Тип статьи: научная УДК 664.8.03

DOI: 10.35887/2305-2538-2023-1-55-65

ВАКУУМНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ПОРОШКОВ И ЭКСТРАКТОВ ИЗ ОВОЩЕЙ, ПЛОДОВ И ЯГОД ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

Юрий Викторович Родионов¹, Дмитрий Вячеславович Никитин², Ольга Александровна Зорина³, Владимир Александрович Кольцов⁴, Григорий Вячеславович Рыбин⁵, Анастасия Игоревна Скоморохова⁶

1,2,3,5,6Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия1,2,4Мичуринский государственный аграрный университет, г. Мичуринск, Россия1rodionow.u.w@rambler.ru, https://orcid.org/0000-0001-9601-95552vacuum2008@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-5885-23003zorina.olya90@gmail.com5enot1237@gmail.com6nasta373@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5330-330X

⁴ Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина, г. Мичуринск, Россия

⁴kolcov.mich@mail.ru, https://orcid.org/0000 -0002-2841-6126

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

Реферат. Разработка технологий и оборудования для получения продуктов питания с добавлением биологически активных веществ функционального назначения из овощей, плодов, ягод в виде порошков и экстрактов перспективна Технологии растительной переработки сырья: очистки, нарезки, сушки, измельчения, экстрагирования проанализированы. Приведена схема технологической линии переработки для получения растительных порошков и экстрактов, предусматривающая использование отходов производства в качестве корма животным. Выявлено, что готовый продукт в виде сушеного материала (чипсов) может быть получен на этапе сушки, а оставшийся дистиллят собирается после экстрагирования. В качестве примера результатов, полученных опытным путем, рассматриваются кривая сушки капусты цветной «Франсуаза» и кривые экстрагирования клубники «Морошко». Экспериментальные исследования процесса сушки выполнялись на разработанной двухступенчатой конвективной вакуумноимпульсной сушильной установке, состоящей из конвективной сушилки с псевдоожиженным слоем и вакуумного шкафа. Универсальная вакуумно-импульсная экстракционно-выпарная установка разработана для изучения экстрагирования. Проведено сравнение различных вариантов экстрагирования: настаивание, нагрев, нагрев с помешиванием и экстрагирование с применением вакуума. Установлено, что наибольший выход сухих растворимых веществ дает вакуумное экстрагирование. Основным элементом описанных установок жидкостнокольцевой вакуум-насос. В зависимости от требуемой величины вакуума он может быть одноступенчатым и двухступенчатым. Его применение обеспечивает щадящие температурные режимы, исключающие потерю биологически активных веществ, а также способствует сокращению затрат времени на процессы.

Ключевые слова: растительный материал, комплексная переработка, порошки, экстракты, вакуумные технологии.

VACUUM TECHNOLOGIES FOR THE PRODUCTION OF POWDERS AND EXTRACTS FROM VEGETABLES. FRUIT AND BERRIES FOR FUNCTIONAL FOOD

Yuri Rodionov¹, Dmitry Nikitin², Olga Zorina³, Vladimir Koltsov⁴, Grigory Rybin⁵, Anastasia Skomorokhova⁶

¹Tambov state technical university, Tambov, Russia

^{1,2}Michurinsk State Agrarian University, Michurinsk, Russia

¹rodionow.u.w@rambler.ru, https://orcid.org/0000-0001-9601-9555

²vacuum2008@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-5885-2300

³zorina.olya90@gmail.com

⁵enot1237@gmail.com

⁶nasta373@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5330-330X ⁴ Federal Scientific Center named after I.V. Michurin, Michurinsk, Russia ⁴kolcov.mich@mail.ru, https://orcid.org/0000 -0002-2841-6126

