

## УСЛОВИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ КОНВЕКТИВНОЙ ВАКУУМ-ИМПУЛЬСНОЙ СУШКИ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПРОДУКТОВ

**И.В. Попова, Ю.В. Родионов, С.А. Щербаков,  
В.М. Дмитриев, В.Г. Однолько, С.С. Хануни**

*ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов;  
ИППН-Хажжа-У.Сана'а, Йеменская Республика*

*Рецензент С.И. Дворецкий*

**Ключевые слова и фразы:** закрученный слой; интенсификация процесса; комбинированная конвективная вакуум-импульсная сушка; оптимальное соотношение режимов сушки, способ нарезки растительных продуктов.

**Аннотация:** Рассматривается задача оптимального выбора режимов комбинированной конвективной вакуум-импульсной сушки применительно к растительным продуктам на основе двух видов сушек: конвективной в закрученном слое и вакуум-импульсной. Выявлены оптимальные условия: способ сушки, режимы сушки, форма высушиваемого продукта.

### Введение

В настоящее время сушка является наиболее применимым методом консервирования растительных продуктов и включает различные способы достижения конечного результата – влажности продукта, влияющей на сроки хранения сырья. Существуют различные виды сушки: инфракрасная, микроволновая, сублимационная, кондуктивная, конвективная, акустическая – но тот или иной вид сушки имеет или значительные энергозатраты и сложное аппаратное оформление или низкое качество высушенного продукта.

Для достижения лучших результатов (сохранение состава исходного сырья, ухудшение органолептических свойств, интенсивный способ получения продукта, легкость в хранении, низкая себестоимость) целесообразно использовать комбинированные методы сушки, например, комбиниро-

---

Попова И.В. – ассистент кафедры «Теория механизмов, машин и детали машин» ТамбГТУ; Родионов Ю.В. – кандидат технических наук, доцент кафедры «Теория механизмов, машин и детали машин» ТамбГТУ; Щербаков С.А. – кандидат химического наук, старший преподаватель кафедры «Теория механизмов, машин и детали машин» ТамбГТУ; Дмитриев В.М. – доктор технических наук, доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности» ТамбГТУ; Однолько В.Г. – кандидат технических наук, профессор кафедры «Конструкции зданий и сооружений» ТамбГТУ; Хануни С.С. – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Химия» ИППН-Хажжа-У.Сана'а, Йеменская Республика.

ванную вакуум-импульсную, включающую конвективную сушку во взвешенном слое, и вакуум-импульсную. Данный метод представляет собой процесс, протекающий с минимальными энергозатратами и, что самое главное, получение конечного продукта с максимальным сохранением питательных веществ [1, 2].

### 1. Методика проведения эксперимента

В качестве исходного сырья были взяты следующие растительные материалы: тыква сорт «Мичуринская», картофель.

Сырье, предварительно мытое и очищенное от кожуры и от семечек (для тыквы), нарезалось определенным образом (соломкой), взвешивалось и подвергалось конвективной вакуум-импульсной сушке: обдув горячим воздухом при температуре ниже температуры разложения биологически активных веществ, затем подача горячего сушильного агента прекращалась, и в сушильной камере создавался вакуум (стадия вакуумирования). Через равные промежутки времени сырье выгружалось и взвешивалось на весах с точностью до  $\pm 0,5$  г. Полученные результаты аппроксимировались многочленом вида

$$Y = a + b x + c x^2,$$

где  $Y$  – убыль влаги по отношению к исходному весу, %;

По экспериментальным данным были построены экспериментальные зависимости

$$Y = F(x),$$

где  $x$  – время процесса, мин.

Взяв в качестве растительного материала тыкву, был выполнен ряд экспериментов на воспроизводимость [3, 4]. С этой целью проводили две серии параллельных опытов в рассматриваемой области изменения влияющих параметров. Результаты этих экспериментов приведены в табл. 1.

