УДК 664.834

DOI: 10.35887/2305-2538-2021-1-43-53

**ИННОВАЦИОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ СУШКИ
ПЛОДООВОЩНОЙ ПРОДУКЦИИ**¹Иванова Эльвира Сергеевна²Родионов Юрий Викторович²Зорина Ольга Александровна²Никитин Дмитрий Вячеславович²Скоморохова Анастасия Игоревна²Щегольков Александр Викторович¹ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет»²ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Реферат. Правильная переработка плодового, ягодного, овощного и травянистого сырья позволяет существенно повысить срок его хранения и облегчить транспортировку по всей стране. Одним из важных видов переработки растительного материала является его высушивание. Проведен анализ преимуществ и недостатков трех различных способов сушки: конвективной, сублимационной и двухступенчатой конвективной вакуум-импульсной сушки (ДКВИС). Выявлена предпочтительность по качеству получаемого продукта и затратам использования двухступенчатой сушки. Ее преимущества подтверждены исследованиями сушеных растительных материалов на примере высушенной тыквы сорта «Мичуринская» по количеству витамина С, сумме каротанойдов, сахарозы, целостности сырья, равномерности сушки, времени развариваемости, доли влаги, внешним характеристикам. Приведен анализ химического состава сушеного перца сорта «Ласточка», показывающий, что двухступенчатая конвективная вакуум-импульсная сушка (ДКВИС) позволяет достигнуть наибольшего сохранения полезных компонентов. Получены кривые скорости сушки чеснока сорта «Юбилейный Грибовский» при ДКВИС, первая ступень которой выполнена в виде конвективной лотковой сушилки, вторая – конвективного вакуумного шкафа. Предложены пути дальнейшей интенсификации ДКВИС путем применения теплоаккумулирующих элементов и внедрения частичной автоматизации, что позволяет снизить потери электроэнергии на 25 %. Разрабатывается ДКВИС, которая включает в себя сушилку с ленточным конвейером, дополнительную емкость для создания импульсов и вакуумный шкаф. В перспективах планируется использовать инфракрасное излучение в обогревателе сушилки с ленточным конвейером, что позволит осуществлять кондуктивный нагрев лотков.

Ключевые слова: конвективная сушка, сублимационная сушка, двухступенчатой конвективная вакуум-импульсной сушка, растительный материал.

**INNOVATIVE CONSTRUCTIONS AND TECHNOLOGIES
FOR DRYING FRUIT AND VEGETABLE PRODUCTS**¹Ivanova Elvira²Rodionov Yuri²Zorina Olga²Nikitin Dmitry²Skomorokhova Anastasia²Schegolkov Alexander¹FSBEI HE "Michurinsky State Agrarian University"²FSBEI HE "Tambov state technical university"

Abstract. Correct processing of fruit, berry, vegetable and herbaceous raw materials can significantly increase its shelf life and facilitate transportation throughout the country. One of the important types of processing of plant material is its drying. An analysis of the advantages and disadvantages of three different drying methods: convective, sublimation and two-stage convective

vacuum-impulse drying (DCVIS) was carried out. The preference for the quality of the obtained product and the cost of using two-stage drying has been revealed. Its advantages are confirmed by studies of dried plant materials on the example of dried pumpkin variety "Michurinskaya" by the amount of vitamin C, the amount of caratanoils, sucrose, the integrity of raw materials, uniformity of drying, digestion time, moisture content, external characteristics. Analysis of the chemical composition of dried peppers of the Lastochka variety, showing that two-stage convective vacuum-impulse drying (DKVIS) allows achieving the greatest preservation of useful components, is given. The curves of the drying rate of garlic variety "Yubileiny Gribovsky" at DKVIS, the first stage of which is made in the form of a convective tray dryer, the second - a convective vacuum cabinet, were obtained. Ways to further intensify DKVIS through the use of heat storage elements and the introduction of partial automation, which allows to reduce energy losses by 25 %, have been proposed. DKVIS, which includes a dryer with a belt conveyor, an additional vessel for generating pulses and a vacuum cabinet, is being developed. Infrared radiation in the heater of the dryer with a belt conveyor is planned to be used in the future, which will allow conductive heating of the trays.