Abstract. The development of technologies and equipment for obtaining food products with the addition of functional biologically active substances from vegetables, fruits, berries in the form of powders and extracts is promising. The technologies of vegetable processing of raw materials: cleaning, cutting, drying, grinding, extraction are analyzed. The scheme of the technological processing line for the production of plant powders and extracts is given, which provides for the use of production waste as animal feed. It was revealed that the finished product in the form of dried material (chips) can be obtained at the drying stage, and the remaining distillate is collected after extraction. As an example of the results obtained empirically, the drying curve of the cauliflower "Françoise" and the curves of the extraction of strawberries "Moroshko" are considered. Experimental studies of the drying process were carried out on the developed two-stage convective vacuum impulse drying plant, consisting of a convective fluidized bed dryer and a vacuum cabinet. The universal vacuum-pulse extraction-evaporator is designed for the study of extraction. A comparison of different extraction options was carried out: infusion, heating, heating with stirring and extraction using vacuum. It has been established that vacuum extraction gives the highest yield of dry soluble substances. The main element of the described installations is a liquid ring vacuum pump. Depending on the required vacuum value, it can be singlestage or two-stage. Its use provides sparing temperature conditions, excluding the loss of biologically active substances, and also helps to reduce the time spent on processes.

Keywords: plant material, complex processing, powders, extracts, vacuum technologies.

Для цитирования: Родионов Ю.В., Никитин Д.В., Зорина О.А., Кольцов В.А., Рыбин Г.В., Скоморохова А.И. Вакуумные технологии производства порошков и экстрактов из овощей, плодов и ягод для функциональных продуктов питания // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2023. Т. 61, № 1. С. 55-65. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-1-55-65.

For citation: Rodionov Y., Nikitin D., Zorina O., Koltsov V., Rybin G., Skomorokhova A. Vacuum technologies for the production of powders and extracts from vegetables, fruit and berries for functional food. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 61(1): 55-65. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-1-55-65.

Введение. Хорошее здоровье, правильное развитие организма и трудоспособность человека во многом определяются качеством его ежедневного рациона питания и степенью функциональности употребляемых в пищу продуктов [1, 2]. Улучшения ежедневного рациона можно добиться, работая в следующих направлениях:

- повышение качества продуктов питания;
- внедрение новых комплексных подходов к переработке сырья, позволяющих сохранять максимально возможное количество биологически активных веществ (БАВ) на каждом из этапов производства;
- разработка комбинированных функциональных продуктов питания лечебнопрофилактического назначения.

Для успешного решения поставленной задачи целесообразно использовать местное растительное сырье и активно внедрять инженерные разработки нового оборудования и технологических линий, учитывающих специфику процессов переработки исходного сырья и использующих в своей основе вакуум. Интерес к применению вакуумных технологий обусловлен

возможностью реализации различных процессов при щадящих температурных режимах, что значительно повышает качество готового продукта [3, 4].

В качестве местного сырья, произрастающего на территориях Центрального Черноземья, могут быть использованы: чеснок сорта «Юбилейный», тыква сорта «Мичуринская», топинамбур сорта «Интерес», яблоки «Жигулевские» и некоторые другие растительные материалы, обладающие богатым витаминно-минеральным составом.

Основными этапами переработки растительного сырья с целью получения натуральных биологически активных добавок (БАД) являются: сушка, экстрагирование и измельчение. Для их реализации спроектировано оборудование и разработаны технологические линии двухступенчатой конвективной вакуум-импульсной сушки (ДКВИС), вакуумного экстрагирования и двухступенчатого измельчения с применением вакуумной транспортной системы [5-7]. Создание вакуума в данных технологических процессах осуществляется жидкостнокольцевыми вакуумнасосами (ЖВН) различных модификаций и типоразмеров [8-9].

БАД, полученные из растительного сырья, в виде порошков и экстрактов могут использоваться при создании хлебобулочных, макаронных и кондитерских изделий или в производстве различных напитков.

Цель статьи.

Провести анализ этапов получения растительных порошков и экстрактов с высоким содержанием БАВ и изучить влияние вакуумных технологий на протекание процессов переработки при производстве функциональных продуктов питания.

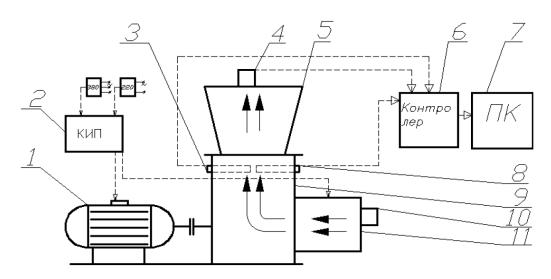
Материалы и методы.

