

Тип статьи: научная  
УДК 664.8.9  
DOI: 10.35887/2305-2538-2024-3-7-15

## ВАКУУМНАЯ СУШКА РАСТИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Юрий Викторович Родионов<sup>1</sup>, Сергей Иванович Данилин<sup>2</sup>,  
Григорий Вячеславович Рыбин<sup>3</sup>, Александр Сергеевич Зорин<sup>4</sup>,  
Ольга Александровна Зорина<sup>5</sup>, Валерий Александрович Талыков<sup>6</sup>

<sup>1,3,4</sup> Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация  
<sup>1,2,5,6</sup> Мичуринский государственный аграрный университет, г. Мичуринск, Российская Федерация  
<sup>1</sup>rodionow.u.w@rambler.ru, <sup>2</sup>danilin.7022009@mail.ru, <sup>3</sup>enot1237@gmail.com,  
<sup>4,5</sup>Zorin619@bk.ru, <sup>6</sup>vtalykov@gmail.com

Автор ответственный за переписку: Юрий Викторович Родионов, rodionow.u.w@rambler.ru  
Corresponding author: Yuri Rodionov, rodionow.u.w@rambler.ru

**Реферат.** Проанализированы основные направления использования сушки для первичной переработки растительных материалов на предприятиях АПК, в частности для закладки растительных материалов на длительное хранение, производства готовых к употреблению сушеных продуктов или полуфабрикатов для переработки в других отраслях, для использования в лечебно-профилактических целях. Выявлено, что в настоящее время наиболее перспективной системой обезвоживания растительных материалов является конвективно-вакуум-импульсная сушка. Цель статьи заключается в исследовании и усовершенствовании существующих конструкций сушилок растительного сырья. Упомянуты основные ученые, занимающиеся данной проблематикой и отмечены основные методы исследования данного процесса, а также лаборатории, где проводятся испытания. Представлены основные направления повышения эффективности одно- или двухступенчатой конвективно-вакуум-импульсных сушилок. Описано применение темповых аккумуляторов, минимизирующих потери тепла в ступенях и позволяющих применять комбинированный нагрев второй ступени за счет дополнительного кондуктивного нагрева лотков. Рассмотрены различные виды подвода тепла к высушиваемому материалу, в частности применение ТВЧ нагрева растительного материала во второй ступени и конвективный нагрев при помощи бескислородного газа. Проводимые исследования позволяют создать энергоэффективную сушилку с максимальным сохранением биологически активных веществ для различных видов растительных материалов. Описано применение для данного процесса жидкостнокольцевых вакуумных насосов (ЖВН) в качестве машин, организующих вакуум. Они являются одними из самых приспособленных для создания разрежения в теплообменных процессах с удалением влаги. Приведена методика подбора вида вакуум-насоса в зависимости от требуемого температурного режима сушки.

**Ключевые слова:** растительные материалы, биологически активные вещества, комбинированная вакуум-импульсная сушка, влагосодержание.

## VACUUM DRYING OF PLANT MATERIALS

Yuri Rodionov<sup>1</sup>, Sergei Danilin<sup>2</sup>, Grigory Rybin<sup>3</sup>, Alexander Zorin<sup>4</sup>, Olga Zorina<sup>5</sup>, Valery Talykov<sup>6</sup>  
<sup>1,3,4</sup> Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation  
<sup>1,2,5,6</sup> Michurinsky State Agrarian University, Michurinsk, Russian Federation  
<sup>1</sup>rodionow.u.w@rambler.ru, <sup>2</sup>danilin.7022009@mail.ru, <sup>3</sup>enot1237@gmail.com,  
<sup>4,5</sup>Zorin619@bk.ru, <sup>6</sup>vtalykov@gmail.com

**Abstract.** The main directions of using drying for the primary processing of plant materials at agricultural enterprises are analyzed, in particular for storing plant materials for long-term storage, production of ready-to-eat dried products or semi-finished products for processing in other industries, for

*use in therapeutic and prophylactic purposes. It has been revealed that at present the most promising system for dehydrating plant materials is convective-vacuum-pulse drying. The purpose of the article is to study and improve existing designs of plant raw material dryers. The main scientists involved in this issue are mentioned and the main methods for studying this process are noted, as well as the laboratories where tests are carried out. The main directions for increasing the efficiency of one- or two-stage convection-vacuum-pulse dryers are presented. The use of tempo accumulators is described, minimizing heat loss in stages and allowing the use of combined heating of the second stage due to additional conductive heating of the trays. Various types of heat supply to the material being dried are considered, in particular the use of high-frequency heating of plant material in the second stage and convective heating using oxygen-free gas. The ongoing research makes it possible to create an energy-efficient dryer with maximum preservation of biologically active substances for various types of plant materials. The use of liquid ring vacuum pumps (LVP) for this process as machines that organize vacuum is described. They are among the most suitable for creating vacuum in heat and mass transfer processes with moisture removal. A method for selecting the type of vacuum pump depending on the required drying temperature is presented.*