Keywords: *convective drying, freeze drying, two-stage convective vacuum-impulse drying, plant material.*

Введение. Одной из важнейших задач отраслей сельскохозяйственной промышленности является обеспечение населения страны здоровым питанием, так как оно оказывает сильное влияние на иммунитет и внешний вид человека. Для этого необходимо круглогодично осуществлять поставку плодового, ягодного, овощного и травянистого сырья различных регионов произрастания. Необходимость изучения способов консервирования материалов растительного происхождения обусловлена низким сроком хранения, который может варьироваться от нескольких часов до 3 – 5 месяцев. Причем важно создавать условия, при которых не будет происходить утрата биологической и энергетической ценности в овощах, фруктах, ягодах, зелени, грибах и пр. с последующим переносом всех полезных компонентов в пищевые продукты.

Для решения этой проблемы, а также для облегчения транспортировки, растительный материал подвергают различным видам переработки, среди которых особый интерес представляет сушка. Процесс сушки заключается в удалении влаги (воды) с целью получения остаточного влагосодержания ниже некоторого предела, при котором возможно развитие микроорганизмов, что способствует значительному увеличению сроков хранения. Важно также отметить, что высушенный материал занимает меньше места по сравнению с исходным, поэтому упрощаются задачи транспортировки на дальние расстояния. Кроме того, из сухого сырья можно получать растительный порошок, который в дальнейшем используется в качестве полезных добавок в продукты питания ежедневного рациона [1, 2].

Процесс удаления влаги имеет свои особенности, которые отражаются при построении кинетических кривых сушки. Условия его протекания во многом отражаются на качестве готового продукта, поэтому выбору режимных параметров сушки уделяется большое внимание.

Цель работы – исследование основных закономерностей процесса удаления влаги из плодов, овощей и растительного сырья при конвективной, сублимационной и двухступенчатой конвективной вакуум-импульсной сушке. Сравнение перечисленных видов сушки с целью выявления наиболее оптимальной. Определение путей интенсификации процесса сушки.

Материалы и методы. Для разработки инновационной технологии сушки необходимо изучение теоретических основ процесса сушки, основанного на законах тепло- и массообмена. Необходимо определить факторы, оказывающие влияние на протекание процесса сушки, и способы повышения его эффективности.

В настоящее время большое количество работ посвящено инновационным направлениям сушки плодовоовощного сырья, конструкциям применяемого оборудования и технологиям получения готового продукта [3 – 6].

Подбор способа сушки, конструктивных особенностей аппарата, физической и математической модели, описывающей кинетику процесса удаления влаги, способа интенсификации в большой мере определяется кинетическим режимом сушки. Поэтому анализировать процесс сушки растительных материалов целесообразно основываясь на кинетических параметрах, которые отображаются через кривые сушки [7 – 10].

Результаты и их обсуждение. Растительные материалы в зависимости от химико-биологического и структурного строения растительных материалов могут иметь выраженный или условный первый период сушки, например, яблоки [11, 12].

Если в растительном материале нет выраженного первого периода, то температура данного материала выдерживается все время ниже температуры денатурации основных биологически активных веществ (БАВ). При двухступенчатой конвективной вакуум-импульсной сушке время в конвективной ступени выбирается по условной конечной влажности 45 – 55 % (принимая 50 %) от общего влагосодержания. Интенсификация конвективной сушки дополнительно осуществляется осциллирующим режимом, а также дополнительными импульсами.

Для сравнения инновационных способов сушки рассмотрим конвективную сушку, ДКВИС и сублимационную сушку растительного материала.

Двухступенчатая конвективная вакуум-импульсная сушка ДКВИС состоит из следующих двух периодов. Первый период – ступень конвективная сушка различных типов (например, конвективная сушка во взвешенном закрученном слое). Вторая ступень – конвективная вакуум-импульсная сушка. Она подразделяется на фазы нагрева продувкой, вакуумирования и вакуумную сушку с последующей продувкой высушиваемого материала. Временное соотношение фаз выбирается, исходя из требуемого конечного влагосодержания продукта. Сублимационная сушка включает замораживание продукта до температуры, которая будет ниже точки затвердевания высушиваемого материала, после чего осуществляется сублимация – удаление водяного льда или кристаллов растворителя при низкой отрицательной температуре, что является непосредственным процессом сушки [13]. После завершения сублимации льда, дальнейшая сушка протекает при температуре выше 0°C.