Проблемами сушки, экстрагирования, комплексной переработки растительного сырья занимались и занимаются в настоящее время Казуб В.Т., Лыков А.В., Емельянов А.А., Рудобашта С.П., Курочкин А.А., Родионов Ю.В., Никитин Д.В., Перфилова О.В., Гуськов А.А., Зорин А.С. и другие отечественные ученые. [10-21]. Получение определенных биологически активных веществ сопровождается задачей разделения веществ и извлечения требуемых компонентов, поэтому интерес представляет изучение мембранных процессов [22, 23].

Растительное сырье относится к коллоидным капиллярно-пористым телам. Процесс сушки подобных материалов сопровождается значительной усадкой, величина которой имеет большое значение при анализе кривой сушки. Эластичные стенки капилляров при увлажнении увеличиваются, а при сушке уменьшаются. В этом случае подвод влаги к поверхности облегчается, т.к. капилляры становятся коническими, обращенными узкими концами к поверхности тела. Если обеспечить низкие температуру теплоносителя и скорость движения воздуха при его достаточной влажности, многие растительные материалы будут иметь два периода сушки. Однако, есть растительные тела, не имеющие первого периода (ягоды, очиток, определенные сорта яблок, хлеб и др.). Весь процесс сушки происходит в периоде падающей скорости при увеличивающейся температуре материала. Величина температуры растет пока не достигает значения температуры теплоносителя, отличаясь на 1-2 градуса. Для этих растительных материалов интенсивность диффузии гораздо меньше интенсивности влагообмена.

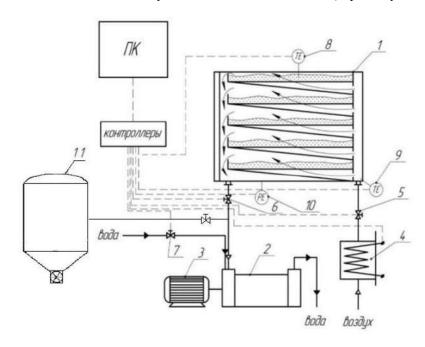
Стоит отметить, что на протекание процесса сушки влияют не только режимные параметры и вид материала, но и начальная влажность высушиваемого продукта, степень и форма его нарезки. Также перед высушиванием следует проводить изучение клеточного строения сырья, в частности наружной оболочки.

Для проведения экспериментальных исследований используем двухступенчатую конвективную вакуумно-импульсную сушильную установку, состоящую из конвективной сушилки с псевдоожиженным слоем первой ступени (рисунок 1) и вакуумного шкафа второй ступени (рисунок 2) [24].



- 1 электродвигатель; 2 приборы для контроля и измерений; 3 температурный датчик; 4 гигрометр;
- 5 корпус; 6 контроллер; 7 персональный компьютер; 8 датчик скорости потока воздуха; 9 вентилятор; 10 впускающий патрубок; 11 нагревательный элемент с указанием стрелками направление потока воздуха

Рисунок 1 – Схема конвективной сушилки со взвешенным слоем (первая ступень ДКВИС)



1 — сушильный шкаф; 2 — двухступенчатый ЖВН; 3 — асинхронный электродвигатель; 4 — ТЭНы; 5,6,7 — клапаны для регулировки стадий сушки; 8,9 — термопары; 10 — вакуумметр; 11 — емкость для создания сухих импульсов

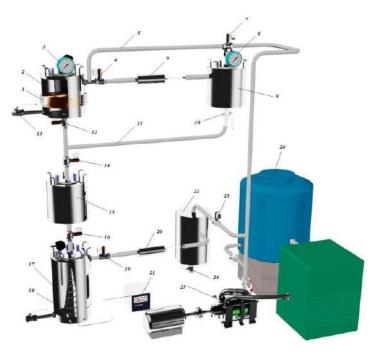
Рисунок 2 – Схема вакуумной сушилки (вторая ступень ДКВИС)

В ходе экспериментальных исследований ДКВИС сравнивается с высушиванием растительного сырья в конвективной сушилке «Ветерок» (рисунок 3).



