

УДК 66.067.55

### ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ СУШКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

**В.Б. Воробьев, А.М. Климов, Ю.В. Родионов,  
В.А. Преображенский, Д.В. Скворцов**

*ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический  
университет», г. Тамбов*

*Рецензент д-р техн. наук, профессор В.Ф. Першин*

**Ключевые слова и фразы:** двухступенчатая сушка с конвективно-вакуум-импульсным воздействием; жидкостнокольцевые вакуумные насосы; закрученный слой; интенсификация процесса; снижение энергозатрат.

**Аннотация:** Рассмотрена конструкция двухступенчатой конвективно-вакуум-импульсной сушки растительного сырья на основе двух видов сушки: первая ступень – конвективная в закрученном слое, вторая ступень – вакуум-импульсная. Выявлены пути снижения энергозатрат за счет разработки новых конструкций жидкостнокольцевых вакуумных насосов. Проведена сравнительная оценка затрат электроэнергии существующих конвективно-вакуум-импульсной и модернизированной сушилок.

Овощи, фрукты, ягоды, зелень, грибы и прочие растительные продукты играют важную роль в рационе человека. От производителя до стола потребителя из выращенного урожая доходит не более 30 % сельскохозяйственной продукции. Срок хранения свежих овощей, фруктов, ягод, зелени, грибов, цветов и прочих растительных продуктов составляет от нескольких часов, дней и до 3–5 месяцев [1]. При хранении овощей в свежем виде расходуются их собственные питательные вещества, так как процесс жизнедеятельности во время хранения не останавливается, а просто замедляется. Все это вызывает необходимость их консервирования не только на зимний, но и более длительный период с сохранением в пищевых

---

Воробьев Виталий Борисович – аспирант кафедры «Теория машин, механизмов и детали машин»; Климов Анатолий Михайлович – кандидат технических наук, профессор кафедры «Технологии продовольственных продуктов»; Родионов Юрий Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Теория машин, механизмов и детали машин»; Преображенский Владислав Александрович – аспирант кафедры «Теория машин, механизмов и детали машин»; Скворцов Дмитрий Владимирович – магистрант, e-mail: diman.nlb@rambler.ru, ТамбГТУ, г. Тамбов.

продуктах биологической и энергетической ценностей. Методы консервирования разнообразны: стерилизация и пастеризация, охлаждение и замораживание, соление, засахаривание и сушка.

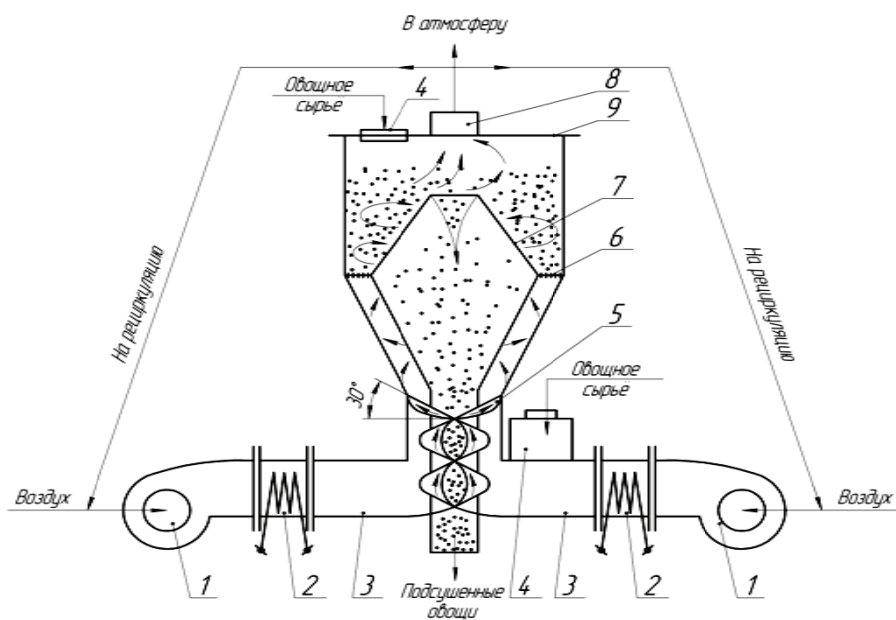
Консервирующий эффект при сушке достигается за счет снижения влажности и замедления процессов развития микрофлоры в сухих растительных материалах. Для каждого способа сушки характерны свои особенности течения процесса, которым соответствуют различные виды сушилок, отличающиеся друг от друга конструкцией, стоимостью, оснащением сложным дополнительным оборудованием для осушения теплоносителя [2].