**Keywords:** *plant materials, biologically active substances, combined vacuum-pulse drying, moisture content.*

**Для цитирования:** Родионов Ю.В., Данилин С.И., Зорин А.С., Зорина О.А., Талыков В.А. Вакуумная сушка растительных материалов // Наука в центральной России Science in the Central Russia. 2024. Т. 69, № 3. С. 7-15. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-3-7-15>.

**For citation:** Rodionov Yu., Danilin S., Zorin A., Zorina O., Talykov V. Vacuum drying of plant materials. *Nauka v central'noj Rossii = Science in the Central Russia*: 2024; 69(3): 7-15. (In Russ.) <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-3-7-15>.

**Введение.** Сушка растительного сырья – это сложный процесс удаления влаги из капиллярно-пористых материалов широко используемый в технологии длительного хранения [1-3]. Его распространённость объясняется тем, что при обезвоживании растительных продуктов до влажности ниже 14% многие растительные продукты становится возможным хранить продолжительное время в обычных условиях [4]. Высушенный растительный материал может использоваться как готовый продукт, так и полуфабрикат, применяемый для производства широкого спектра пищевых продуктов. Отдельный интерес представляет использование сушеного растительного материала для производства продуктов функционального, лечебного и диетического питания. Важнейшим аспектом при этом является сохранение максимального количества биологически активных веществ (БАВ) и ценных термолабильных компонентов, подверженных окислению, для чего необходимо осуществлять сушку не только при щадящих режимах (низкие температуры), но и при минимальной длительности процесса.

В настоящее время среди существующих технологий можно выделить ряд, отвечающих этим требованиям:

- сублимационная;
- конвективная в виброкипящем слое;
- вакуумная.

Также важным производственным аспектом является минимальное энергопотребление и максимальная экономическая эффективность. Сублимационная сушка, несмотря на то, что имеет низкую продолжительность по времени и высокий процент сохранения БАВ является сложным, энергозатратным и дорогим процессом. Конвективная сушка по исполнению представляет собой простые и дешёвые конструкции, однако она теряет свою эффективность после окончания первого периода, в котором происходит удаление поверхностной влаги, в связи с чем процесс протекает долго, что отрицательно влияет на сохранение БАВ. Вакуумная сушка проводится при температуре материала 40-50°C и давлении разрежения 5-20 кПа [5]. Это позволяет добиться высокой эффективности во втором периоде и максимального сохранения биологически активных веществ. Однако в первом периоде она не превосходит конвективную, что в совокупности с высокими энергозатратами на организацию вакуума делает не рентабельным использование вакуумной сушилки.

Наиболее эффективным является использование комбинированной двухступенчатой конвективно-вакуум импульсной сушилки, которая совмещает в себе все преимущества и ликвидирует недостатки объединяемых способов. В таком случае время пребывания материала в сушильной камере обусловлено точкой критического влагосодержания. Также, стоит отметить, что при малом изменении влагосодержания в растительном материале при сушке может быть использована только вакуум-импульсная ступень. Отдельный интерес представляют растительные материалы, не имеющие ярко выраженного первого периода (в основном стебли и листья), а ряд растительных материалов подвержен потере БАВ посредством окисления. Всё это ставит задачу по поиску конструкторских и технологических путей модернизации вакуум-импульсной сушилки. Область сушки растительных материалов интересует большое количество учёных и является актуальной [6-13]. Однако ряд закономерностей в приложениях к конкретным объектам остаётся неизученным.

**Цель статьи:** исследование и совершенствование существующих конструкций и способов вакуумной сушки растительного материала.

**Материалы и методы.** Инновационные технологии и конструкции комбинированной вакуумно-импульсной сушилки растительного сырья исследуются и разрабатываются в лаборатории НОЦ ТГТУ-МичГАУ «Экотехнологии им. Ю.Г. Скрипникова», причем с проведением исследований качественного состава высушенных растительных материалов с использованием оборудования ЦКП «Селекция сельскохозяйственных культур и технологии производства, хранения и переработки продукции функционального и лечебно-профилактического назначения». Все это позволяет анализировать процесс предложенной сушки с условием кинематических параметров, отображенных кривыми сушки. В рамках работ происходит исследование широкого спектра растительных материалов, в том числе нетрадиционных (шелуха, листья, стебли).