Рисунок 3 – Конвективная сушилка «Ветерок»

После высушивания растительный материал экстрагируется. Процесс экстрагирования характеризуется разностью концентраций. Накопление извлекаемого вещества в основной массе жидкости (экстрагенте) зависит от отдачи вещества пористыми телами. Интенсификация данного процесса достигается путем рециркуляции и вакуумирования, в том числе импульсным воздействием на экстракционной установке, представленной на рисунке 4 [25].



1 — нагреватель ленточный; 2 — экстрактор; 3, 8 — вакуумметр; 4, 7, 10, 12, 13, 14, 16, 19, 23, 24 — клапан; 5, 11 — паропровод; 6, 20 — дистиллятор; 9, 22 — ёмкость сбора дистиллята; 15 — ёмкость подачи раствора для упаривания; 17 —выпариватель; 18 — нагреватель конусообразный; 21 — ПИД-регулятор; 25 — ЖВН; 26 — конденсатор

Рисунок 4 — Универсальная вакуумно-импульсная экстракционно-выпарная установка

Данная установка позволяет подвергать экстрагируемое сырье многократному импульсному воздействию в экстракторе. Для этого двухступенчатым ЖВН [26] осуществляется создание и сброс вакуума. Предварительно сырье заливается подогретым экстрагентом (дистиллированной водой). Температура раствора поддерживается на уровне 54-56°С ленточным нагревателем. Образующийся в процессе экстрагирования дистиллят подается обратно в экстрактор. Дальнейшее вакуумное упаривание (концентрирование) можно осуществлять в предусмотренной конструкцией установки ёмкости-выпаривателе, имеющей конусообразный нагреватель.

Процесс экстрагирования на разработанной установке сравнивается с настаиванием при температуре 20-22°С в стеклянной колбе, подогревом при температуре 52-54°С и подогревом с помешиванием раствора [27].

Результаты и их обсуждение.

На основании проведенных исследований процесса сушки, наиболее эффективной является ДВКИС. Для получения экстрактов целесообразно применять универсальную экстрактновыпарную установку.

В качестве растительных материалов для проведения экспериментальных исследований по сушке и экстрагированию рассматривалось следующее сырье: тыква «Мичуринская», яблоки «Жигулевские», жимолость «Голубое веретено», лук «Паредо», перец «Ласточка», топинамбур «Интерес», морковь «Шантанэ 2461», чеснок «Юбилейный грибовский» и другие растительные материалы, произрастающие в Центральном Черноземье. В качестве примера рассмотрим кинетическую кривую ДКВИС капусты цветной «Франсуаза», представленную на рисунке 5.

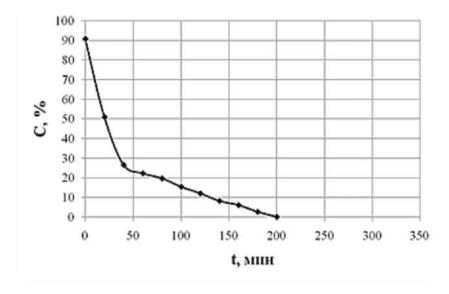


Рисунок 5 – Кривая сушки капусты цветной «Франсуаза»

Температура и скорость теплоносителя в первом периоде сушки составляли 58°С и 2,5 м/с, соответственно, во втором периоде их значения были 56°С и 2,5 м/с. Из кривой сушки видно, что конец первого периода наступит через 60 минут с начала сушки. В этот момент происходит резкое повышение температуры внутри материала. Влагосодержание конца первого периода составляет 22%. Влагосодержание конца второго периода составляет 2%. Продолжительность ДКВИС при указанных режимных параметрах составляет 200 минут. Высушивание растительного материала во втором периоде на конвективной сушилке «Ветерок» увеличивает длительность процесса в 2 раза [28].

