

УДК 631.365.036.3

ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ВАКУУМНОЙ СУШКИ ПЛОДОВ И ЯГОД В СРАВНЕНИИ С ТРАДИЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ

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, преимущества и недостатки вакуумной сушки плодов и ягод в сравнении с традиционными методами

Ключевые слова: вакуумная сушка, плоды, влага.

Технология вакуумной сушки особенно актуальна для плодов и ягод благодаря их высокой чувствительности к температурному воздействию и быстрому порче. В традиционных методах сушки при атмосферном давлении часто наблюдается разрушение витаминов, изменение цвета и вкуса, а также ухудшение структуры. Применение вакуума позволяет снизить температуру сушки, что способствует сохранению антиоксидантов, кислот и ароматических соединений. Кроме того, использование пониженного давления сокращает время обработки, снижая энергетические затраты и предотвращая окислительные процессы [3-4, 6].

Современные вакуумные сушилки, создают условия для бережного удаления влаги из плодов и ягод, что заметно отражается на качестве готовой продукции. Управляемый вакуум и точный контроль температуры позволяют значительно снизить тепловое воздействие на материалы. Благодаря этому в процессе сушки удается удерживать рабочие температуры на уровне 40–60 °С, тогда как традиционные методы часто требуют более высоких температур. Это снижение температуры предотвращает интенсивное разрушение чувствительных к теплу витаминов, таких как витамин С и группы В, а также других биологически активных веществ.

Уменьшение температуры совместно с оптимальным уровнем вакуума сокращает общее время сушки по сравнению с классическими конвективными методами. Быстрое удаление влаги при пониженном давлении повышает скорость испарения и снижает риск окислительных процессов, которые в традиционных условиях протекают интенсивнее из-за большей доступности кислорода и длительного нагрева. В результате качество продукта сохраняется на более высоком уровне, что особенно важно для плодов и ягод с высоким содержанием легкоокисляемых соединений [1-2].

Сохранение витаминов и природных антиоксидантов напрямую связано с бережным тепловым режимом, создаваемым вакуумной сушилкой. Это обеспечивает продукцию с более насыщенным цветом, ярким вкусом и выраженным ароматом, что отражается на органолептических показателях.

Например, ягоды черники или малины, высушенные под вакуумом, сохраняют интенсивность естественной окраски и свежесть вкуса, в отличие от продуктов, прошедших сушку при стандартном давлении. Минимизация образования химических реакций окисления и карамелизации также снижает появление нежелательных привкусов и запахов.

Кроме того, вакуумная сушка благоприятно влияет на структуру плодов и ягод. При пониженном давлении испарение происходит равномернее, что уменьшает деформацию, растрескивание и образование твердых корок на поверхности. В результате конечный продукт сохраняет пористость и способность быстро реабсорбировать влагу при разведении или использовании в кулинарии. Это качество улучшает потребительские свойства и расширяет возможности применения высушенных ингредиентов.

Энергоэффективность вакуумной сушки также может превосходить традиционные методы при правильной настройке оборудования и режимов, что дополнительно стимулирует ее использование в промышленном масштабе. Правда, несмотря на все перечисленные преимущества, вакуумная сушка имеет свои ограничения и недостатки, включая вопросы технологической сложности, стоимости оборудования и специфики обслуживания. Таким образом, переход к анализу ограничений позволит получить более сбалансированное представление о возможностях и применении вакуумной сушки в пищевой промышленности [5, 7].

Несмотря на высокое качество продукции, получаемой с помощью вакуумной сушки, этот технологический метод сопровождается рядом существенных ограничений, которые сдерживают его массовое внедрение и развитие в промышленности. В первую очередь, оборудование для вакуумной сушки является дорогостоящим. Специализированные камеры с герметичными корпусами, вакуумные насосы высокой производительности, сложные системы автоматического контроля создают значительные капитальные затраты на приобретение и установку техники [8].

Кроме того, конструкция вакуумных сушилок отличается высокой сложностью, что отражается на уровне квалификации персонала, обслуживающего аппараты. Требуется понимание особенностей работы вакуумного оборудования, знание механизмов управления параметрами, а также навыки проведения своевременного технического обслуживания и ремонта вакуумных насосов. Такая сложность способствует возникновению простоев и увеличивает операционные расходы производства.

Ключевым технологическим вызовом является необходимость точного и стабильного контроля параметров процесса — давление, температура, скорость отвода пара. Небольшие отклонения в давлении или температуре способны привести к ухудшению качества готового продукта, например, к изменению структуры или неполному удалению влаги. Создание и поддержание оптимальных условий требуют сложных систем управления и сенсорного оборудования, что дополнительно усложняет аппаратную часть и программное обеспечение.

Энергозатраты на работу вакуумных насосов также следует учитывать, как значительный фактор, влияющий на экономическую эффективность технологии. Вакуумные насосы потребляют значительные объемы электроэнергии, причем при длительных циклах сушки это отражается на себестоимости продукции. В ряде случаев энергопотребление вакуумных систем превышает затраты на подогрев воздуха и поддержание температуры в традиционных сушилках.

Помимо этого, высокая влажность, испаряющаяся из плодов и ягод, приводит к конденсации влаги на внутренних поверхностях оборудования и в системе вакуумирования, что требует обязательных мер по удалению конденсата и профилактике коррозии. Необходимость таких дополнительных технологических решений усложняет эксплуатацию и обслуживание, увеличивая затраты времени и средств.

В комплексе перечисленные ограничения определяют определенные барьеры к внедрению вакуумной сушки, особенно в малом и среднем бизнесе, где финансовые и технические ресурсы ограничены. Однако современные

инновации в области материаловедения, автоматизации управления процессом и разработке энергоэффективных насосных систем направлены на снижение этих недостатков. Это создает перспективы для расширения применения вакуумной сушки, делая технологию более доступной, надежной и экономичной.

Традиционные методы вакуумной сушки часто сталкиваются с проблемой неравномерного распределения плодов и ягод на поверхности сушильных лотков или поддонов. В результате этого образуются зоны с разной толщиной слоя материала, что влияет на интенсивность теплообмена и, как следствие, приводит к неоднородности высушивания. Такие перепады создают риск образования участков с переувлажнением или, наоборот, пересушиванием, ухудшая качество конечного продукта и снижая технологическую эффективность процесса.

Вибрационный транспортер, интегрированный в систему непрерывной вакуумной сушки, решает эту проблему за счет динамической механики перемещения и ориентации материала. Под воздействием продольных и поперечных колебаний подложка равномерно распределяет плоды и ягоды по всей поверхности транспортера. Вибрация способствует постоянному перемешиванию и перемещению материалов, сводя к минимуму образование слоев с различной плотностью и толщиной. Такое движение позволяет исключить застойные зоны, где влага могла бы задерживаться, и обеспечивает доступ тепла к каждой отдельной части продукта.

Помимо равномерного распределения, вибрационный транспортер улучшает воздухообмен и контакт продукта с нагретыми поверхностями или окружением в вакуумной камере. Перемещение материала по вибросистеме увеличивает площадь испарения влаги и ускоряет ее удаление, что повышает производительность оборудования без увеличения температуры или снижения качества свежести. Интенсивность вибрации и скорость транспортёра регулируются для адаптации под разные виды плодов и ягод, учитывая их размер, плотность и влагосодержание.

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.