

**УДК 664.8.03**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И  
ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПЕРЕРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНЫХ  
МАТЕРИАЛОВ ВАКУУМНОЙ СУШКОЙ И ЭКСТРАГИРОВАНИЕМ**

**Григорий Вячеславович Рыбин<sup>1</sup>**

аспирант

enot1237@gmail.com

**Сергей Иванович Данилин<sup>2</sup>**

кандидат сельскохозяйственных наук, профессор

danilin.7022009@mail.ru

**Юрий Викторович Родионов<sup>1,2</sup>**

доктор технических наук, профессор

rodionow.u.w@rambler.ru

<sup>1</sup>Тамбовский государственный технический университет

г. Тамбов, Россия

<sup>2</sup>Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

**Аннотация.** В статье обоснована актуальность темы исследования, представлены методики совершенствования процессов переработки растительных материалов с максимальным сохранением биологически активных веществ и наиболее перспективные технологии и технические средства для их осуществления.

**Ключевые слова:** переработка растительного сырья, сушка, вакуумная сушка, экстрагирование, вакуумное экстрагирование, биологически активные вещества.

Переработка растительного материала является ключевым этапом производства во многих отраслях промышленности. Растительное сырьё используется для производства лекарственных препаратов, косметических средств и пищевых продуктов. Ценность такого сырья составляют биологически активные вещества, находящиеся в его составе, поэтому при переработке главной задачей является максимальное сохранение целевых компонентов, что обуславливает использование щадящих технологий. При этом значительная часть извлекаемых соединений термолабильна и подвержена окислению, что устанавливает ограничения при переработке [1,2].

При этом в мировой экономике в последнее время активно намечается антиглобализационный тренд, связанный с ориентированием производства внутри страны и организацией его деятельности на собственных технологиях и оборудовании [3]. Однако, в нашей стране основная часть эксплуатируемого оборудования в области переработки растительного материала – зарубежного производства [4]. В связи с чем возникает спрос на отечественные технологии и соответствующее оборудование.

Сушка является одной из самых распространённых технологий консервирования растительного сырья. Она позволяет удалить из материала большую часть влаги, что значительно повышает срок хранения, удобство транспортировки и использования его в технологических процессах производства. При этом сушка – это продолжительный и энергозатратный процесс, связанный с обработкой материала температурой. Поэтому основными направлениями интенсификации процесса сушки являются снижение продолжительности, температуры и энергозатрат.

Сушку можно классифицировать по технологии (при атмосферном давлении, вакуумная сушка, сублимация, а также по способу нагрева материала (конвективный, кондуктивный (контактный), инфракрасный излучением, токами высокой частоты (ТВЧ))

Конвективный нагрев отличается передачей тепла теплоносителю горячим газообразным теплоносителем. Такой вариант является наиболее простым, характеризуется значительно малыми энергозатратами в связи с минимальным количеством используемого оборудования. Однако такая сушка очень продолжительна и может продолжаться несколько дней. Высокой скорости процесса можно добиться повышением температуры, что недопустимо.

Кондуктивный способ характеризуется нагревом материала посредством контакта с разогретой поверхностью. Такой нагрев обладает высокой эффективностью теплопередачи, однако мало подходит для растительного материала, поскольку отличается высокой неравномерностью, перегревом и пригоранием материала, что ведёт к деградации биологически активных веществ (БАВ) и снижению качества продукта.

Инфракрасный и ТВЧ нагрев являются перспективными способами, однако отличаются высокой сложностью процесса и соответствующей технологии и требуют серьёзного изучения и отработки технологических режимов, поскольку в случае такой передачи энергии тяжело контролировать состояние материала и количество передаваемой энергии, что может приводить к потере качества и деградации БАВ.

Сушка при атмосферном давлении является хорошо изученной, распространённой и комбинируется с любым видом нагрева материала. Однако большое количество воздуха и значительная продолжительность процесса влияют на качество материала и делают её ограниченно пригодной для переработки растительного сырья с целью максимального сохранения БАВ,

Сушка в вакууме является высокоэффективной как с точки зрения удаления влаги, так и с точки зрения сохранения функциональных компонентов, поскольку в таком случае наблюдается явление низкотемпературного кипения, когда при температуре материала ниже температуры денатурации БАВ жидкость в порах материала кипит, что значительно повышает эффективность сушки. Однако процесс организации вакуума характеризуется высокими

энергозатратими, поэтому в первом периоде, когда происходит испарение влаги с поверхности и эффективность влагоотдачи не отличается от сушки при атмосферном давлении, что делает чисто вакуумную сушку малорентабельной для материала значительной влажности (выше 60%).

Сублимационная сушка состоит из стадии шоковой заморозки и следующей за ней стадии возгонки в вакууме в следствие чего влага из материала удаляется, минуя стадию жидкости. Такая технология имеет ряд преимуществ – высокое качество материала, высокая эффективность процесса, сохранение внешнего вида сырья, однако этот процесс отличается очень высокой стоимостью, в связи с чем зачастую применять сублимацию нецелесообразно.

Одной из наиболее перспективных технологий является двухступенчатая конвективно-вакуумная сушка. В таком случае в первом периоде удаление влаги происходит при атмосферном давлении, а во втором, когда процесс удаления влаги замедляется, в вакууме. Такая сушка совмещает в себе положительные черты обеих технологий и отличается высокой эффективностью и рентабельностью [5].