На рисунке 6 показаны кривые экстрагирования клубники «Морошко»

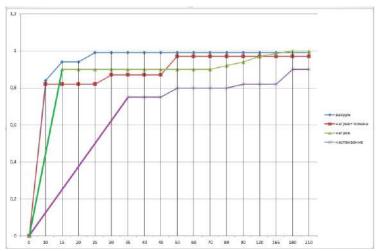
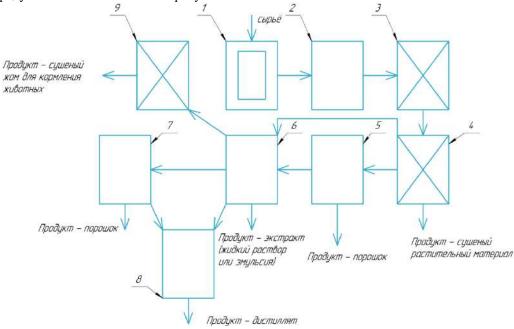


Рисунок 6 – Экстрагирование клубники «Морошко»

По вертикали показана массовая доля сухих растворимых веществ в растворе в зависимости от времени экстрагирования. Как видно из графиков, наиболее высокий выход сухих растворимых веществ в экстракт при гидромодуле 1:50 дает экстрагирование с использованием вакуума, а сам процесс занимает 25 минут. Самым длительным является экстрагирование настаиванием, которое проводилось в течение 210 минут до массовой доли сухих растворимых веществ 0,9. Нагрев и нагрев с помешиванием дают больший выход сухих растворимых веществ, однако процесс занимает 180 и 50 минут, соответственно.

Схема производства растительных порошков и экстрактов для создания функциональных продуктов питания показана на рисунке 7



1 — моечная машина; 2 — машина для нарезки сырья; 3 — конвективная сушилка; 4 — вакуум-импульсная сушилка; 5 — вакуумный измельчитель; 6 — емкость для экстрагирования и первичного выпаривания; 7 — емкость для вторичного выпаривания; 8 — емкость для сбора дистиллята; 9 — сушилка для экстрагированного жома

Рисунок 7 - Схема технологической линии получения растительных порошков и экстрактов

На первом этапе переработки необходимо тщательно промыть овощи, плоды и ягоды в моечной машине 1, при необходимости очистить от ботвы, кожуры, косточек и т.п. Затем растительное сырье нарезается определенным образом в машине для нарезки 2. Важно отметить, что способ нарезки оказывает влияние на скорость и качество протекания процесса сушки. Высушивание сырья осуществляется на двухступенчатой конвективной вакуум-импульсной сушилке, состоящей из конвективной сушилки 3 и вакуум-импульсной сушилки 4. Первая ступень может быть выполнена в виде лотковой сушилки, ленточного конвейера или сушки во взвешенном слое. Для интенсификации процесса и повышения его энергоэффективности в сушильной установке применяются тепловые аккумуляторы. Высушенный материал может использоваться как продукт, готовый к употреблению в виде чипсов, или отправляется на следующую ступень переработки - вакуумное экстрагирование. Предварительно материал можно дополнительно измельчить при помощи вакуумного измельчителя 5, позволяющего получать порошки тонкого и сверхтонкого помола. Высушенный или измельченный сушеный материал подвергается экстрагированию и первичному выпариваю в емкости 6. Концентрацию полученного экстракта можно повысить с помощью емкости для вторичного выпаривания 7. В линии предусмотрена емкость для сбора дистиллята 8, который также содержит некоторое количество БАВ. Полученный в результате экстрагирования жом можно высушить в сушилке 9 и использовать в качестве корма для животных.

Заключение.

Предложенная технологическая линия получения растительных порошков и экстрактов из овощей, плодов и ягод предполагает организацию комплексной переработки сельскохозяйственного сырья с минимизацией отходов производства. Применение вакуумных технологий в линии делает возможным поддержание низких температур, исключающих денатурацию важных компонентов, содержащихся в исходном сырье. Кроме того, разрабатываемое оборудование для процессов переработки позволяет сократить затраты энергии и интенсифицировать производство натуральных биологически активных добавок функционального назначения для создания продуктов питания лечебно-профилактического назначения.