**Результаты и их обсуждение.** Сушка растительного материала под вакуумом, то есть в ситуации, когда давление в области сушки ниже атмосферного позволяет добиться явления кипения жидкости в порах растительного материала при температуре ниже 100°C. Причем температура кипения напрямую зависит от глубины вакуума [14-16]. За счёт этого происходит интенсификация процесса влагоудаления при сравнительно низких температурах, благодаря чему удаётся избежать денатурации термолабильных БАВ. Поэтому важным технологическим показателем производственного процесса сушки является требуемая рабочая температура теплоносителя, при которой не происходит разложения присутствующих в составе материала функциональных компонентов и соответствующая глубина вакуума.

Следует отметить, что требование по ограничению верхнего порога температуры теплоносителя является актуальным только для второго периода сушки. Поскольку во время первого происходит испарение поверхностной жидкости с активным поглощением энергии, ввиду чего температура материала поддерживается в рамках температуры смоченного термометра психрометра. В связи с этим, наиболее рациональным для первого периода является использование одного из видов конвективной сушилки. Для растительного материала, не имеющего ярко выраженного первого периода время первой ступени сушки ограничивается началом потери БАВ.

Требуемая температура сушки определяет степень разрежения вакуумного насоса и, соответственно, определяет тип используемого насоса, а требуемая производительность определяет выбор одного варианта из типоразмерного ряда [17,18]. В таблице 1 – указаны характеристики насоса, соответствующие требуемому диапазону температуры кипения жидкости.

Таблица 1 – Характеристики ЖВН в зависимости от установленного температурного режима

Температурный диапазон, °С	Давление разрежения, кПа	Тип конструкции ЖВН
~60	20	одноступенчатый
~39	7	одноступенчатый с автоматически регулируемым нагнетательным окном
~18	2	двухступенчатый
~6	1	двухступенчатый комбинированного типа

В зависимости от начальной влажности  $C_n$  растительного материала подбирается количество ступеней процесса:

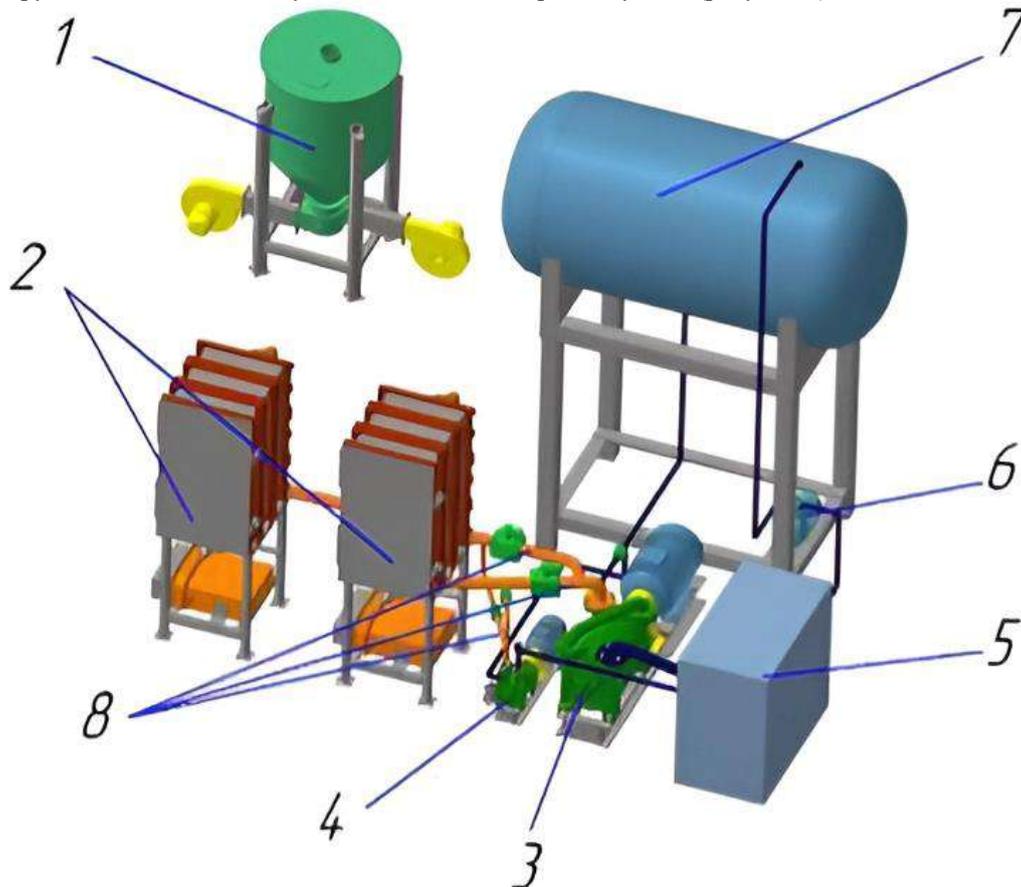
- одноступенчатая вакуумная – влажность  $C_n < 30$ ;

- двухступенчатая – влажность  $C_n \geq 30$ ;

При этом обычно конечная влажность высушенного материала составляет  $C_k = 6-10\%$ , что обосновывается требованиями к условиям хранения.

