температурою процесу, що стосовно харчових продуктів є основою для дуже високого (до 96–98 %) рівня зберігання корисних речовин і вітамінів в її процесі.

Використання в технологіях сушильного виробництва двох механізмів сушки (конвективного і мікрохвильового) на різних стадіях процесу, надзвичайно привабливо і перспективно як з енергетичної, так і з економічної точки зору.

#### Література:

1. *Пенто В. Б.* Линия заводской обработки сушеного винограда // Плодоовощные консервы – технология, оборудование, качество, безопасность: сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. Москва: ВНИИКОП, 2004. С. 567-571.

2. Патент РФ 2304885, МПК А23 L 1/212. Способ производства пищевого продукта из плодоовощного сырья. № 2006126611/13, заявл. 24.07.2006; опубл. 27.08.2007. Бюл. №10.

3. Патент РФ 2393397, МПК Р26В3/06, Б26В3/30. Способ импульсной инфракрасной сушки термолабильных материалов. № 2009119751/06, заявл. 26.05.2009; опубл. 27.06.2010. Бюл. №10.

4. *Пенто В. Б., Гуревич А. В.* Двухстадийная сушка болгарского перца // Овощеводство и тепличное хозяйство. 2008. № 7. С. 50–51.

5. *Гинзбург А. С.* Основы теории и техники сушки пищевых продуктов. Москва: Пищевая промышленность, 1973. 528 с.

6. *Пенто В. Б., Клюева О. А.* Технология производства продукта промежуточной влажности из картофеля // Пищевая промышленность. 2004. № 6. С. 18-19.

7. *Гришин М. А., Атаназевич В. И., Семёнов Ю. Г.* Установки для сушки пищевых продуктов: справочник. Москва: Агропромиздат, 1989. 214 с.

8. *Королёв А. А., Пенто В. Б.* Технология производства фруктовых чипсов из слив и абрикосов с помощью комбинированной сушки // Проблемы создания продуктов здорового питания. Наука и технологии: материалы 12-й науч.-практ. конф. Москва, 2006. С. 114.

## **ОБЗОР МЕТОДОВ СУШКИ ПЛОДООВОЩНОГО СЫРЬЯ**

Калина В. С., Куянов Ю. Ю., Корсун О. Ю., Грабовская Е. С.

**Аннотация** – в статье приведен обзор методов сушки плодовоовощного сырья, их характеристика и обоснование. Представлены результаты аналитических исследований научно-технической и патентной информации по технологическим проблемам существующих классических и инновационных технологий производства высококачественных продуктов растительного происхождения.

Обоснована целесообразность использования технологий сушки необходимого плодовоовощного сырья при разных способах обезвоживания: природная сушка, аэрационная, конвективная, сушка в псевдокипящем слое сыпучего продукта, инфракрасная сушка, микроволновая и вакуумная или сублимационная для производства конечного высококачественного продукта.

Рассмотрены сушилки для сушки фруктов и овощей с целью их продолжительного хранения без потерь качества готового продукта.

Обоснованы параметры и режимы процесса высушивания плодовоовощного сырья: температура и продолжительность времени на отдельных участках стадии.

Предложен комбинированный метод сушки, а именно сочетание конвективного метода на начальной стадии сушки с СВЧ-методом.



## **OVERVIEW OF DRYING METHODS FRUIT AND VEGETABLE RAW MATERIALS**

V. Kayna, Yu. Kuyanov, O. Korsun, E. Grabovska

### *Summary*

**The article provides an overview of the methods of drying fruit and vegetable raw materials, their characteristics and justification. The results of analytical studies of scientific, technical and patent information on the technological problems of existing classical and innovative technologies for the production of high-quality products of plant origin are presented.**

**It justifies the use of technologies for drying the required fruit and vegetable raw materials for different dehydration methods: natural drying, aeration, convection, drying in a fluidized bed of bulk product, infrared drying, microwave and vacuum or sublimation for the production of high-quality final product.**

**Dryers for drying fruits and vegetables for the purpose of their long-term storage without loss of the quality of the finished product are considered.**

**The parameters and modes of the process of drying fruit and vegetable raw materials are substantiated: the temperature and duration of time at certain stages of the stage.**

**A combined drying method is proposed, namely a combination of the convective method at the initial stage of drying with the microwave method.**