Список источников

- 1. Терлецкая В.А., Рубанка Е.В., Зинченко И.Н. Влияние технологических факторов на процесс экстракции плодов рябины черноплодной // Техника и технология пищевых производства. 2013. №4. С.127-131.
- 2. Научные основы здорового питания / В.А. Тутельян [и др.]. М.: Издательский дом «Панорама», 2010.816 с.
- 3. Технологическая линия по производству экстрактов из растительного сырья / А.А. Гуськов [и др.] // Аграрный научный журнал. 2019. № 2. С. 82-85.
- 4. 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.
- 5. Инновационные технологии сушки растительного сырья / Ю.Г. Скрипников [и др.] // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2012. № 3 (41). С. 371-376.
- 6. Технология переработки пастернака, тыквы и яблок в порошки для функционального питания / Ю.В. Родионов [и др.] // Проблемы развития АПК региона. 2018. № 3 (35). С. 214-220.
- 7. Гуськов А.А., Анохин С.А., Родионов Ю.В. Получение экстрактов из растительного сырья с помощью вакуумно-импульсных технологий // Импортозамещающие технологии и оборудование для глубокой комплексной переработки сельскохозяйственного сырья: матер. І всерос. конф. с межд. участием / под общ. ред. Ю. В. Родионова. ФГБОУ ВО «ТГТУ». Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2019. С. 439-443.
- 8. Design of liquid-ring vacuum pump with adjustable degree of internal compression / Y.V. Rodionov // Chemical and Petroleum Engineering. 2021. T. 57. № 5-6. C. 477-483.
- 9.Novel construction of liquid ring vacuum pumps / Y.V. Rodionov [et al.] // Chemical and Petroleum Engineering. 2019. T. 55. № 5-6. C. 473-479.

- 10. Лыков А. В. Теория сушки. М.: Энергия. 1968. 472 с.
- 11. Рудобашта С. П. Теплотехника. 2-е изд., доп. М.: Перо. 2015. 672 с.
- 12. Казуб В. Т. Экстрагирование биологически активных соединений с применением электрических разрядов в жидкости. Монография. Изд. ВолгГМУ Минздрава России, 2013. 300 с.
- 13. Родионов Ю.В. Совершенствование теоретических методов расчета и обоснование параметров и режимов жидкостнокольцевых вакуумных насосов с учетом особенностей технологических процессов в АПК: дис. ... доктора технических наук: 05.20.01. Тамбов, 2013. 434 с.
- 14. Перфилова О.В. Применение свч-, ик-нагрева в технологии получения морковного порошка из выжимок. Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2019. Т. 81. № 1 (79). С. 144-148.
- 15. Попова И. В. Совершенствование технологии и средств сушки овощного сырья: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. Мичуринск, 2009. 161 с.
- 16. 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. 156 с.
- 17. 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, 2016. 152 с.
- 18. Никитин, Д.В. Совершенствование конструкций и обеспечение заданных эксплуатационных характеристик жидкостнокольцевых вакуум-насосов: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.13: утв. 11.03.2011. Тамбов, 2010. 158 с.
- 19. Исследование процесса сушки топинамбура / Э.С. Иванова [и др.] // Наука в центральной России. 2019. № 2 (38). С. 77-85.
- 20. Универсальная экстрактно-выпарная установка растительного сырья / Гуськов А. А. [и др.] // Наука в центральной России. 2017. № 2 (26). С. 32-41.
- 21. Емельянов А.А., Долженков В.В., Емельянов К.А. Установка для концентрирования и сушки жидких пищевых продуктов в вакууме // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология, 2009. № 4 (310). С. 84-87.
- 22. Лазарев С.И., Левин А.А., Шестаков К.В. Разработка методики исследования электросорбционной способности полупроницаемых мембран // Вестник Технологического университета. 2018. Т. 21. № 6. С. 97-100.
- 23. Дифрактометрическое исследование пористости ацетатцеллюлозной мембраны МГА-95 / С.И. Лазарев [и др.] // Сорбционные и хроматографические процессы. 2016. Т. 16. № 3. С. 333-340.
- 24. Отработка технологии двухступенчатой конвективной вакуум-импульсной сушки моркови сорта "Шантанэ 2461", перца сорта "Ласточка", чеснока сорта "юбилейный Грибовский" / А. А. Завьялов [и др.] // Наука и Образование. 2020. Т. 3. № 4. С. 265.
- 25. Универсальная вакуумная экстрактно-выпарная установка: пат. 2738938 С1 РФ, В01D 11/02, В01D 1/22 / Анохин С.А., Никитина Д.В., Родионов Ю.В., Гуськов А.А., Елизаров И.А., Назаров В.Н.: заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Тамб. ГТУ». № 2019143887; заявл. 23.12.2019; опубл. 18.12.2020.
- 26. Двухступенчатая жидкостно-кольцевая машина: пат. № 2551449 РФ, МПК F04C7/00, F04C19/00 / Гуськов А.А., Никитин Д.В., Платицин П.С., Родионов Ю.В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Тамб. ГТУ». № 2014127083/06; заявл. 02.07.2014; опубл. 27.05.2015.
- 27. Исследование и выбор режимных параметров экстрагирования биологически активных веществ из тыквы сорта «Мичуринская» / С.П. Рудобашта [и др.] // Сушка, хранение и переработка продукции растениеводства: материалы Междунар. науч.-техн. семинара, посвящ. 175-летию со дня рождения К.А. Тимирязева. М., 2018. С. 189-195.
- 28. Инновационные конструкции и технологии сушки плодоовощной продукции / Э.С. Иванова [и др.] // Наука в центральной России. 2021. № 1 (49). С. 43-53.