Одноступенчатая комбинированная или конвективно-вакуум-импульсная сушилка представляет собой вакуумный шкаф, который по необходимости комплектуется ёмкостью для импульсов, позволяющей применять ЖВН меньшей быстроты действия, что существенно экономит расходы на вакуумирование. Также шкаф может быть секционным, ограничение объёма каждой секции которого во время проведения импульсного воздействия также позволяет использовать вакуум-насос меньшей быстроты действия.

Однако чаще всего приходится использовать двухступенчатую модификацию конвективно-вакуумно-импульсную сушилки. Это обуславливается тем, что в большинстве случаев материал, подвергаемый сушке, имеет начальную влажность более 30%. Двухступенчатая сушка будет состоять из вакуумно-импульсного шкафа, представляющего вторую ступень и различные конструкции конвективных сушилок в качестве первой ступени (рисунок 1).



1 – конвективная сушилка с закрученным слоем; 2 – вакуумный сушильный шкаф; 3 – двухступенчатый ЖВН с последовательным включением ступеней; 4 – одноступенчатый ЖВН с регулируемым нагнетательным окном; 5 – чиллер для охлаждения рабочей жидкости; 6 – водяной насос; 7 – емкость для рециркуляции рабочей жидкости; 8 – система трубопроводов с приборами регулирования и контроля

Рисунок 1 – 3D-модель двухступенчатой конвективно-вакуум-импульсной сушилки

В тоже время любая вакуум-импульсная сушка является двухфазной. На первом этапе рабочего процесса происходит нагрев материала одним из видов теплопередачи, в частности конвективным или конвективно-кондуктивным. Причём обдув может осуществляться подогретым бескислородным теплоносителем, что уменьшает окисление БАВ. После этого происходит подача вакуума, в камере создаётся разрежение и происходит сушка до тех пор, пока температура материала не опустится до значений при которых останавливается кипение. Импульсное воздействие на материал проводится перед началом вакуумной сушки.

Для уменьшения теплопотерь в конструкцию сушилки внедряются теплоаккумуляторы позволяющие возвращать тепло в сушилку и в дальнейшем использовать его для обогрева кондуктивным способом [19-20]. При этом сушилки в которых сочетаются несколько видов подвода тепла, например, конвективная с использованием кондуктивного, ТВЧ или инфракрасного нагрева, называют комбинированными.

Первая ступень двухступенчатой конвективной или комбинированной вакуум-импульсной сушилки может быть представлена в виде одной из следующих конструкций. Наибольшее распространение получила лотковая конвективная сушилка с неподвижным слоем [16]. Также могут применяться конвективная конвейерная сушилка с осциллирующей подачей теплоносителя [21], конвективная сушилка со взвешенным закрученным слоем, конвективная сушилка с псевдооживленным или виброкипящим слоем [14].

В результате классификацию вакуумных сушилок можно представить в виде следующей схемы (рисунок 2).