Для каждой серии параллельных опытов вычисляем среднее арифметическое функции отклика  $\bar{W}$ :  $\bar{W}_{1-4} = 89$ ;  $\bar{W}_{5-8} = 87,65$ ; затем вычисляем оценку дисперсии для каждой серии параллельных опытов:

$$S_j^2 = 1/(k-1) \sum (W - \bar{W})^2, \text{ где } j = 2, k = 4.$$

$$S_1^2 = 0,95; S_2^2 = 0,11.$$

Вычисляем критерий Кохрена по формуле:

$$G_{\text{расч}} = \max(S_j^2 / \sum S_j^2);$$
$$G_{\text{расч}} = 0,95/1,06 = 0,896.$$

Сравниваем это значение с табличными данными для числа степеней свободы  $f = k - 1$ , с доверительной вероятностью  $P = 0,95$ .

$$G = 0,939 \text{ для } f = 3, N = 2;$$

$$0,939 > 0,896, \text{ то есть } G > G_{\text{расч}}.$$

Следовательно, опыты воспроизводимы, а оценки дисперсий однородны.

Таблица 1

## Результаты экспериментов для тыквы сорта «Мичуринская»

Вид сырья / форма сырья	Способ сушки	Начальная масса / конечная масса продукта, г	Время продувки / время вакуумирования, мин	Общее время сушки, мин	Убыль влаги, %
Тыква / пластинки	Конвективная во взвешенном слое + вакуум-импульсный	235,0/24,0	3,0/2,0	50,0	89,7
Тыква / соломка	Конвективная во взвешенном слое + вакуум-импульсный	235,0/28,4	2,5/2,5	50,0	87,9
Тыква / пластинка	Вакуум-импульсный	235,0/24,0	3,0/2,0	65,0	89,7
Тыква / соломка	Вакуум-импульсный	253,0/28,4	4,0/1,0	90,0	87,9
Тыква / соломка	Вакуум-импульсный	235,0/30,1	2,5/2,5	70,0	87,2

## 2. Обработка экспериментальных данных

Следующим этапом было исследование производительности (максимальная загрузка исходного сырья) и определение оптимального соотношения (см. табл. 1) времени продувки и времени вакуумирования (режимов сушки) при вакуум-импульсном способе (рис. 1) для тыквы сорта «Мичуринская».

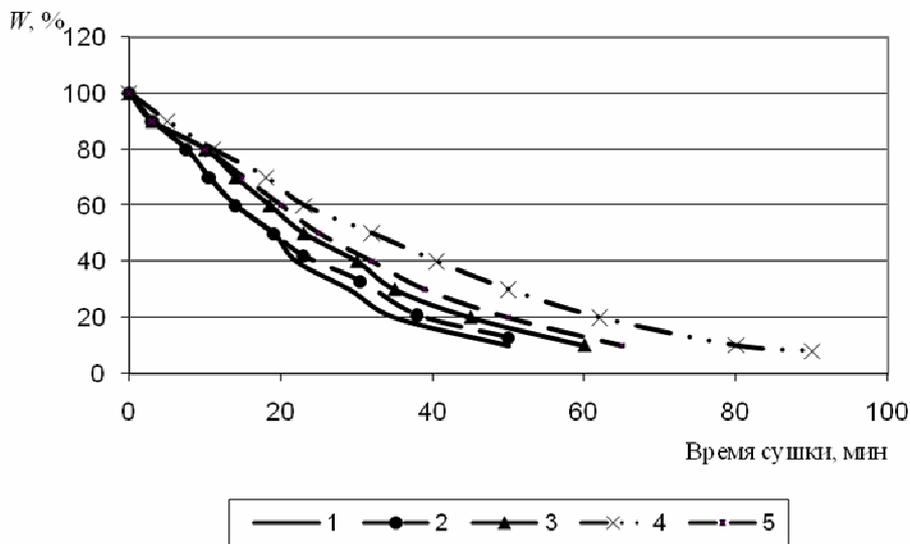


Рис. 1. Кривая скорости комбинированной и вакуум-импульсной сушки тыквы, сорта «Мичуринская» при различных соотношениях продолжительности фаз продувки и вакуумирования

Наиболее оптимальным является соотношение циклов в опытах №№ 1 и 2, где кривые скорости сушки имеют больший угол наклона касательной по сравнению с вакуум-импульсной сушкой за счет проведения конвективного способа во взвешенном закрученном слое, причем это преимущество очевидно для любой формы продукта. Таким образом, для достижения лучшего результата стадия вакуумирования должна быть преобладающей по времени или равной стадии продувки, а в период постоянной скорости сушки целесообразно использовать сушку во взвешенном закрученном слое.

При одном и том же виде растительного материала, то есть при одинаковой форме связи влаги с материалом, увеличение поверхности контакта сушильного агента с высушиваемым материалом интенсифицирует процесс, что мы и видим на примере картофеля (табл. 2, рис. 2).