References

- 1. Terletskaya V.A., Rubanka E.V., Zinchenko I.N. Influence of technological factors on the process of extraction of chokeberry fruits. *Tehnika i tehnologija pishhevyh proizvodstva*. 2013;4:127-131. (In Russ.).
- 2. Tutelyan V.A. et al. Scientific foundations of healthy nutrition. Moscow: Publishing house "Panorama"; 2010. 816 p. (In Russ.).
- 3. Guskov A.A. et al. Technological line for the production of extracts from vegetable raw materials. *Agrarnyj nauchnyj zhurnal*. 2019;2:82-85. (In Russ.).
- 4. Rodionov Yu.V., Popova I.V., Shatsky D.A. Comparative analysis of the efficiency of sublimation and two-stage convective vacuum pulse drying. *Trudy mezhdunarodnogo tehnicheskogo seminara: k 100-letiju A.V. Lykova.* Voronezh. 2010:160-167. (In Russ.).
- 5. Skripnikov Yu.G. et al. Innovative technologies for drying vegetable raw materials. *Voprosy sovremennoj nauki i praktiki. Universitet im. V.I. Vernadskogo.* 2012;3(41):371-376. (In Russ.).
- 6. Rodionov Yu.V. et al. Technology of processing parsnips, pumpkins and apples into powders for functional nutrition. *Problemy razvitija APK regiona*. 2018;3(35):214-220. (In Russ.).
- 7. Guskov A.A., Anokhin S.A., Rodionov Yu.V. Obtaining extracts from plant materials using vacuum-pulse technologies. *Importozameshhajushhie tehnologii i oborudovanie dlja glubokoj kompleksnoj pererabotki sel'skohozjajstvennogo syr'ja: mater. I vseros. konf. s mezhd. uchastiem / pod obshh. red. Ju. V. Rodionova. FGBOU VO «TGTU».* Tambov: Publishing Center FSBEI HE «TSTU». 2019:439-443. (In Russ.).
- 8. Rodionov Y.V. [et al.] Design of liquid-ring vacuum pump with adjustable degree of internal compression. *Chemical and Petroleum Engineering*. 2021;57(5-6):477-483.
- 9. Rodionov Y.V. [et al.] Novel construction of liquid ring vacuum pumps. *Chemical and Petroleum Engineering*. 2019; 55(5-6):473-479.
 - 10. Lykov A. V. Drying theory. Moscow: Jenergija. 1968. 472 p. (In Russ.).
 - 11. Rudobashta S.P. Heat engineering. Moscow: Pero. 2015. 672 p. (In Russ.).
- 12. Kazub VT Extraction of biologically active compounds using electrical discharges in liquids. Monograph. *Izd. VolgGMU Minzdrava Rossii*, 2013. 300 p. (In Russ.).
- 13. Rodionov Yu.V. Improvement of theoretical calculation methods and substantiation of parameters and modes of liquid ring vacuum pumps, taking into account the features of technological processes in the agro-industrial complex: dis. ... Doctor of Technical Sciences: 05.20.01. Tambov, 2013. 434 p. (In Russ.).
- 14. Perfilova O.V. The use of microwave, IR heating in the technology of obtaining carrot pomace powder. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernyh tehnologij*. 2019;81;1(79);144-148. (In Russ.).
- 15. Popova IV Improving the technology and means of drying vegetable raw materials: dis. ... Cand. of Tech. Sciences: 05.20.01. Michurinsk, 2009. 161 p. (In Russ.).
- 16. Zorin A.S. Improving the technology and technical means of combined vacuum drying of vegetable raw materials for the production of chips: dis. ... Cand. of Tech. Sciences: 05.20.01. Tambov, 2019. 156 p. (In Russ.).
- 17. Ivanova E.P. Development of technology for the preparation of dry sourdough based on vegetable raw materials for the production of functional bakery products: dis. ... Cand. of Agricultural Sciences: 05.18.01. Michurinsk, 2016. 152 p. (In Russ.).
- 18. Nikitin, D.V. Improving designs and ensuring the specified operational characteristics of liquid ring vacuum pumps: dis. ... Cand. of Tech. Sciences: 05.02.13: approved. 03/11/2011. Tambov, 2010. 158 p. (In Russ.).
- 19. Ivanova E.S. et al. Study of the drying process of Jerusalem artichoke. *Nauka v central'noj Rossii*. 2019;2(38):77-85. (In Russ.).
- 20. Guskov A. A. et al. Universal extract-evaporator plant of vegetable raw materials. *Nauka v central'noj Rossii*. 2017;2(26):32-41. (In Russ.).
- 21. Emelyanov A.A., Dolzhenkov V.V., Emelyanov K.A. Vacuum Concentration and Drying Plant for Liquid Food Products. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Pishhevaja tehnologija*. 2009;4(310):84-87. (In Russ.).