Однако, очень часто процесс сушки не является завершающей стадией переработки растительного материала, поскольку в производстве требуются непосредственно вещества, содержащиеся в сырье, без оболочки и побочных продуктов. Одним из наиболее распространённых способ извлечения целевого компонента является экстрагирование, наиболее распространённые способы проведения которого – мацерация, перколяция, CO<sub>2</sub> и вакуумное экстрагирование. Мацерация и перколяция являются распространёнными и хорошо исследованными технологиями, однако имеют и свои недостатки. CO<sub>2</sub> экстракция, как и сублимационная сушка, обладает рядом преимуществ, однако ограниченно применима ввиду высокой стоимости и сложности процесса. Вакуумное экстрагирование является одним из наиболее перспективных способов, поскольку также, как и вакуумная сушка позволяет достичь

низкотемпературного кипения и активного выхода целевого компонента, однако энергозатратна [6].

Одним из важнейших вопросов для исследования в этой связи является технология совместной переработки вакуумной сушкой и вакуумным экстрагированием. Конечная стадия сушки определяется самыми высокими энергозатратами в пересчёте на процент удалённой влаги, поэтому важно определить максимальную критическую влажность материала, которая оказывала бы значительное воздействие на процесс экстрагирования и при этом отличалась бы минимальным временем с точки зрения сушки, это позволит достичь максимальной энергоэффективности и сохранения БАВ.

Также перспективной темой исследований является вакуум-импульсное воздействие на перерабатываемый материал во время сушки и экстрагирования. Причём важным является исследование такого воздействия как перед процессом, так и во время его протекания. Это может позволить значительно ускорить процессы, за счёт освобождения пор материала и интенсификации массообмена.

Поэтому основные направления исследования по интенсификации данной технологии связаны с положением материала в воздушном потоке (псевдооживленный, закрученный слой). Однако, это не даёт весомого повышения эффективности и способствует значительному окислению биологически активных веществ.

Таким образом, вакуумная сушка и вакуумное экстрагирование являются перспективными технологиями переработки растительного сырья, позволяющими перерабатывать материал наиболее эффективно и с максимальным сохранением биологически активных веществ. Поэтому важной темой для исследований является совместная переработка при помощи этих двух технологий и методы её интенсификации.

*\*Работа выполнена с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Селекция сельскохозяйственных культур и*

*технологии производства, хранения и переработки продуктов питания функционального и лечебно-профилактического назначения» ФГБОУ ВО «Мичуринский ГАУ».*

### **Список литературы:**

1. Сокуренок М.С., Соловьева Н.Л., Бессонов В.В., Мазо В.К. Полифенольные соединения класса стильбеноидов: классификация, представители, содержание в растительном сырье, особенности структуры, использование в пищевой промышленности и фармации // *Вопр. питания*. 2019. Т. 88, № 1. С. 17–25. doi: 10.24411/0042-8833-2019-10002.

2. Готина О.О., Васильцова И.В., Коваль Ю.И. Биологическая и антиоксидантная активность календулы лекарственной. *Инновации и продовольственная безопасность*. 2025;(1): 72-80. <https://doi.org/10.31677/2311-0651-2025-47-1-72-80>

3. Дронова О. Б., Козлова Ж.М. Антиглобализационные тенденции в деятельности транснациональных корпораций // *Экономика и управление: научно-практический журнал*. 2020. № 1(151). С. 10-13. DOI 10.34773/EU.2020.1.2. EDN ХОЕРДЕ.

4. Аналитический обзор российского рынка оборудования для переработки овощей // *Foodok.ru*. – URL: [https://www.foodok.ru/annonce/show/50/Analiticheskiy\\_obzor\\_rossiyskogo\\_rynka\\_oborudovaniya\\_dlya\\_pererabotki\\_ovoshchey](https://www.foodok.ru/annonce/show/50/Analiticheskiy_obzor_rossiyskogo_rynka_oborudovaniya_dlya_pererabotki_ovoshchey) (дата обращения: 19.03.2025).

5. Вакуумная сушка растительных материалов / Ю. В. Родионов, С. И. Данилин, Г. В. Рыбин и др. // *Наука в центральной России*. 2024. № 3(69). С. 7-15. DOI 10.35887/2305-2538-2024-3-7-15. EDN АНВУТН.

6. Вакуумные Технологии производства порошков и экстрактов из овощей, плодов и ягод для функциональных продуктов питания / Ю. В. Родионов, Д. В. Никитин, О. А. Зорина и др. // *Наука в центральной России*. 2023. № 1(61). С. 55-65. DOI 10.35887/2305-2538-2023-1-55-65. EDN УТУАЛУ.

**UDC 664.8.03**

**IMPROVEMENT OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND  
TECHNICAL MEANS OF PROCESSING PLANT MATERIALS BY  
VACUUM DRYING AND EXTRACTION**

**Grigory V. Rybin<sup>1</sup>**

graduate student  
enot1237@gmail.com

**Sergey I. Danilin<sup>2</sup>**

candidate of agricultural sciences, professor  
danilin.7022009@mail.ru

**Yuri V. Rodionov<sup>1,2</sup>**

doctor of technical sciences, professor  
rodionow.u.w@rambler.ru

<sup>1</sup>Tambov State Technical University  
Tambov, Russia

<sup>2</sup>Michurinsk State Agrarian University  
Michurinsk, Russia

**Annotation.** The article substantiates the relevance of the research topic, presents methods for improving the processing of plant materials with maximum preservation of biologically active substances and the most promising technologies and technical means for their implementation.

**Keywords:** processing of plant raw materials, drying, vacuum drying, extraction, vacuum extraction, biologically active substances.

Статья поступила в редакцию 30.04.2025; одобрена после рецензирования 20.06.2025; принята к публикации 30.06.2025.

The article was submitted 30.04.2025; approved after reviewing 20.06.2025; accepted for publication 30.06.2025.