

УДК 631.365.036.3

ПРИНЦИПЫ ВАКУУМНОЙ СУШКИ ПЛОДОВ И ЯГОД

Алексей Николаевич Коротконожкин

студент

korotkon1@gmail.com

Никита Сергеевич Суровикин

студент

syrov23@gmail.com

Сергей Юрьевич Щербаков

кандидат технических наук, доцент

scherbakov78@yandex.ru

Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

Аннотация. В статье представлена характеристика вакуумной сушки, проблемы конструирования вакуумных сушилок.

Ключевые слова: вакуумная сушка, плоды, влага.

Процесс вакуумной сушки плодов и ягод характеризуется удалением влаги из биологических материалов при пониженном давлении, что существенно снижает температуру испарения воды. Благодаря этому удается сохранять химический состав и физиологические свойства продукта, минимизируя тепловое повреждение. В современной пищевой промышленности вакуумная сушка становится востребованной технологией, поскольку позволяет получать конечные продукты с высоким содержанием полезных веществ, а также с улучшенными органолептическими характеристиками [1-3].

При нормальном атмосферном давлении температура кипения воды составляет 100 °С, однако при снижении давления точка кипения смещается в сторону пониженных температур. Это происходит из-за уменьшения силы, с которой атмосферное давление удерживает молекулы воды в жидком состоянии. В условиях вакуума испарение происходит при температурах, зачастую не превышающих 40–60 °С, что является важным фактором для сохранения термолабильных компонентов плодов и ягод. Например, витамины и ароматические вещества, чувствительные к высокой температуре, при таком режиме подвергаются меньшему разрушению [4-5].

Испарение влаги в вакуумных условиях сопровождается переходом воды из жидкой фазы в парообразную без достижения высоких температур. Это уменьшает тепловое воздействие на структуру продукта, позволяя сохранять его клеточную целостность и текстуру. Молекулы воды, получая энергию тепла, переходят в газообразное состояние и удаляются с помощью вакуумного насоса, создающего пониженное давление в камере. Таким образом обеспечивается непрерывное удаление влаги изнутри плода или ягоды на поверхности и последующий вывод пара из сушилки [6-7].

Важным аспектом является баланс между температурой, давлением и скоростью удаления пара. Кроме того, показатели теплопередачи играют ключевую роль: тепловая энергия поступает к высушиваемому материалу, обеспечивая необходимое количество тепла для испарения. Однако из-за

пониженного давления количество тепловой энергии, требуемое для испарения одной и той же массы воды, снижается, что способствует экономии энергии и повышению качества высушенного продукта [8].

Внутренние процессы влагообмена во время вакуумной сушки связаны с диффузией воды из глубоких слоев плода или ягоды к поверхности, где при низком давлении происходит испарение. При этом скорость испарения зависит как от параметров вакуума, так и от свойств материала: размера частиц, пористости, начального содержания влаги и плотности клеточных стенок.

Особенности процесса вакуумной сушки требуют применения специализированного оборудования, способного поддерживать пониженное давление и обеспечивать необходимый тепловой режим, что принципиально отличает вакуумные сушилки от традиционных конвективных установок. Вакуумные сушилки оснащены герметичными камерами, способными выдерживать значительные перепады давления, а также интегрированными системами вакуумирования и контроля параметров, что обеспечивает стабильность и безопасность процесса.

Основное конструктивное отличие вакуумных сушилок заключается в необходимости организации вакуумной среды внутри сушильной камеры. Это требует установки вакуумных насосов или турбомолекулярных насосов, которые поддерживают заданный уровень разрежения в аппарате. Конвективные сушилки, в отличие от вакуумных, работают при атмосферном давлении и используют поток нагретого воздуха для передачи тепла и удаления влаги, что не требует герметичной камеры и вакуумного оборудования.