Основным показателем экономической эффективности процесса сушки является требуемая для его осуществления энергия. Заморозка продукта при сублимационной сушке происходит обдуванием его воздухом при температурах ниже 0°C со скоростью 3...5 м/с. Указанные величины скорости потока воздуха в воздухоохладителях обеспечивают за счет применения мощных вентиляторов, которые в свою очередь выделяют некоторое количество теплоты в процессе работы. Эту теплоту необходимо компенсировать дополнительными затратами энергии на выработку холода. Такой вид сушки обеспечивает получение высококачественного конечного продукта, но при этом он будет обладать высокой себестоимостью [14]. Для конвективной и двухступенчатой конвективной вакуум-импульсной сушки затраты энергии значительно меньше, к тому же их можно дополнительно снизить в ДКВИС за счет применения тепловых аккумуляторов, а также введения дополнительного жидкостнокольцевого вакуумного насоса (ЖВН) меньшей быстроты действия [15]. Важно отметить, что дальнейшие работы по модернизации ЖВН позволят существенно сократить затраты мощности [16 – 17].

В таблице 1 приведены расчетные данные, по которым проводился сравнительный анализ энергетических затрат при конвективной, сублимационной и двухступенчатой конвективной вакуум-импульсной сушке.

Таблица 1 – Характеристические показатели для сравнения различных видов сушки

№	Сравниваемые показатели	Вид сушки		
		Сублимационная	Конвективная	ДКВИС
1	Время, ч	2,5	5	2
2	Энергоемкость, кВт/ч/кг	1,6	2	1,6
3	Энергопотребление (1*2)	4	10	3,2
4	Стоимость электроэнергии	1	1	1
5	Потребление газа	-	-	1
6	Затраты на используемое сырье	1	1	1
7	Суммарная себестоимость процесса (3*4+5*6)	5	11	4,2

Таблица 1 наглядно показывает, что двухступенчатая конвективная вакуум-импульсная сушка требует наименьших затрат энергии, вследствие чего себестоимость процесса по этому показателю также будет наименьшей.

В таблице 2 показаны результаты сравнения способов сушки по характеру проведения обработки, физико-химическим показателям и внешнему виду получаемого продукта (на примере высушенной тыквы сорта «Мичуринская» [18]).

Таблица 2 – Характеристика различных видов сушки по характеру проведения обработки и качеству сушеного продукта

Сравниваемый показатель	Вид сушки		
	ДКВИС	Конвективная	Сублимационная
Количество витамина С после высушивания, мг %	96,90	55,60	86,30
Сумма каратиноидов после высушивания, мг %	30,73	28,14	30,20
Содержание сахарозы после высушивания, %	4,92	4,80	4,88
Сохранение целостности сырья при сушке	Сохранение частиц сырья	Выдувание частиц сырья	Сохранение частиц сырья
Равномерность производимой обработки высушиваемого сырья	Поверхностный и объемный нагрев	Поверхностный нагрев	Поверхностный нагрев
Время развариваемости, мин	2-5	10-15	5-8
Массовая доля влаги, %	10,00	11,12	10,00
Консистенция и внешние характеристики сушеного продукта	Частицы целые, сухие, слегка хрупкие на изломе, слегка пористые, поверхностный каркас тонкий	Частицы целые, сухие, на изломе слегка слоистые, поверхностный каркас сильно выраженный, плотный	Частицы целые, сухие, на изломе слегка хрупкие, пористые, поверхностный каркас выраженный
Цвет конечного продукта	Оранжевый, однородный, яркий насыщенный	Оранжевый, неоднородный, насыщенный, присутствуют частицы красно-коричневого цвета	Оранжевый, однородный, яркий насыщенный
Степень обеззараживания	Полное	Частичное	Полное

Из таблицы видно, что результаты по предъявляемым для сравнения показателям при сушке на ДКВИС соответствуют получаемому продукту лучшего качества, как по количеству полезных компонентов, так и по внешнему виду.

Необходимо отметить, что для проведения сублимационной сушки требуется обеспечение ряда условий, таких как:

- в продукте в твердом агрегатном состоянии содержание влаги должно быть не менее 70%;
- поддержание достаточной разницы парциальных давлений паров воды в окружающей среде и продукте, который подвергается сушке.

Чтобы осуществить процесс двухступенчатой конвективной вакуум-импульсной сушки достаточно лишь поддерживать определенное значение глубины создаваемого вакуума, которое необходимо для того, чтобы обеспечить более эффективное течение процесса. Это делает ДКВИС наиболее предпочтительной среди рассматриваемых способов.

