

УДК 631.365.036.3

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ВАКУУМНОЙ СУШКИ ПЛОДОВ И ЯГОД

Александр Николаевич Капинос

студент

kapinos@gmail.com

Сергей Юрьевич Щербаков

кандидат технических наук, доцент

scherbakov78@yandex.ru

Николай Викторович Бучилин

кандидат технических наук, доцент

isk115599@rambler.ru

Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

Аннотация. В статье представлена характеристика вакуумной сушки, преимущества и недостатки вакуумной сушки и перспективы развития технологий вакуумной сушки плодов и ягод.

Ключевые слова: вакуумная сушка, плоды, влага.

Температура нагрева при вакуумной сушке оказывает непосредственное воздействие на структуру и биохимический состав плодов и ягод. При слишком высоких значениях появляется риск разрушения термолабильных соединений, что снижает содержание витаминов и природных ароматизаторов. К тому же перегрев вызывает потемнение и потерю естественного цвета, что негативно отражается на органолептических свойствах продукта. Оптимальный температурный режим позволяет сохранить яркость цвета и полноту фруктового букета, поддерживая вкусовую свежесть [1-2].

Давление в камере становится критическим параметром не только с технической стороны, но и с точки зрения качества. Снижение давления уменьшает температуру испарения влаги, что сокращает термическое воздействие и тем самым способствует сохранению питательной ценности и вкусовых характеристик. Однако слишком низкие значения давления могут привести к неравномерному сушению или образованию нежелательных текстурных изменений из-за ускоренного испарения влаги. Баланс давления необходим для достижения нужной целостности структуры и сохранения целого комплекса органолептических характеристик.

Продолжительность сушки обязательно относится к параметрам, влияющим на глубину и равномерность удаления влаги. Избыточное продление процесса ведёт к пересушиванию и хрупкости продукта, что пагубно влияет на способность плодов и ягод сохранять ароматические и вкусовые компоненты. В то же время недостаточная длительность сушки может не полностью предотвратить микробиологическую порчу, что снижает срок хранения и безопасность. Оптимизация времени обеспечивает сохранение баланса между удалением влаги и сохранением ценных веществ [3-4].

Таким образом, управление температурой, давлением и временем сушки создаёт предпосылки для максимального сохранения качественных характеристик плодов и ягод. В совокупности эти параметры отражают преимущества вакуумной технологии, позволяющей добиться высокой пищевой ценности и привлекательности конечного продукта. Осознанный

подбор и регулировка режимов сушки открывают широчайшие возможности для оптимизации технологических процессов, направленных на повышение эффективности и качества производства.

Разнообразие технологий обработки плодов и ягод предоставляет производителям возможность выбирать метод, наилучшим образом соответствующий конкретным задачам, характеристикам сырья и целям конечного продукта. Каждый способ сушки—вакуумный, конвективный и инфракрасный—обладает набором уникальных особенностей, определяющих области их рационального применения и влияющих на качество итоговой продукции.

Конвективная сушка широко распространена за счет простоты конструкции и сравнительно низких капитальных затрат. Этот метод хорошо подходит для продукции с устойчивой к теплу структурой и не слишком высоким содержанием влаги. Нагретый поток воздуха обеспечивает равномерное распределение температуры и удаление влаги, однако длительное воздействие и высокая температура способны привести к более выраженному изменению цвета и текстуры по сравнению с другими способами. Конвективная сушка экономична в эксплуатации и удобна для массового производства, особенно при необходимости сушки больших партий продукта с относительно невысокими требованиями к сохранению деликатных свойств [5-7].

Инфракрасная сушка характеризуется высокой скоростью передачи тепла за счет непосредственного поглощения инфракрасного излучения ткани плодов и ягод. Это снижает время обработки и повышает интенсивность испарения влаги, что позволяет эффективно обрабатывать материалы с большой площадью поверхности и низкой влажностью. Инфракрасный метод также способствует улучшению цвета и сохранению аромата за счет быстрого нагрева поверхностных слоев, снижая тепловое воздействие на внутренние структуры. Однако ограниченная глубина проникновения излучения и неравномерность прогрева могут стать проблемой для крупных или плотно упакованных продуктов.

В сравнении с этими методами вакуумная сушка обладает уникальным сочетанием пониженного давления и контролируемой температуры, что обеспечивает бережное удаление влаги без перегрева внешних и внутренних частей. Такая особенность делает вакуумный метод незаменимым для материалов с высокой термочувствительностью и сложной структурой. При этом, несмотря на более высокую энергоёмкость и себестоимость, вакуумная сушка позволяет добиться максимального сохранения питательных и вкусовых элементов, что особенно важно при производстве функциональных и диетических продуктов.