Таблица 2

Результаты эксперимента для картофеля

Вид сырья / форма сырья	Время продувки / время вакуумирования, мин	Начальная масса / конечная масса продукта, мин	Общее время сушки, мин	Убыль влаги, %
Картофель/соломка	2,5/2,5	301,5/63,9	90,0	78,8
Картофель/пластина	2,5/2,5	98,0/21,5	75,5	78,1

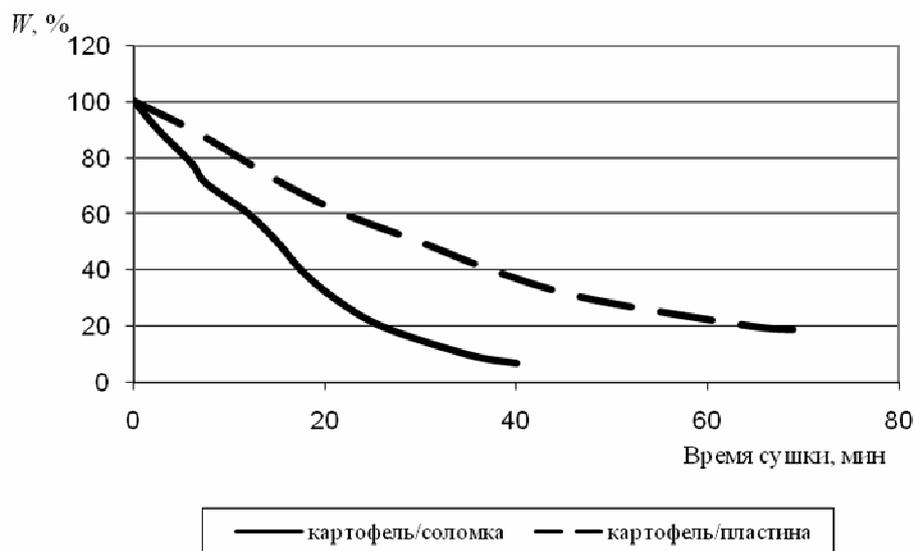


Рис. 2. Кривая скорости сушки картофеля в зависимости от формы продукта

## Результаты и выводы

Результат экспериментальных исследований показывает необходимость ведения комбинированного процесса сушки: первый период – конвективная во взвешенном или закрученном слое, второй период – конвективная вакуум-импульсная сушка. На основании экспериментов была выявлена оптимальная форма нарезки растительных продуктов на примере тыквы сорта «Мичуринская» и картофеля. Из этого следует необходимость конструктивной проработки технологического процесса сушки растительных материалов, что дает возможность правильно подобрать вспомогательное оборудование (овощерезка).

### Список литературы

1. Экспериментальная установка комбинированной конвективно-вакуум-импульсной сушилки// Ю.В. Родионов [и др.] // Тр. Тамб. гос. техн. ун-та. – Тамбов, 2008. – С. 46–50.
2. Комбинированная конвективно-вакуум-импульсная сушка – качественная переработка сельскохозяйственной продукции// А.А. Митрохин [и др.] // Качество науки – качество жизни : материалы 4-й междунар. науч.-практ. конф. – Тамбов, 2008. – С. 156–157.
3. Фролов, В.Ф. Моделирование сушки дисперсных материалов / В.Ф. Фролов. – Л. : Химия, 1987. – 208 с.
4. Хаазе, Р. Термодинамика необратимых процессов : пер. с англ. / Р. Хаазе. – М. : Мир, 1967. – 408 с.

---

## Conditions of Combined Convective Vacuum Impulse Drying of Vegetable Products

**I.V. Popova, Yu.V. Rodionov, S.A. Shcherbakov,  
V.M. Dmitriev, V.G. Odnolko, S.S. Hanuni**

*Tambov State Technical University, Tambov  
IPPN - Hazhza - U. Sana'a*

**Key words and phrases:** combined convective vacuum impulse drying; swirling layer; process intensification; optimal correlation of drying regimes; ways of cutting vegetable products.

**Abstract:** A consideration has been made of the problem of optimal choice of regimes for combined convective vacuum impulse drying applied to vegetable products on the basis of two types of drying: convective drying in the swirling layer and vacuum impulse drying. Optimal conditions including ways of drying, drying regimes, form of dried products are revealed.

---

© И.В. Попова, Ю.В. Родионов, С.А. Щербаков,  
В.М. Дмитриев, В.Г. Однолько, С.С. Хануни, 2008