Таблица 3 – Качество высушенного перца сорта «Ласточка» при двухступенчатой конвективной вакуум-импульсной и конвективной сушке

Сравниваемый показатель	До сушки	После сушки	
		ДКВИС	Конвективная
Содержание каратина, мкг/%	1450,00	6810,00	5660,00
Сумма усвояемых углеводов, %	4,80	29,50	27,30
Количество сухих веществ, %	9,10	91,40	89,30
Содержание пищевых волокон, %	1,90	11,70	10,60
Общее количество золы, %	0,60	3,63	3,54
Содержание белка, мг/%	1,30	6,60	4,20
Количество органических кислот, %	0,10	0,50	0,40
Антиоксидантная активность, мг рутина в 100 г водного экстракта*	116,40	185,60	164,70
Содержание аскорбиновой кислоты (витамина С), мг/%*	215,00	253,50	109,40

* - данные получены при участии сотрудников ВНИИ овощеводства

В таблице 3 приведено сравнение показателей качества сушеного продукта при конвективной и двухступенчатой конвективной вакуум-импульсной сушке на примере сушки сладкого перца сорта «Ласточка».

Анализ изменения химического состава в процессе сушки свидетельствует о том, что наибольшее сохранение качества после проведения сушки получено при двухступенчатой конвективной вакуум-импульсной сушке. Причем по сохранению суммы усвояемых углеводов, антиоксидантной активности, витамина С, каротина и белка были получены наиболее хорошие результаты. Также лучшие показатели развариваемости и набухаемости материала достигаются при использовании ДКВИС, для которой их время составляет 2 – 3 мин. и 5 мин. соответственно.

Аналогичные исследования были проведены для тыквы «Мичуринская», топинамбура «Интерес», пастернака «Кулинар», иссопа «Лекарственный», крапивы «Двудомная», чеснока «Юбилейный Грибовский» и других растительных материалов, произрастающих в Центральном Черноземье. По конечным результатам также было выявлено, что наилучшие качественные показатели готового продукта соответствуют продукту, высушенному при двухступенчатой конвективной вакуум-импульсной сушке [19 – 23].

На графиках, представленных на рисунке 1, показаны зависимости влагосодержания от времени сушки при конвективной и двухступенчатой конвективной вакуум-импульсной сушке чеснока сорта «Юбилейный Грибовский».

Рисунок 1 – Кривые сушки (а) и температуры (б) конвективной и двухступенчатой конвективной вакуум-импульсной сушки чеснока сорта «Юбилейный Грибовский»

Сушка растительных продуктов сопровождается некоторыми типичными физическими явлениями – усадкой, «взрыванием», агломерацией, кристаллизацией и т.д. Неправильный выбор режима сушки может привести к необратимому ухудшению качества продукта и, как следствие,

ухудшению дальнейшей его реализации. Одним из условий выбора оптимального аппарата для сушки плодов и овощей является возможность регидратирования (восстановление) структуры растительных продуктов после высушивания. При сублимационной сушке на стадии заморозки не исключается нарушение клеточной структуры продукта из-за расширения содержащейся в сырье влаги, что при восстановлении превращает продукт в бесформенную и размягченную массу.

Улучшения свойств при сушке можно добиться предварительной или промежуточной обработкой: мойка, бланкирование, обработка импульсами и т.д.

При сушке горячим воздухом в растительных материалах происходят структурные изменения, которые значительно ухудшают качество готового сухого растительного продукта. Поэтому необходимо производить низкотемпературную сушку при щадящих режимах. Для различных размеров кусков растительных материалов, что достаточно важно при выполнении полной переработки, эффективно первую ступень выполнять в виде сушилки с взвешенным слоем (рисунок 2) [24].

- 1 – цилиндроконическая камера; 2 – питатель; 3 – барабан; 4 – цилиндрическая вставка;
 5 – коническая вставка; 6 – шаровые затворы; 7 – тепловой аккумулятор (емкость);
 8 – герметичный затвор; 9 – цилиндрическая камера второй ступени; 11 – герметичная крышка;
 12 – вакуумная система; 13 – емкость (тепловой аккумулятор); 14 – тепловые трубы; 15 – люки;
 16 – люки; 17 – автоматический клапан; 18 – ресивер; 19 – трубопровод; 20 – трубопровод;
 21 – трехходовой клапан; 22 – вакуумный насос; 23 – нагнетательное окно;
 24 – регулируемый вентиль; 25 – трубопровод; 26 – датчик разряжения

Рисунок 2 – Конструкция энергоэффективной конвективной вакуум-импульсной сушильной установки с теплоаккумулирующими элементами

Повышения энергоэффективности технологического процесса ДКВИС можно достичь путем применения наномодифицированных теплоаккумулирующих материалов. Были разработаны два типа установок для сушки, оснащенных тепловыми аккумуляторами. Они представлены на рисунках 2 и 3 [25].