Современные вызовы, связанные с высокой сложностью оборудования и необходимостью тщательного контроля параметров вакуумной сушки, подталкивают научно-техническое сообщество к поиску новых решений для повышения надежности и эффективности процессов. В последние годы особое внимание уделяется развитию систем автоматизации, способных не только точно измерять давление, температуру и влажность, но и оперативно корректировать режимы сушки в режиме реального времени. Использование искусственного интеллекта и машинного обучения позволяет создавать адаптивные алгоритмы управления, которые учитывают вариативность свойств плодов и ягод и оптимизируют время сушки без снижения качества.

Параллельно ведутся работы по улучшению энергоэффективности оборудования. Внедряются инновационные теплообменники с низкими тепловыми потерями и системы рекуперации тепла, которые сокращают потребление электроэнергии и снижают операционные затраты. Уменьшение энергетического следа становится критически важным аспектом для промышленных установок, особенно при масштабировании производства. Кроме того, разрабатываются вакуумные насосы нового поколения с повышенной производительностью и меньшим энергопотреблением, а также системы смешанной тепловой обработки, которые соединяют преимущества разных методов для снижения затрат.

Современные материалы для изготовления камер вакуумных сушилок также претерпевают значимые изменения. Использование наноструктурированных покрытий и композитных материалов повышает коррозионную стойкость, износостойкость и гигиеничность поверхностей, что увеличивает срок службы оборудования и уменьшает требования к техническому обслуживанию. Легкие, но прочные материалы облегчают конструкции камер, что способствует снижению энергозатрат на их вакуумирование и более быстрому достижению рабочих параметров [8].

Тенденции интеграции процессов сушки с последующей упаковкой и хранения в единые автоматизированные линии позволяют уменьшить время обработки и хранить высушенные плоды и ягоды без потери качества. Использование цифровых двойников и моделирования процессов дает возможность предугадывать результаты сушки и быстро корректировать параметры, что ускоряет внедрение новых продуктов и уменьшает долю брака.

Перспективы развития технологий вакуумной сушки связаны с переходом к более интеллектуальным, экологичным и комплексным системам. Широкое распространение инноваций, таких как автоматизированные управляющие комплексы, энергосберегающие узлы и новые материалы, обеспечит значительный рост производительности и качества высушенных плодов и ягод. Это создаст условия для расширения применения вакуумной сушки в промышленности, сделает технологию доступной для различных масштабов производства и повысит конкурентоспособность продукции на мировом рынке.

Список литературы:

1. Ерофеев В. Л., Пряхин А. С., Семенов П. Д. Теплотехника в 2 т. Том 1. Термодинамика и теория теплообмена: Учебник для среднего профессионального образования Москва: Издательство Юрайт, 2023. 308 с.
2. Смирнова М. В. Теоретические основы теплотехники. Учебное пособие для вузов. 2-е изд. Москва: Издательство Юрайт, 2024. 237 с.

3. Зайцев Е.Д., Шваб В.А. Теплообмен и теплопроводность вибрационного слоя // Тепло- и массоперенос. Киев, 1972. Т.5. 4.1. С. 118

4. Кольцов Р.П., Иосифов А.И., Щербаков С.Ю. Особенности вакуумной сушки плодов и овощей // Наука и Образование. 2022. Т. 5. № 2.

5. Лазин П.С., Щербаков С.Ю. Применение барабанных сушильных установок для интенсификации процесса сушки плодо-ягодной продукции // Инновационные технологии и технические средства для АПК. Материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. Под общей редакцией Н.И. Бухтоярова, Н.М. Дерканосовой, В.А. Гулевского. 2016. С. 115-119.

6. Блинов А.В. Внешний теплообмен и гидродинамика виброкипящего слоя со свободно плавающими телами: Диссертация канд. техн. наук. Свердловск. 1987. 186с

7. Щербаков С.Ю., Завражнов А.И., Лазин П.С., Криволапов И.П., Аксеновский А.В. Совершенствование технологии сушки плодов с разработкой барабанной сушильной установки. // Наука в центральной России. 2018. № 2 (32). С. 100-108.

8. Технологии пищевых производств. Сушка сырья: учебник для вузов / Г. И. Касьянов, Г. В. Семенов, В. А. Грицких, Т. Л. Троянова. / 3-е изд., испр. и доп. Москва: Издательство Юрайт. 2025. 116 с.

UDC 631.365.036.3

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF VACUUM DRYING TECHNOLOGIES FOR FRUITS AND BERRIES

Alexander N. Kapinos

student

kapinos@gmail.com

Sergey Yu. Shcherbakov

candidate of technical sciences, associate professor

syrov23@gmail.com

Nikolai V. Buchilin

candidate of technical sciences, associate professor

isk115599@rambler.ru

Michurinsk State Agrarian University

Michurinsk, Russia

Abstract. The article presents the characteristics of vacuum drying, advantages and disadvantages of vacuum drying, and prospects for the development of vacuum drying technologies for fruits and berries.

Keywords: vacuum drying, fruits, moisture.

Статья поступила в редакцию 01.11.2025; одобрена после рецензирования 20.12.2025; принята к публикации 29.12.2025.

The article was submitted 01.11.2025; approved after reviewing 20.12.2025; accepted for publication 29.12.2025.