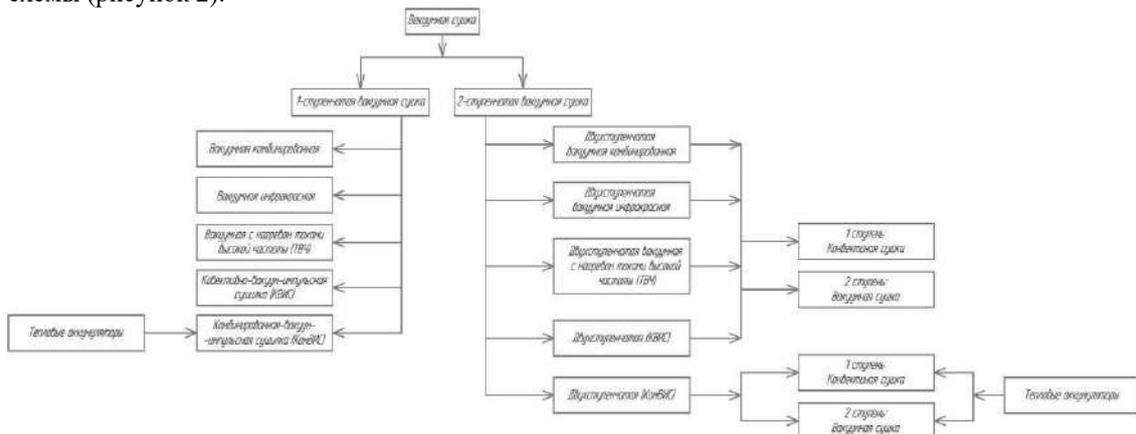


Рисунок 2 – Классификация вакуумных сушилок

Проводимый анализ качества получаемых при помощи двухступенчатой конвективно-вакуум-импульсной сушилки продуктов показал высокий уровень сохранения биологически активных веществ, что позволяет применять их для различных пищевых функциональных и лечебно-профилактических продуктов [22-24]. Причём высушенные продукты могут использоваться как сырьё, используемое для дальнейшей переработки и включения в состав, так и в качестве самостоятельного продукта [25,26]. На рисунке 3 представлены варианты получаемых продуктов.

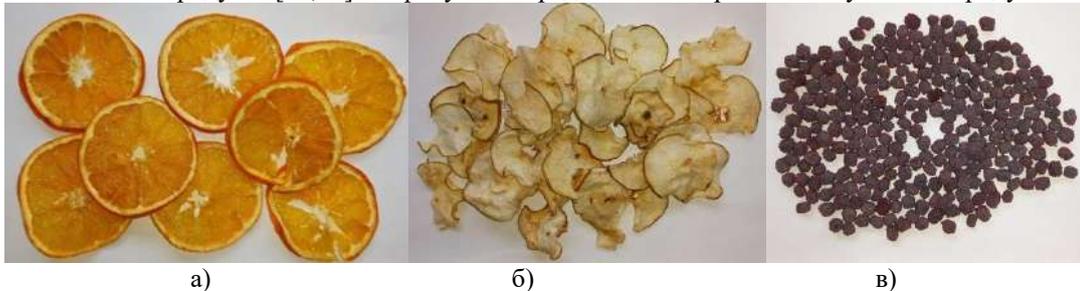


Рисунок 3 – Продукты, высушенные при помощи ДКВИС:  
 а – апельсин, б – груша, в – черноплодная рябина

**Заключение.** Использование вакуумной сушилки для переработки продукции растениеводства позволяет сохранить максимальное количество биологически активных веществ и функциональных компонентов в составе, что позволяет применять такие продукты в качестве полуфабрикатов для производства здорового питания и лекарственных средств, а также использовать их непосредственно для питания.

В настоящее время существует несколько разновидностей вакуумных сушилок, которые можно объединить в единую классификацию. В первую очередь они подразделяются на одноступенчатые и двухступенчатые. Затем производят разделение по типу подвода тепла к высушиваемому материалу. Выделяют конвективный, кондуктивный, инфракрасный, ТВЧ и комбинированный способы. При этом отдельный интерес представляет внедрение теплоаккумуляторов позволяющих вернуть часть теряемой тепловой энергии в сушилку.

Для организации вакуума наиболее целесообразно использовать жидкостнокольцевой вакуумный насос, подбор которого осуществляют исходя из требуемой температуры сушки материала.