Эффективным способом консервирования растительных материалов является двухступенчатая сушка с конвективно-вакуум-импульсным (КВИ) воздействием, при котором интенсифицируются внешний и внутренний тепло- и массообмены [3], сокращается длительность процесса и исключается перегрев продуктов не только в первом периоде сушки (после удаления свободной влаги). При импульсном вакуумировании предварительно нагретого растительного материала процесс влагоудаления интенсифицируется в 5–10 раз с миграцией части влаги на поверхность высушиваемого материала в виде жидкости, минуя фазовый переход в пар внутри сушеного продукта.

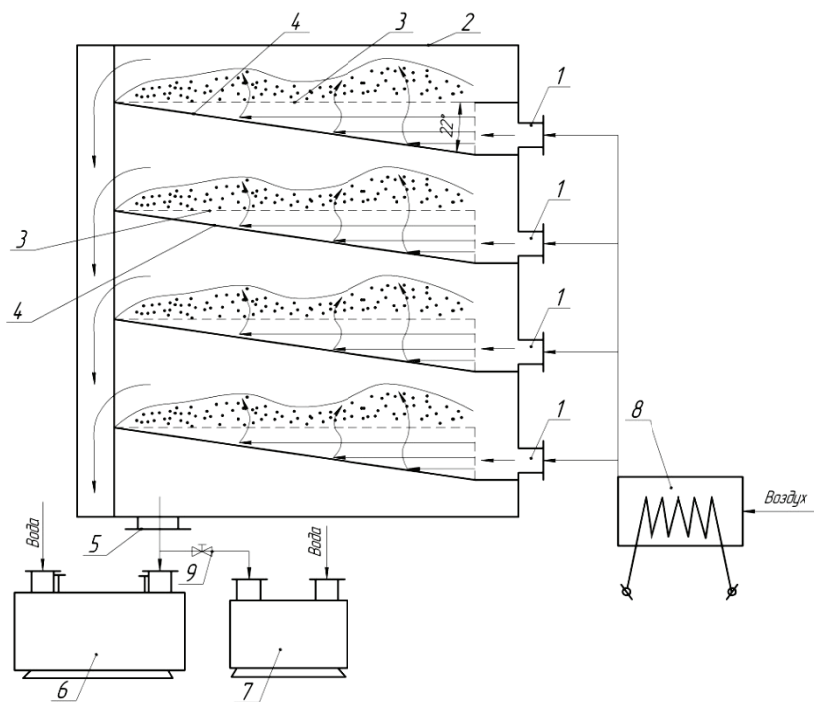
Интенсивное испарение влаги с поверхности продукта вызывает снижение его температуры. При импульсном изменении давления в сушильной камере (до  $P_{\text{ост}} = 10$  кПа) в предварительно нагретом сырье интенсифицируется не только процесс удаления влаги, но и кислорода из пустот капилляров, происходит разрушение части межклеточных мембран, что ведет к подавлению окислительно-восстановительных реакций (гибнет часть бактерий), и, в итоге, комплексного воздействия КВИ режимов возникает консервирующий эффект. При КВИ сушке предельно допустимая температура нагрева фруктов, ягод – не выше 50...55 °С, некоторых цветов и трав – не выше 38...40 °С, для овощей – 55...65 °С. Подвод тепла к материалу производится конвекцией.

Первая ступень (конвективная сушка с закрученным слоем продукта) (рис. 1) сушки длится около 0,4 ч и прекращается при снижении влажности подсушиваемого продукта до 40–50 %. Количество высушиваемого продукта, поступающего на первую ступень, составляет 50 кг (для одного сушильного шкафа). Вторая ступень (конвективно-вакуум-импульсная сушка) продолжительностью 0,8–1,2 ч заканчивается при влажности готового продукта 5–10 % (рис. 2, табл. 1).

На кафедре ТММ и ДМ ТГТУ разработаны и изготовлены новые конструкции жидкостнокольцевых вакуумных насосов (ЖВН), позволяющие существенно снизить энергозатраты на всех режимах работы. Так, при использовании одноступенчатого ЖВН с автоматическим регулированием нагнетательного окна [4] за счет регламентации дополнительной жидкости уменьшаются затраты энергии на 20 %, а двухступенчатого ЖВН с последовательным соединением ступеней [5] – на 40 %. Изменения энергозатрат за счет применения предложенных выше конструкций ЖВН указаны в табл. 2. Анализируя данные таблицы можно сделать вывод о том, что за счет модернизации двухступенчатой КВИ сушки можно снизить затраты энергии на 25 %.



