

## ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИЙ МЕТОД ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРОЦЕСУ СУШКИ ФРУКТІВ

**Савойський О.Ю., аспірант.**

**Науковий керівник - Яковлєв В.Ф., к.т.н., професор.**

*Сумський національний аграрний університет*

**Телефон: +380997625039**

***Анотація.** Досліджено вплив електричного струму промислової частоти на швидкість процесу сушіння яблук, експериментально встановлено залежність якісних показників продукту від параметрів процесу сушки та на основі отриманих результатів проаналізовано можливість використання комбінованого методу сушіння, що включає підігрів сировини прямим електричним нагрівом в процесі інфрачервоної конвективної сушки, для інтенсифікації процесу зневоднення зразка.*

***Ключові слова:** комбінована сушка, електроконтактний нагрів, напруга, провідність, енергозатрати.*

**Постановка проблеми.** Овочі і фрукти є незамінним джерелом найважливіших біологічно активних речовин — вітамінів, вуглеводів і мінералів, необхідних для нормальної життєдіяльності людини. Одним з основних способів переробки продуктів є сушка, яка відноситься до енергоємних процесів. Аналіз показує, що існуючі методи сушки досить дорого коштують, енергоємні і іноді малоєфективні [1]. Вирішення ж проблеми інтенсифікації процесу сушіння і водночас зниження витрат енергоносіїв вимагає розробки і впровадження нових високоєфективних методів обробки, установок і технологій з оптимальним технічним рішенням. Тому наукові дослідження, які направлені для вирішення даної проблеми є актуальними.

**Аналіз останніх досліджень.** На даний час розроблено ряд електрофізичних методів інтенсифікації процесу сушки, в тому числі - обробка інфрачервоним випромінюванням, обробка в електростатичному полі, високочастотна і надвисокочастотна, акустична обробка та ін. Також відомі методи електроконтактного нагріву плодоовочевої сировини струмом підвищеної частоти 5-25 кГц [2, 3]. Однак, цим методам характерні значні енергозатрати, крім цього, збільшення частоти струму може призвести до виникнення нерівномірних полів температур в продукті, що нагрівається та ін. В результаті аналізу наведених в джерелах інформації результатів досліджень можна зробити висновок, що більшість з них пов'язані з особливостями конкретного виду та сорту фруктів, що не дозволяє уніфікувати підхід до питань розробки вказаних методів зневоднення та технічних систем на їх основі. Викладене вище дозволяє сформулювати основні задачі та принципи розробки нових методів сушіння та можливість їх комбінації для зменшення енергозатрат в процесі обробки сировини.

**Формулювання цілей статті.** Досліджено вплив обробки досліджуваного зразка перед сушінням електричним струмом промислової частоти на інтенсифікацію процесу зневоднення з метою зменшення витрат енергоресурсів.

Експериментально встановлено залежність якісних показників зразків продукту від параметрів процесу сушки.

**Основні матеріали дослідження.** Збуджуючий вплив електричного струму на живі тканини відомий в біології давно [4, 5, 6]. Спосіб обробки плодів і ягід, що підлягають сушінню, прямим електроконтактним нагрівом заключається в тому, що через плоди або нарізані шматочки пропускається змінний електричний струм різної величини напруги та частоти.

Нами проведені експериментальні дослідження кінетики сушки яблук, нарізаних кільцями товщиною 5 мм. Дослідження електроконтактного нагріву яблук струмами промислової частоти проводились перед початком сушки на лабораторній установці, структурна схема якої наведена на рисунку 1.

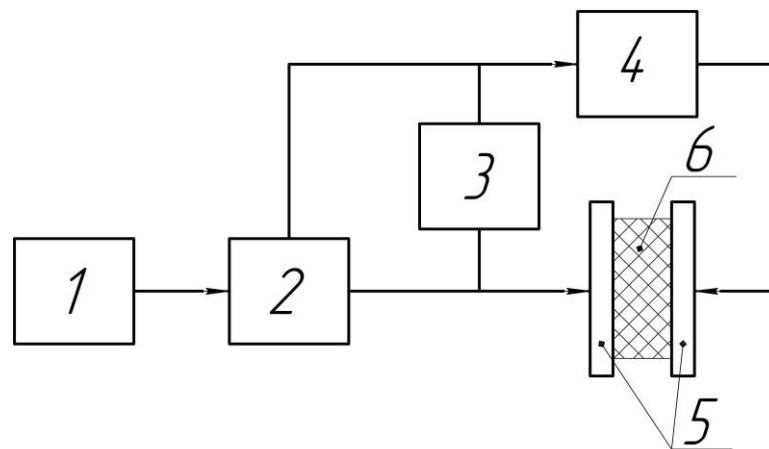


Рисунок 1. Структурна схема лабораторної установки для дослідження електроконтактного нагріву яблук

Представлена схема складається з джерела струму 1, двох електродів 5 між якими поміщався шар продукту 6. Також в електричне коло були включені лабораторний автотрансформатор 2, вольтметр 3 та амперметр 4. В процесі експерименту відстань між електродами та товщина шару продукту були постійні, змінювалась тільки напруга. Для кожного режиму визначалась маса зразків та величина сили струму, що проходив через шар яблук, розташований між пластинами.