Вакуумные сушилки для плодов и ягод можно классифицировать по принципу теплопередачи. Первый тип использует нагретый воздух под вакуумом, который циркулирует внутри камеры. В таких установках воздух подогревается до необходимой температуры, затем давление снижается для снижения точки кипения воды, после чего влажный пар и воздух удаляются через систему вакуумирования. Этот способ позволяет ускорить испарение влаги, сохраняя при этом целостность структуры продукта.

Второй тип сушилок базируется на теплопередаче от нагретых поверхностей камеры или специальных пластин, контактирующих с продуктом. В таких устройствах контроль температуры поверхности и давления обеспечивает эффективный перенос тепла за счет кондукции, что снижает интенсивность теплового воздействия и позволяет сохранить более мягкую структуру и цвет плодов и ягод. Контактная сушка под вакуумом при этом минимизирует потери биологически активных веществ.

Некоторые инженерные решения предусматривают комбинированные установки, объединяющие оба принципа: нагретый воздух в сочетании с нагревом контактных поверхностей. Это повышает равномерность сушки и сокращает время технологического цикла. Кроме того, конструкции часто оснащаются системами автоматического регулирования давления, температуры и скорости вентиляции, что оптимизирует процесс в зависимости от свойств конкретного продукта.

Форм-фактор вакуумных сушилок отличается от конвективных за счет необходимости герметизации и обеспечения равномерного распределения вакуума по всей камере. Многие модели имеют модульную структуру с загрузочными лотками или сетчатыми поддонами, которые располагаются таким образом, чтобы обеспечить максимальную экспозицию плодов и ягод к теплу и снизить возможность повреждений при обработке.

Эргономика и обслуживание таких установок также учитываются при проектировании: места подключения вакуумных насосов, дренажные системы для сбора и удаления конденсата, а также системы очистки воздуха от паров влаги — все это отличает вакуумные сушилки от более простых конвективных аппаратов. Материалы камер и внутренней отделки выбираются с учетом химической инертности и устойчивости к коррозии, что продлевает срок службы оборудования и сохраняет качество продуктов.

Вакуумная сушка представляет собой комплексный физический процесс, основанный на влиянии пониженного давления на фазовые переходы влаги и теплоперенос в биологических материалах, позволяющий эффективно и

бережно осуществлять удаление влаги из плодов и ягод. Необходимо учитывать, что создание устойчивого и контролируемого вакуума является ключевым условием обеспечения стабильности и эффективности данного процесса.

Таким образом, рассматриваемая тема имеет значительную практическую ценность для пищевой промышленности и производства полуфабрикатов, направленных на расширение ассортимента высушенных фруктово-ягодных продуктов с сохранением их полезных качеств. В рамках работы выделены ключевые направления анализа, которые включают как теоретические основы процесса вакуумной сушки, так и практические аспекты реализации технологии на современном оборудовании.

Можно сделать вывод, что выбранная конструкция сушилки напрямую влияет на эффективность процесса сушки, энергетические затраты, равномерность высушивания и качество конечного продукта. Следующий этап анализа предполагает детальное сравнение преимуществ и ограничений вакуумных сушилок по сравнению с альтернативными методами, что позволит более полно оценить сферу их рационального применения в пищевой промышленности.

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

PRINCIPLES OF VACUUM DRYING OF FRUITS AND BERRIES

Alexey N. Korotonozhkin

student

korotkon1@gmail.com

Nikita S. Surovikin

student

mechyer@gmail.com

Sergey Yu. Shcherbakov

candidate of technical sciences, associate professor

syrov23@gmail.com

Michurinsk State Agrarian University

Michurinsk, Russia

Abstract. The article presents the characteristics of vacuum drying, the problems of designing vacuum dryers.

Keywords: vacuum drying, fruits, moisture.

Статья поступила в редакцию 24.10.2025; одобрена после рецензирования 20.12.2025; принята к публикации 29.12.2025.

The article was submitted 24.10.2025; approved after reviewing 20.12.2025; accepted for publication 29.12.2025.