**Рис. 1. Схема сушилки первой ступени (с закрученным взвешенным слоем продукта):**  
 1 – вентилятор; 2 – ТЭН; 3 – тангенциальный подвод теплоносителя; 4 – бункер;  
 5 – лента шнека; 6 – сетка съемная; 7 – конус; 8 – воздухопровод; 9 – крышка



**Рис. 2. Схема сушилки второй ступени (конвективной вакуум-импульсной):**  
 1 – штуцер входной; 2 – корпус вакуумного шкафа; 3 – лоток сетчатый;  
 4 – лист распределяющий; 5 – штуцер выходной; 6 – ЖВН двухступенчатый;  
 7 – ЖВН одноступенчатый с регулируемым окном; 8 – ТЭН; 9 – вентиль

Таблица 1

**Энергопотребляющее оборудование двухступенчатой КВИ сушки**

Ступень сушки	Используемое оборудование	Мощность оборудования, кВт	Время использования оборудования, ч	Удельные затраты энергии (по высушиваемому материалу), кВт/кгч
Первая	Газодувка, оборудованная ТЭНами	10	0,4	0,1
Вторая	Двухступенчатый ЖВН	15	0,33	0,63
	ТЭНЫ	4	0,33	0,17
	Одноступенчатый ЖВН	1,5	0,66	0,12
<b>Итого</b>				1,02

Таблица 2

**Энергетические затраты при двухступенчатой КВИ и модернизированной двухступенчатой КВИ сушках**

Используемое оборудование	Удельные затраты энергии (по высушиваемому материалу), кВт/кгч	
	двухступенчатая КВИ сушка	модернизированная двухступенчатая КВИ сушка
Газодувка, оборудованная ТЭНами	0,1	0,1
Двухступенчатый ЖВН	0,63	0,38
ТЭНЫ	0,17	0,17
Одноступенчатый ЖВН	0,12	0,1
<b>Итого</b>	1,02	0,75

*Список литературы*

1. Гинсбург, А.С. Основы теории и техники сушки пищевых продуктов / А.С. Гинсбург. – М. : Пищ. пром-сть. 1973. – 528 с.
2. Попова, И.В. Совершенствование технологии и средств сушки овощного сырья : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 : защищена 12.12.2009 : утв. 02.04.2010 / Попова Ирина Викторовна. – Тамбов, 2009. – 161 с.
3. Новые подходы к совершенствованию вакуумно-конвективных технологий сушки древесины / Р.Р. Хасаншин [и др.] // Деревообработ. пром-сть. – 2005. – № 5. – С. 16–19.
4. Пат. 2303166 Российская Федерация, МПК F04C 15/00. Жидкостно-кольцевая машина с автоматическим регулированием проходного сечения нагнетательного окна / Волков А.В., Воробьев Ю.В., Никитин Д.В., Попов В.В., Родионов Ю.В., Свиридов М.М. ; заявитель и патентообладатель Тамб. гос. техн. ун-т. – № 2005116616/06 ; заявл. 31.05.2005 ; опубл. 20.07.2007, Бюл. № 20. – 4 с.

5. Пат. 2343316 Российская Федерация, МПК F04C 7/00, F04C 19/00. Двухступенчатая жидкостно-кольцевая машина / Воробьев Ю.В., Максимов В.А., Попов В.В., Родионов Ю.В., Свиридов М.М. ; заявитель и патентообладатель Тамб. гос. техн. ун-т. – № 2007115026/06 ; заявл. 20.04.2007 ; опубл. 10.01.2009, Бюл. № 1. – 6 с.

---

## **Energy Efficiency of Two-Stage Drying of Vegetable Stock**

**V.B. Vorobyov, A.M. Klimov, Yu.V. Rodionov,  
B.A. Preobrazchenskiy, D.V. Skvortzov**

*Tambov State Technical University, Tambov*

**Key words and phrases:** liquid ring vacuum pumps; power consumption reduction; process intensification; swirled layer; two-stage drying through a convective vacuum-impulse.

**Abstract:** The article deals with design of two-stage convective vacuum impulse during of vegetable stock, based on the two types of drying. The first stage is convective in a swirled layer, and the second stage is vacuum-impulse. The researchers suggest the ways of reducing energy consumption through the development of new designs of liquid ring vacuum pumps. The comparative evaluation in terms of power consumption of the current convective vacuum-impulse driers and the up-graded ones has been carried out.

---

© В.Б. Воробьев, А.М. Климов, Ю.В. Родионов,  
В.А. Преображенский, Д.В. Скворцов, 2011