Шар зразка, розташований між двома металевими пластинами, являє собою відрізок провідника. Струм, проходячи через цей шар, що має електричний опір, викликає його нагрів.

Згідно з законом Джоуля – Ленца, кількість теплової енергії, що виділяється в шарі при проходженні через нього електричного струму, дорівнює:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot \tau, \quad (1)$$

де  $Q$  - кількість виділеної теплової енергії в шарі, Дж;

$I$  – сила струму, А;

$R$  – опір шару яблук, Ом;

$\tau$  - час проходження електричного струму, с.

Застосувавши закон Ома, отримаємо:

$$Q = \frac{U^2}{R} \cdot \tau = \frac{U^2 S}{\rho_{\text{нм}} l} \cdot \tau, \quad (2)$$

де  $U$  - значення прикладеної напруги, В;

$S = \frac{\pi d^2}{4}$  – площа перерізу шару яблук, м<sup>2</sup>;

$\rho_{\text{нм}}$  – питомий опір шару яблук, Ом·м;

$l$  - відстань між електродами, м.

Аналізуючи рівняння (2) можна зробити висновок, що на характер підігріву шару яблук струмом промислової частоти істотний вплив чинить підведена напруга. Це в значній мірі залежить і від розміру шару сировини, що знаходиться між металевими пластинами (електродами).

Досліджена динаміка зміни провідності зразка в залежності від часу сушки (рисунок 2) показала, що під дією електричного струму підвищується проникність клітин яблука, що приводить до збільшення соковіддачі. При цьому відмічається зниження електричного опору рослинної сировини.

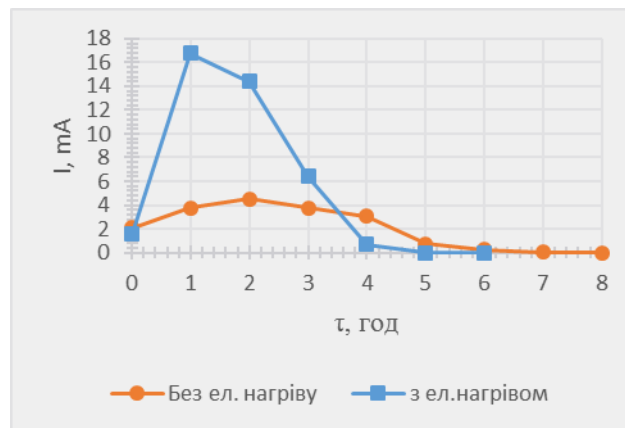


Рисунок 2. Динаміка зміни провідності яблука в залежності від часу сушки

На основі отриманої залежності, можна зробити висновок, що підігрів сировини електроконтактним методом найбільш доцільно проводити в перший період сушки, так як при цьому проходить швидка зупинка всіх процесів життєдіяльності клітин, що забезпечує збереженість корисних речовин і прискорення процесу видалення вільної вологи із матеріалу. При цьому забезпечується енергоекономічність процесу за рахунок високої провідності зразків.

Досліджена динаміка зміни маси зразків яблук на протязі сушки (рисунок 3) показала, що обробка шару яблук електричним струмом промислової частоти на початку сушки прискорює процес його зневоднення.

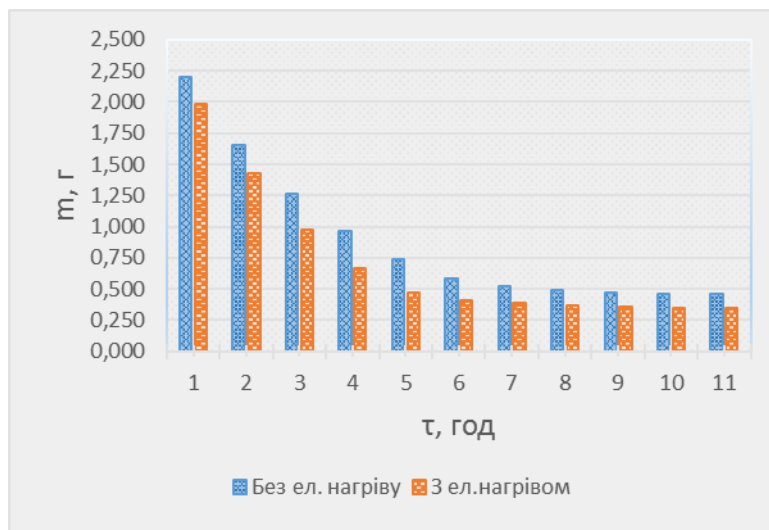


Рисунок 3. Динаміка втрати маси зразків яблука на протязі сушки

Механізм впливу електричного струму на структуру зразків яблук зв'язаний з переміщенням іонів всередині клітини, при чому їх вільному переносу перешкоджають напівпроникні оболонки клітин. В результаті цього у напівпроникних мембранах має місце зміна концентрації іонів, що і являється причиною електричного збудження, яке супроводжується підвищенням їх проникності, що полегшує дифузію їх складового в навколишнє середовище. За рахунок даного явища тривалість процесу зневоднення зразків яблук значно зменшується.