- 1 – питатель; 2 – теплоаккумулирующие элементы; 3 – приводной барабан первой ступени;
 4 – натяжной барабан первой ступени; 5 – перфорированная лента конвейера; 6 – газовые горелки;
 7 – направляющие потока воздуха; 8 – ролики для опоры; 9 – промежуточная емкость;
 10 – емкости для создания импульсов; 11 – сушильный вакуумный шкаф; 12 – лотки;
 13 – электродвигатель; 14 – жидкостнокольцевой вакуумный насос; 15 – калорифер;
 16 – воздуходувки; 17 – электродвигатель привода ленточного конвейера; 18 – упругая муфта;
 19 – цилиндро-червячный редуктор

Рисунок 3 – Схема технологического процесса ДКВИС растительного материала с применением теплоаккумулирующих элементов

Технологическая схема второго варианта сушки включает в себя ленточный конвейер для транспортировки высушиваемого продукта. Кроме того, здесь внедрена частичная автоматизация путем использования персонального компьютера с программным обеспечением, разрабатываемым на основе принципов оптимизации режимов температуры для проведения процесса сушки растительных материалов.

Теплоаккумулирующие элементы устанавливаются в оборудование именно там, где возникает необходимость осуществления регулировки температурных режимов, и могут изготавливаться различных типоразмеров. Разработанная технологическая схема сушки позволяют достичь сокращения потерь электроэнергии соответственно на 20 и 25% для первого и второго типов сушильных установок.

Интерес представляет изучение процесса сушки частей плодовой, ягодной, овощной и травянистой продукции для последующей разработки комплексной, безотходной технологии переработки с целью получения расширенного ассортимента разнообразных продуктов пищевой и фармацевтической промышленности (экстрактов, порошков, хлопьев и т.д.). Для дальнейшего повышения интенсивности сушки ДКВИС будет проводиться внедрение инфракрасного излучения в обогреватель сушилки с ленточным конвейером, который сделает возможным осуществление кондуктивного нагрева лотков, а также оснащение установки дополнительной емкостью для сухих импульсов после первой ступени и вакуумного сушильного шкафа на второй ступени.

Заключение.

1. Проведен литературный анализ инновационных направлений сушки плодовоовощного сырья, конструкций применяемого оборудования и технологий получения готового продукта.

2. Представлено сравнение перспективных методов сушки растительных материалов, по результатам которого выявлено, что наиболее предпочтительным является двухступенчатая конвективная вакуум-импульсная сушка.

3. Приведены кривые сушки и качественный анализ высушенного продукта при конвективной и двухступенчатой конвективной вакуум-импульсной сушке.

4. Определены основные пути проведения дальнейшей интенсификации двухступенчатой конвективной вакуум-импульсной сушки для разработки технологии комплексной безотходной переработки растительного сырья, которая будет включать в себя первую ступень с ленточным конвейером и теплоаккумулирующие элементы.

Список литературы

1. Betoret E., Calabuig-Jiménez L., Barrera C., Rosa M.D. Sustainable Drying Technologies for the Development of Functional Foods and Preservation of Bioactive Compounds. // J. del R. B. T.-S. D. T. Olvera, Ed. Rijeka: InTech. – 2016. – Ch. 03. – Pp. 37 – 58.

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

3. Vishwanathan K.H., Giwari G.K., Hebbar H.U. Infrared assisted dry-blanching and hybrid drying of carrot. // Food and Bioproducts Processing. – 2013. – V. 91. – Pp. 89 – 94.

4. Rachna Sehrawat, Prabhat K. Nema, Bajinder Pal Kaur. Quality evaluation and drying characteristics of mango cubes dried using low-pressure superheated steam, vacuum and hot air drying methods. // LWT – Food Science and Technology. – V. 92 – June 2018. – Pp. 548 – 555.

5. Calín-Sánchez Á., Lipan L., Cano-Lamadrid M. and etc. Comparison of traditional and novel drying techniques and its effect on quality of fruits, vegetables and aromatic herbs // Foods – 2020. – № 9. – 1261.