#### Список источников

1. Гинсбург А.С. Основы теории и техники сушки пищевых продуктов/ А.С. Гинсбург - М.: Пищевая промышленность. 1973. - 528 с.
2. Технология хранения, переработки и стандартизация растениеводческой продукции: учебник / В.И. Манжесов [и др.]. – СПб. : Троицкий мост, 2010. – 704 с.
3. Синха Н.К. Настольная книга производителя и переработчика плодоовощной продукции / Н.К. Синха, И.Г. Хью. (ред.) – Пер. с англ. – СПб.: Профессия, 2014. – С. 912.
4. Разработка рецептуры смеси овощных и фруктовых порошков для приготовления безалкогольных напитков / И. В. Иванова, Д. А. Козодаева, М. В. Коновалов, А. Ю. Григорьева // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2015. – № 3(7). – С. 26-33. – EDN UZNEOD.
5. Филоненко, Г.К. Сушка пищевых растительных материалов / Г.К. Филоненко. – М.: Пищевая промышленность, 1971. – 440 с.
6. Лыков А.В. Теория сушки/ А.В. Лыков - 2-е изд.- М.: Энергия, 1968. - 471 с.
7. Теплотехника: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению "Агроинженерия" / Рудобашта С. П. ; Ассоц. "Агрообразование". - Москва : КолосС, 2010. - 598 с.
8. Родионов Ю.В. Совершенствование теоретических методов расчетов и обоснование параметров и режимов жидкостнокольцевых вакуумных насосов с учетом особенностей технологических процессов в АПК: дис...д.т.наук: : 05.20.01: защищена 29.03.13 г. / Родионов Юрий Викторович - Мичуринск-Наукоград, 2013. - 435 с
9. Попова И. В. Совершенствование технологии и средств сушки овощного сырья: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. – Мичуринск, 2009. – С. 161.
10. Иванова Е.П. Разработка технологии приготовления сухой закваски на основе растительного сырья для производства хлебобулочных изделий функционального назначения: дис. ... канд. с.-х. наук: 05.18.01 – Мичуринск-наукоград, 2016 – С. 152.
11. Зорин А.С. Совершенствование технологии и технических средств комбинированной вакуумной сушки растительного сырья для производства чипсов: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. – Тамбов, 2019. – С. 156.
12. Перфилова, О. В. Переработка вторичного фруктово-овощного сырья с использованием электрофизических методов: расширение ресурсного потенциала и ассортимента продуктов повышенной пищевой ценности, разработка инновационных технологических решений: дис... док. техн. наук: 05.18.01. – Воронеж, 2019. – 437 с.
13. Блинникова, О.М. Перспективные способы сушки плодов и ягод / О.М. Блинникова // Новое в технологии и технике функциональных продуктов питания на основе медико-биологических воззрений: материалы III междунар. науч.-пакт. конф. (30-31 октября 2013 г.). – Воронеж: ВГУИТ, 2013. – с. – 37-39.
14. Попова И.В. Условия комбинированной конвективной вакуум-импульсной сушки растительных продуктов/ Ю.В. Родионов, С.А. Щербаков, В.М. Дмитриев, В.Г. Однолько, С.С.

Хануни// Вопросы современной науки и практики. Университет В.И. Вернадского. Т.2. №4(14), ТГТУ 2008 г., С. 21-25.

15. Родионов, Ю.В. Сравнительный анализ эффективности сублимационной и двухступенчатой конвективной вакуум-импульсной сушки / Ю.В. Родионов., И.В. Попова, Д.А. Шацкий // Труды международного технического семинара: к 100-летию А.В. Лыкова. – Воронеж, 2010. - С. 160-167.

16. Скрипников Ю.Г. Инновационные технологии сушки растительного сырья / Ю.Г. Скрипников, М.А. Митрохин, Е.П. Ларионова, Ю.В. Родионов, А.С. Зорин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского – 2012 – №3 (41) – С. 371-376.

17. Родионов, Ю. В. Обоснование выбора вакуумных насосов для конвективной вакуумной ступени сушки растительных материалов / Ю.В. Родионов, В.Г. Однолько, И.В. Попова // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2009. – № 6 (20). – С. 106-110

18. Применение жидкостнокольцевых вакуумных насосов при сушке растительного сырья / А. И. Завражнов, М. А. Митрохин, Е. В. Пальчиков [и др.] // Проблемы развития АПК региона. – 2014. – Т. 17, № 1(17). – С. 63-67. – EDN SBPQGX.

19. Пат. 2716056 С1 РФ, МПК F26B 17/10 F26B 5/04, Энергоэффективная конвективно-вакуум-импульсная сушильная установка с тепловыми аккумуляторами / Зорин А.С., Иванова И.В., Никитин Д.В., Родионов Ю.В., Щегольков А.В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «ТГТУ». № 2019106971; заявл. 13.03.2019; опубл. 06.03.2020. Бюл. № 7.

20. Применение наномодифицированных теплоаккумулирующих материалов в системах сушки растительного сырья / Родионов Ю.В., Щегольков А.В., Никитин Д.В., Зорин А.С. // Наука в центральной России. – 2020. – № 1 (43). – С. 43-50.

21. Разработка аппаратного оформления сушки полидисперсных растительных материалов / Э. С. Иванова, А. Б. Гриднев, А. А. Подольский [и др.] // Импортзамещающие технологии и оборудование для глубокой комплексной переработки сельскохозяйственного сырья : материалы I Всероссийской конференции с международным участием, Тамбов, 24–25 мая 2019 года. – Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2019. – С. 239-243. – EDN ZYQQBT.

22. Проблемы и перспективы производства растительных порошков / Ю.В. Родионов, О.В. Ломакина, Д.В. Никитин, Ю.А. Чумиков, А.С. Ратушный, С.И. Данилин, Ю.Ю. Родионов // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2019. – № 1 (27). – С. 69-77.

23. Технология переработки пастернака, тыквы и яблок в порошок для функционального питания / Ю.В. Родионов, Д.В. Никитин, С.И. Данилин, М.А. Митрохин, М.В. Утешев, Н.Н. Мочалин, Ю.Ю. Родионов // Проблемы развития АПК региона. – 2018. – № 3 (35). – С. 214-220.