- 22. Lazarev S.I., Levin A.A., Shestakov K.V. Development of a technique for studying the electrosorption capacity of semipermeable membranes. *Vestnik Tehnologicheskogo universiteta*. 2018;21;6:97-100. (In Russ.).
- 23. Lazarev S.I. et al. Diffraction research of porosity of cellulose acetate membrane MGA-95. *Sorbcionnye i hromatograficheskie processy*. 2016;16;3:333-340. (In Russ.).
- 24. Zavyalov A. A. et al. Development of the technology of two-stage convective vacuum-impulse drying of carrots of the "Shantane 2461" variety, pepper of the "Lastochka" variety, garlic of the "Jubilee Gribovsky" variety. *Nauka i Obrazovanie*. 2020;3;4:265. (In Russ.).
- 25. Universal vacuum extractive evaporator: pat. 2738938 C1 RU, B01D 11/02, B01D 1/22 / Anokhin S.A. et al.: applicant and patent holder «Tamb. STU». No. 2019143887; zajavl. 23.12.2019; opubl. 18.12.2020. (In Russ.).
- 26. Two-stage liquid ring machine:: pat. 2551449 RU, MPK F04C7/00, F04C19/00 / Guskov A.A. et al.; applicant and patent holder «Tamb. STU». No. 2014127083/06; zajavl. 02.07.2014; opubl. 27.05.2015. (In Russ.).
- 27. Rudobashta S.P. et al. Research and selection of regime parameters for the extraction of biologically active substances from pumpkin varieties "Michurinskaya". Sushka, hranenie i pererabotka produkcii rastenievodstva: materialy Mezhdunar. nauch.-tehn. seminara, posvjashh. 175-letiju so dnja rozhdenija K.A. Timirjazeva. Moscow, 2018:189-195 (In Russ.).
- 28. Ivanova E.S. et al. Innovative designs and technologies for drying fruits and vegetables. *Nauka v central'noj Rossii*. 2021;1(49):43-53. (In Russ.).

Информация об авторах

Ю.В. Родионов – доктор технических наук, профессор; Д.В. Никитин – кандидат технических наук, доцент; О.А. Зорина - аспирант; В.А. Кольцов – кандидат сельскохозяйственных наук; Г.В. Рыбин – магистрант, А.И. Скоморохова - аспирант.

Information about the authors

Y. Rodionov – Full Doctor of Technical Sciences, Professor; D. Nikitin – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; O. Zorina – post-graduate student; V. Koltsov – Candidate of Agricultural Sciences; G. Rybin - undergraduate; A. Skomorokhova – postgraduate studentt.

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): 21.12.2023 Принята к публикации (Accepted): 05.02.2023