З підвищенням напруги має місце інтенсивний підігрів матеріалу. Температура його швидко збільшується, досягаючи температури кипіння води. При цьому волога не встигає повністю виходити у вигляді пари і кипить всередині матеріалу. Це приводить до руйнування кліткової структури яблук. При цьому вони темніють (рисунок 4).

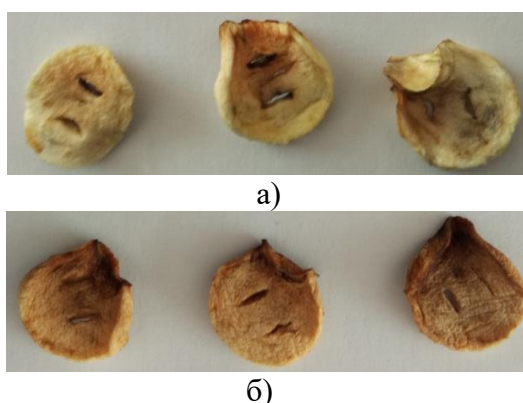


Рисунок 4. Результати сушки:

а) без електроконтактного нагріву; б) з електроконтактним нагрівом

**Висновок.** Результати досліджень свідчать про те, що для інтенсифікації сушки яблук доцільно перед початком процесу проводити підвищення їх температури шляхом прямого електроконтактного нагріву. Це дозволить зменшити час сушки та знизити питомі енергозатрати на одиницю готової продукції.

### Список використаних джерел

1. *Савойський О. Ю.* Аналіз методів сушки плодоовочевої сировини та їх класифікація / *О. Ю. Савойський.* // Вісник Харківського національного технічного університету імені Петра Василенка. – 2016. – №175. – С. 85–88.
2. *Рогов И. А.* Электрофизические методы обработки пищевых продуктов / *И. А. Рогов.* – Москва: Агропромиздат, 1988. – 272 с.
3. Способ сушки и обеззараживания фруктов и ягод: пат. 2194228 Российская Федерация: F26B3/347, A23B7/02 / *И.М. Чекрыгина, В.Г Букреев, А.Д. Еремин*; заявитель и патентообладатель «Таганрогский научно-исследовательский институт связи». - № 2000123044/13 ; заявл. 04.09.2000 ; опубл. 10.12.2002.
4. *Попов А. М.* Исследование технологических процессов для концентрации и стерилизации соков методом прямого нагрева / *А. М. Попов, Н. В. Тихонов, И. Н. Тихонова.* // Техника и технология пищевых производств. – 2013. – №1. – С. 81–87.
5. *Попова Н. А.* Электроплазмолиз винограда с применением биполярных импульсов / *Н. А. Попова, А. Я. Папченко, М. К. Болога.* // Электронная обработка материалов. – 2014. – №50. – С. 83–91.
6. *Ботошан Н. И.* Интенсификация теплообмена в биологической среде электроплазмолизом / *Н. И. Ботошан, М. К. Болога, С. Е. Берзой.* // Электронная обработка материалов. – 2005. – №1. – С. 68–75.

## ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЙ МЕТОД ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА СУШКИ ФРУКТОВ

**Савойский А.Ю. Научный руководитель - Яковлев В.Ф.**

*Аннотация.* Исследовано влияние электрического тока промышленной частоты на скорость процесса сушки яблок, экспериментально установлена зависимость качественных показателей продукта от параметров процесса сушки и на основе полученных результатов проанализирована возможность использования комбинированного метода сушки, включающий нагрев сырья прямым электрическим нагревом в процессе инфракрасной конвективной сушки, для интенсификации процесса обезвоживания образца.

## ELECTROPHYSICAL METHOD OF INTENSIFICATION OF THE DRYING PROCESS OF FRUITS

**Savoiskyi A. Scientific adviser - Yakovlev V.**

### **Summary.**

*The influence of electric current of industrial frequency on the speed of the process of drying apples, it is experimentally found dependence of the qualitative indicators of the product from the drying process parameters and on the basis of the results analyzed the possibility of using the combined method of drying, comprising heating raw materials direct electric heating during infrared-convective drying, to intensify the process of dehydration of the sample.*