24. Исследование и выбор режимных параметров сушки чеснока сорта «Юбилейный Грибовский» / Э.С. Иванова, Ю.В. Родионов, Д.В. Никитин, С.И. Данилин, А.С. Ратушный // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2019. – № 4. – С. 67-73.

25. Разработка режима вакуумной сушки перца сорта «Ласточка» / А.И. Скоморохова, А.А. Завьялов, Ю.В. Родионов, А.С. Зорин // Инновационная техника и технология. – 2019. – № 3 (20). – С. 23-28.

26. Иванова Э.С. Исследование процесса сушки топинамбура / Э.С. Иванова, А.И. Скоморохова, В.А. Кольцов, Ю.В. Родионов, В.П. Капустин, Д.В. Никитин // Наука в центральной России. – 2019. – № 2 (38). – С. 77-85.

#### References

1. Ginsburg A.S. Fundamentals of the theory and technology of drying food products / A.S. Ginsburg - M.: Food industry. 1973. - 528 p.
2. Technology of storage, processing and standardization of crop products: textbook / V.I. Manzhosov [and others]. – St. Petersburg. : Trinity Bridge, 2010. – 704 p.
3. Sinha N.K. Handbook for producers and processors of fruits and vegetables / N.K. Sinha, I.G. Hough. (ed.) – Trans. from English – St. Petersburg: Profession, 2014. – P. 912.

4. Development of a recipe for a mixture of vegetable and fruit powders for the preparation of soft drinks / I. V. Ivanova, D. A. Kozodaeva, M. V. Konovalov, A. Yu. Grigorieva // Technologies of the food and processing industry of the agro-industrial complex - healthy food products. – 2015. – No. 3(7). – P. 26-33. – EDN UZNEOD.
5. Filonenko, G.K. Drying of food plant materials / G.K. Filonenko. – M.: Food Industry, 1971. – 440 p.
6. Lykov A.V. Theory of drying / A.V. Lykov - 2nd ed. - M.: Energy, 1968. - 471 p.
7. Thermal engineering: a textbook for students of higher educational institutions studying in the direction of "Agroengineering" / Rudobashta S.P.; Assoc. "Agroeducation". - Moscow: KolosS, 2010. - 598 p.
8. Rodionov Yu.V. Improving theoretical calculation methods and substantiating the parameters and modes of liquid ring vacuum pumps, taking into account the peculiarities of technological processes in the agro-industrial complex: dissertation ... doctor of technical sciences.: 05.20.01: defended 03.29.13 / Rodionov Yuri Viktorovich - Michurinsk-Naukograd, 2013. - 435 s
9. Popova I.V. Improvement of technology and means of drying vegetable raw materials: dis. ...cand. tech. Sciences: 05.20.01. – Michurinsk, 2009. – P. 161.
10. Ivanova E.P. Development of technology for preparing dry sourdough based on plant raw materials for the production of functional bakery products: dis. ...cand. agricultural Sciences: 05.18.01 – Michurinsk-naukograd, 2016 – P. 152.
11. Zorin A.S. Improving the technology and technical means of combined vacuum drying of vegetable raw materials for the production of chips: dis. ...cand. tech. Sciences: 05.20.01. – Tambov, 2019. – P. 156.
12. Perfilova, O. V. Processing of secondary fruit and vegetable raw materials using electrophysical methods: expanding the resource potential and range of products with increased nutritional value, developing innovative technological solutions: diss... doc. tech. Sciences: 05.18.01. – Voronezh, 2019. – 437 p.
13. Blinnikova, O.M. Promising methods of drying fruits and berries / O.M. Blinnikova // New in the technology and technology of functional foods based on medical and biological views: materials of the III international. scientific pact conf. (October 30-31, 2013). – Voronezh: VGUI, 2013. – p. – 37-39.
14. Popova I.V. Conditions for combined convective vacuum-pulse drying of plant products / Yu.V. Rodionov, S.A. Shcherbakov, V.M. Dmitriev, V.G. Only, S.S. Hanuni // Issues of modern science and practice. University of V.I. Vernadsky. T.2. No. 4(14), TSTU 2008, pp. 21-25.
15. Rodionov, Yu.V. Comparative analysis of the effectiveness of sublimation and two-stage convective vacuum-pulse drying / Yu.V. Rodionov., I.V. Popova, D.A. Shatsky // Proceedings of the international technical seminar: to the 100th anniversary of A.V. Lykova. – Voronezh, 2010. - pp. 160-167.
16. Skripnikov Yu.G. Innovative technologies for drying vegetable raw materials / Yu.G. Skripnikov, M.A. Mitrokhin, E.P. Larionova, Yu.V. Rodionov, A.S. Zorin // Questions of modern science and practice. University named after IN AND. Vernadsky – 2012 – No. 3 (41) – P. 371-376.
17. Rodionov, Yu. V. Justification for the choice of vacuum pumps for the convective vacuum stage of drying plant materials / Yu.V. Rodionov, V.G. Odnolko, I.V. Popova // Issues of modern science and practice. University named after IN AND. Vernadsky. – 2009. – No. 6 (20). – pp. 106-110
18. Application of liquid ring vacuum pumps in drying plant raw materials / A. I. Zavrashnov, M. A. Mitrokhin, E. V. Palchikov [etc.] // Problems of development of the regional agro-industrial complex. – 2014. – T. 17, No. 1(17). – pp. 63-67. – EDN SBPQGX.
19. Pat. 2716056 C1 RF, MPK F26B 17/10 F26B 5/04, Energy-efficient convective-vacuum-pulse drying unit with thermal accumulators / Zorin A.S., Ivanova I.V., Nikitin D.V., Rodionov Yu.V., Shchegolkov A.V.; applicant and patent holder of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "TSTU". No. 2019106971; application 03/13/2019; publ. 03/06/2020. Bull. No. 7.
20. Application of nanomodified heat-accumulating materials in drying systems for plant raw materials / Rodionov Yu.V., Shchegolkov A.V., Nikitin D.V., Zorin A.S. // Science in central Russia. – 2020. – No. 1 (43). – P. 43-50.