6. Zhang M., Bhandari B., Fang Z. Handbook of Drying of Vegetables and Vegetable Products. – CRC Press, Boca Raton. – 2017. – 517 pp.

7. Попова И.В. Совершенствование технологии и средств сушки овощного сырья: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства. – Мичуринск. – 2009. – 161 с.

8. Зорин А.С. Совершенствование технологии и технических средств комбинированной вакуумной сушки растительного сырья для производства чипсов: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства. – Тамбов. – 2019. – 156 с.

9. Иванова Е.П. Разработка технологии приготовления сухой заправки на основе растительного сырья для производства хлебобулочных изделий функционального назначения: дис. ... канд. с.-х. наук: 05.18.01 – Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых

культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства. – Мичуринск-наукоград. – 2016 – 152 с.

10. Коновалов В.И., Романков П.Г., Соколов В.Н. Описание кинетических кривых сушки и нагрева тонких материалов // Теоретические основы химической технологии. – 1975. – Т. 9. – № 2. – С. 203 – 209.

11. Рудобашта С.П., Дмитриев В.М. Экспериментальное исследование процесса конвективной сушки нарезанных яблок / Импортотзамещающие технологии и оборудование для глубокой комплексной переработки сельскохозяйственного сырья: материалы I Всероссийской конференции с международным участием. – 2019. – С. 276 – 281.

12. Рудобашта С.П., Зуева Г.А., Дмитриев В.М. Исследование кинетики сушки материала, подверженного усадке // Современные энергосберегающие тепловые технологии (сушка и тепловые процессы) СЭТТ – 2020: сборник научных трудов Седьмой Международной научно-практической конференции, посвященной 110-летию со дня рождения Академика А.В. Лыкова. – 2020. – С. 116 – 121.

13. Гуйго Э.И., Журавская Н.К., Каухчешвили Э.И. Сублимационная сушка пищевых продуктов. – М.: Пищевая промышленность. – 1966. – 360 с.

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

15. Воробьев В.Б., Климов А.М., Родионов Ю.В., Преображенский В.А., Скворцов Д.В. Энергоэффективность двухступенчатой сушки растительного сырья // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2011. – № 3 (34). – С. 361 – 365.

16. Родионов Ю.В., Свиридов М.М., Никитин Д.В. Влияние конструктивно-технологических параметров на эффективность работы жидкостнокольцевых вакуум-насосов // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2007. – Т. 50. – № 5. – С. 102 – 104.

17. Rodionov Y.V., Selivanov Y.T., Nikitin D.V., Sychev M.V., Kombarova P.V. Novel construction of liquid ring vacuum pumps // Chemical and Petroleum Engineering. – 2019. – Т. 55. – № 5 – 6. – С. 473 – 479.

18. Пат. Селекционное достижение тыква крупноплодная Мичуринская (*Cucurbita maxima* Duch) / Ю.Г. Скрипников. № 2752. Заявл. 04.07.2000 г. Зарегистрирован в госреестре охраняемых селекционных достижений 14.06.2005 г.

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

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

21. Самохвалов Д.С., Родионов Ю.В., Билан Н.В., Скоморохова А.И. Отработка режимов двухступенчатой конвективной вакуумно-импульсной сушки дайкона сорта «Хару» // Инновационная техника и технология. – 2020. – № 1 (22). – С. 42 – 48.

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

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

24. Патент РФ № 2716056 С1, 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. – № 2019106971; заявл. 13.03.2019. – опубл. 06.03.2020. – Бюл. № 7.

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

References

1. Betoret E., Calabuig-Jiménez L., Barrera C., Rosa M.D. Sustainable Drying Technologies for the Development of Functional Foods and Preservation of Bioactive Compounds. // J. del R. B. T.-S. D. T. Olvera, Ed. Rijeka: InTech. – 2016. – Ch. 03. – Pr. 37 – 58.

2. Rodionov Ju.V., Lomakina O.V., Nikitin D.V., Chumikov Ju.A., Ratushnyj A.S., Danilin S.I., Rodionov Ju.Ju. Problemy i perspektivy proizvodstva rastitel'nyh poroshkov // *Tehnologii pishhevoj i pererabatyvajushhej promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitaniya*. – 2019. – № 1 (27). – S. 69 – 77.
3. Vishwanathan K.H., Giwari G.K., Hebbar H.U. Infrared assisted dry-blanching and hybrid drying of carrot. // *Food and Bioproducts Processing*. – 2013. – V. 91. – Rr. 89 – 94.
4. Rachna Sehrawat, Prabhat K. Nema, Bajinder Pal Kaur. Quality evaluation and drying characteristics of mango cubes dried using low-pressure superheated steam, vacuum and hot air drying methods. // *LWT – Food Science and Technology*. – V. 92 – June 2018. – Rp. 548 – 555.
5. Calín-Sánchez Á., Lipan L., Cano-Lamadrid M. and etc. Comparison of traditional and novel drying techniques and its effect on quality of fruits, vegetables and aromatic herbs // *Foods* – 2020. – № 9. – 1261.
6. Zhang M., Bhandari B., Fang Z. Handbook of Drying of Vegetables and Vegetable Products. – CRC Press, Boca Raton. – 2017. – 517 pp.
7. Popova I.V. Sovershenstvovanie tehnologii i sredstv sushki ovoshhnogo syr'ja: dis. ... kand. tehn. nauk: 05.20.01 – Tehnologii i sredstva mehanizacii sel'skogo hozjajstva. – Michurinsk. – 2009. – 161 s.
8. Zorin A.S. Sovershenstvovanie tehnologii i tehicheskikh sredstv kombinirovannoj vakuumnoj sushki rastitel'nogo syr'ja dlja proizvodstva chipsov: dis. ... kand. tehn. nauk: 05.20.01 – Tehnologii i sredstva mehanizacii sel'skogo hozjajstva. – Tambov. – 2019. – 156 s.
9. Ivanova E.P. Razrabotka tehnologii prigotovlenija suhoj zakvaski na osnove rastitel'nogo syr'ja dlja proizvodstva hlebobulochnyh izdelij funkcional'nogo naznacheniya: dis. ... kand. s.-h. nauk: 05.18.01 – Tehnologija obrabotki, hraneniya i pererabotki zlakovyh, bobovyh kul'tur, krupjanyh produktov, plodoovoshhnoj produkcii i vinogradarstva. – Michurinsk-naukograd. – 2016 – 152 s.
10. Kononov V.I., Romankov P.G., Sokolov V.N. Opisanie kineticheskikh krivyh sushki i nagreva tonkih materialov // *Teoreticheskie osnovy himicheskoy tehnologii*. – 1975. – T. 9. – № 2. – S. 203 – 209.
11. Rudobashta S.P., Dmitriev V.M. Jeksperimental'noe issledovanie processa konvektivnoj sushki narezannyh jablok / *Importozameshchajushhie tehnologii i oborudovanie dlja glubokoj kompleksnoj pererabotki sel'skohozjajstvennogo syr'ja: materialy I Vserossijskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem*. – 2019. – S. 276 – 281.
12. Rudobashta S.P., Zueva G.A., Dmitriev V.M. Issledovanie kinetiki sushki materiala, podverzhennogo usadke / // *Sovremennye jenergosberegajushhie teplovyje tehnologii (sushka i teplovyje processy) SJeTT – 2020: sbornik nauchnyh trudov Sed'moj Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, posvjashhennoj 110-letiju so dnja rozhdenija Akademika A.V. Lykova*. – 2020. – S. 116 – 121.
13. Gujgo Je.I., Zhuravskaja N.K., Kauhcheshvili Je.I. Sublimacionnaja sushka pishhevyh produktov. – M.: Pishhevaja promyshlennost'. – 1966. – 360 s.
14. Rodionov Ju.V., Popova I.V., Shackij D.A. Sravnitel'nyj analiz jeffektivnosti sublimacionnoj i dvuhstupenchatoj konvektivnoj vakuum-impul'snoj sushki / *Trudy mezhdunarodnogo tehicheskogo seminaru k 100-letiju A.V. Lykova*. – Voronezh. – 2010. – S. 160 – 167.
15. Vorob'ev V.B., Klimov A.M., Rodionov Ju.V., Preobrazhenskij V.A., Skvorcov D.V. Jenergojeffektivnost' dvuhstupenchatoj sushki rastitel'nogo syr'ja // *Voprosy sovremennoj nauki i praktiki. Universitet im. V.I. Vernadskogo*. – 2011. – № 3 (34). – S. 361 – 365.
16. Rodionov Ju.V., Sviridov M.M., Nikitin D.V. Vlijanie konstruktivno-tehnologicheskikh parametrov na jeffektivnost' raboty zhidkostnokol'cevyh vakuum-nasosov // *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Serija: Himija i himicheskaja tehnologija*. – 2007. – T. 50. – № 5. – S. 102 – 104.
17. Rodionov Y.V., Selivanov Y.T., Nikitin D.V., Sychev M.V., Kombarova P.V. Novel construction of liquid ring vacuum pumps // *Chemical and Petroleum Engineering*. – 2019. – T. 55. – № 5 – 6. – S. 473 – 479.
18. Pat. Selekcionnoe dostizhenie tykva krupnoplodnaja Michurinskaja (*Cucurbita maxima* Duch) / Ju.G. Skripnikov. № 2752. Zajavl. 04.07.2000 g. Zaregistririvan v gosreestre ohranjaemyh selekcionnyh dostizhenij 14.06.2005 g.
19. Ivanova Je.S., Skomorohova A.I., Kol'cov V.A., Rodionov Ju.V., Kapustin V.P., Nikitin D.V. Issledovanie processa sushki topinambura // *Nauka v central'noj Rossii*. – 2019. – № 2 (38). – S. 77 – 85.
20. Rodionov Ju.V., Nikitin D.V., Danilin S.I., Mitrohin M.A., Uteshev M.V., Mochalin N.N., Rodionov Ju.Ju. Tehnologija pererabotki pasternaka, tykvy i jablok v poroshki dlja funkcional'nogo pitaniya // *Problemy razvitiya APK regiona*. – 2018. – № 3. – S. 214 – 220.