21. Development of hardware for drying polydisperse plant materials / E. S. Ivanova, A. B. Gridnev, A. A. Podolsky [et al.] // Import-substituting technologies and equipment for deep complex processing of agricultural raw materials: materials of the I All-Russian conference with international participation, Tambov, May 24–25, 2019. – Tambov: Tambov State Technical University, 2019. – P. 239-243. – EDN ZYQQBT.

22. Problems and prospects for the production of plant powders / Yu.V. Rodionov, O.V. Lomakina, D.V. Nikitin, Yu.A. Chumikov, A.S. Ratushny, S.I. Danilin, Yu.Yu. Rodionov // Technologies of the food and processing industry of the agro-industrial complex - healthy food products. – 2019. – No. 1 (27). – pp. 69-77.

23. Technology for processing parsnips, pumpkins and apples into powders for functional nutrition / Yu.V. Rodionov, D.V. Nikitin, S.I. Danilin, M.A. Mitrokhin, M.V. Uteshev, N.N. Mochalin, Yu.Yu. Rodionov // Problems of development of the regional agro-industrial complex. – 2018. – No. 3 (35). – pp. 214-220.

24. Research and selection of regime parameters for drying garlic of the “Yubileiny Gribovsky” variety / E.S. Ivanova, Yu.V. Rodionov, D.V. Nikitin, S.I. Danilin, A.S. Ratushny // Technologies of the food and processing industry of the agro-industrial complex - healthy food products. – 2019. – No. 4. – P. 67-73.

25. Development of a vacuum drying mode for pepper of the “Lastochka” variety / A.I. Skomorokhova, A.A. Zavyalov, Yu.V. Rodionov, A.S. Zorin // Innovative equipment and technology. – 2019. – No. 3 (20). – pp. 23-28.

26. Ivanova E.S. Study of the drying process of Jerusalem artichoke / E.S. Ivanova, A.I. Skomorokhova, V.A. Koltsov, Yu.V. Rodionov, V.P. Kapustin, D.V. Nikitin // Science in central Russia. – 2019. – No. 2 (38). – pp. 77-85.

#### **Информация об авторах**

Ю.В. Родионов – доктор технических наук, профессор; С.И. Данилин – кандидат сельскохозяйственных наук, профессор; Г.В. Рыбин – магистрант; А.С. Зорин – кандидат технических наук; О.А. Зорина – аспирант; В.А. Талыков – директор Тамбовского филиала ФГБОУ ВО «Мичуринский ГАУ».

#### **Information about the authors**

Yu. Rodionov – Doctor of Technical Sciences, Professor; S. Danilin – Candidate of Agricultural Sciences, Professor; G. Rybin - master's student; A. Zorin – Candidate of Technical Sciences; O. Zorina – graduate student; V. Talykov - director Tambov branch of Michurinsky State Agrarian University.

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

**Contribution of the authors:** all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

**The authors declare no conflict of interest.**

Поступила в редакцию (Received): 10.04.2024      Принята к публикации (Accepted): 14.06.2024