21. Samohvalov D.S., Rodionov Ju.V., Bilan N.V., Skomorohova A.I. Otrabotka rezhimov dvuhstupenchatoj konvektivnoj vakuumno-impul'snoj sushki dajkona sorta «Haru» // Innovacionnaja tehnika i tehnologija. – 2020. – № 1 (22). – S. 42 – 48.

22. Ivanova Je.S., Rodionov Ju.V., Nikitin D.V., Danilin S.I., Ratushnyj A.S. Issledovanie i vybor rezhimnyh parametrov sushki chesnoka sorta «Jubilejnyj Gribovskij» // Tehnologii pishhevoj i pererabatyvajushhej promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitaniya. – 2019. – № 4. – S. 67 – 73.

23. Skomorohova A.I., Zav'jalov A.A., Rodionov Ju.V., Zorin A.S. Razrabotka rezhima vakuumnoj sushki perca sorta «Lastochka» // Innovacionnaja tehnika i tehnologija. – 2019. – № 3 (20). – S. 23 – 28.

24. Patent RF № 2716056 C1, MPK F26B 17/10 F26B 5/04. Jenergojeffektivnaja konvektivno-vakuum-impul'snaja sushil'naja ustanovka s teplovymi akkumulyatorami / Zorin A.S., Ivanova I.V., Nikitin D.V., Rodionov Ju.V., Shhegol'kov A.V. – № 2019106971; zajavl. 13.03.2019. – opubl. 06.03.2020. – Bjul. № 7.

25. Rodionov Ju.V., Shhegol'kov A.V., Nikitin D.V., Zorin A.S. Primenenie nanomodificirovannyh teploakkumulirujushhih materialov v sistemah sushki rastitel'nogo syr'ja // Nauka v central'noj Rossii. – 2020. – № 1 (43). – S. 43 – 50.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Иванова Эльвира Сергеевна – магистрант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г. Мичуринск, e-mail: elvira-ivanova14@mail.ru.

Родионов Юрий Викторович – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, rodionow.u.w@rambler.ru.

Зорина Ольга Александровна – аспирант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов.

Никитин Дмитрий Вячеславович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: vacuum2008@yandex.ru.

Скоморохова Анастасия Игоревна – магистрант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов.

Щегольков Александр Викторович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: energynano@yandex.ru.

Author credentials

Affiliations

Ivanova Elvira – master's student of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Michurinsk state agrarian University”, Russia, Michurinsk, e-mail: elvira-ivanova14@mail.ru.

Rodionov Yury – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: rodionow.u.w@rambler.ru.

Zorina Olga – graduate student of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov.

Nikitin Dmitry – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: vacuum2008@yandex.ru.

Skomorokhova Anastasia – master's student of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov.

Shhegol'kov Alexander – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: energynano@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 11.01.2021 Принята к публикации (Accepted): 12.02.2021