

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ



УДК 635.1

DOI: 10.53083/1996-4277-2022-208-2-82-89

Л.В. Лифенцева, А.Н. Расщепкин, Е.Н. Неверов,
И.А. Короткий, Е.В. Короткая
L.V. Lifentseva, A.N. Rasshchepkin, E.N. Neverov,
I.A. Korotkiy, E.V. Korotkaya

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ВАКУУМНОЙ СУШКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО СЫРЬЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

OPTIMIZATION OF VACUUM DRYING TECHNOLOGY OF AGRICULTURAL RAW MATERIALS OF PLANT ORIGIN

Ключевые слова: морковь, вакуумная сушка, температура, давление, оптимизация, сельскохозяйственное сырье растительного происхождения.

К наиболее перспективным способам консервирования овощей относится вакуумная сушка. Данные экспериментальных и аналитических исследований позволяют точно установить факторы, влияющие на технологию сушки и качество высушенного продукта. Все это приводит к необходимости более глубокого изучения и исследования технологий обезвоживания сельскохозяйственного сырья для получения пищевых продуктов растительного происхождения с помощью вакуумной сушки. Цель работы – исследование процессов вакуумной сушки сельскохозяйственного сырья растительного происхождения при различных температурных параметрах (40 и 60°C) и соответствующих давлениях 4, 8 и 12 кПа. В качестве исследуемого образца используем морковь, сорт «Витаминная». Для исследования процесса сушки была разработана экспериментальная установка, которая позволяет контролировать изменения влияния температуры нагрева и давления на проведение процесса вакуумной сушки моркови. Исследован процесс вакуумной сушки моркови при

различных режимных параметрах. Представлены графики изменения веса продукта при следующих параметрах: температура 40°C, и давление 4, 8 и 12 кПа, а также при 60°C, давление 4, 8 и 12 кПа. Таким образом, экспериментальным путем исследовано влияние температуры нагрева и давления на проведение процесса вакуумной сушки моркови. Критериями эффективности принимались время сушки и качественные показатели готового продукта, в частности внешний вид после сушки (цвет, наличие пригара). Выявлено, что процесс сушки при температуре 60°C и давлении 8 кПа является оптимальным для достижения нужного результата, затраченное время 30 мин. Морковь имела высушенную структуру с минимальным содержанием влаги.

Keywords: carrots, vacuum drying, temperature, pressure, optimization, agricultural raw materials of plant origin.

Vacuum drying is one of the most promising methods of preserving vegetables. The data of experimental and analytical studies enabled to accurately determine the factors affecting the drying technology and the quality of the dried product. All this leads to the need for a deeper study and research of technologies for dehydration of agricultural raw

materials for obtaining food products of plant origin using vacuum drying. The research goal is to study the processes of vacuum drying of agricultural raw materials of plant origin at various temperatures (40°C and 60°C) and corresponding pressures of 4, 8 and 12 kPa. Carrots of the Vitaminnaya variety were used as test samples. To study the drying process, an experimental setup was developed that allows monitoring the changes of the influence of heating temperature and pressure on the vacuum drying process of carrots. The process of vacuum drying of carrots at various operating parameters is investigated. The graphs of the product weight change at the following parameters are

presented: temperature 40°C and pressures 4, 8 and 12 kPa, as well as at 60°C and pressures 4, 8 and 12 kPa. Thus, the influence of heating temperature and pressure on the process of vacuum drying of carrots were experimentally investigated. The effectiveness criteria were the drying time and the quality indices of the finished product, in particular the appearance after drying (color, presence of burnt parts). It is revealed that the drying process at a temperature of 60°C and a pressure of 8 kPa is optimal to achieve the desired result, and the time spent is 30 minutes. Carrots had a dried structure with minimal moisture content.

Лифенцева Людмила Владимировна, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», г. Кемерово, Российская Федерация, e-mail: milka61-08@mail.ru.

Расщепкин Александр Николаевич, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», г. Кемерово, Российская Федерация, e-mail: technocholod@mail.ru.

Неверов Евгений Николаевич, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», г. Кемерово, Российская Федерация, e-mail: neverov42@mail.ru.

Короткий Игорь Алексеевич, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», г. Кемерово, Российская Федерация, e-mail: krot69@mail.ru.

Короткая Елена Валерьевна, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», г. Кемерово, Российская Федерация, e-mail: korotkayael@mail.ru.

Lifentseva Lyudmila Vladimirovna, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation, e-mail: milka61-08@mail.ru.

Rasshchepkin Aleksandr Nikolaevich, Dr. Tech. Sci., Prof., Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation, e-mail: technocholod@mail.ru.

Neverov Evgeniy Nikolaevich, Dr. Tech. Sci., Prof., Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation, e-mail: neverov42@mail.ru.

Korotkiy Igor Alekseevich, Dr. Tech. Sci., Prof., Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation, e-mail: krot69@mail.ru.

Korotkaya Elena Valerevna, Dr. Tech. Sci., Prof., Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation, e-mail: korotkayael@mail.ru.

Введение

Результаты исследований говорят о том, что у большинства населения нашей страны наблюдается дефицит содержания витаминов и минеральных веществ в организме [1].

Для того чтобы повысить качество питания было предложено решение данной проблемы, которое включает в рацион растительное сырье, богатое витаминами, белками, жирами, минеральными веществами, аминокислотами [2-4].

Из огромного множества продуктов растительного сырья одной из самых распространенных овощных культур является морковь. Она содержит необходимые для организма вещества, такие как каротин, витамин С. Белок моркови богат аминокислотами. Кроме того, в ней содержатся витамины группы В, витамин РР. Морковь богата сахарами и другими важными для организма веществами. Важную роль морковь занимает в диетическом и детском питании. Она является стимулятором роста молодого организма [5-7].

Для сохранения качества данного продукта предлагается морковь законсервировать. Одним из таких способов является сушка моркови. В медицине используют такую заготовку для приготовления чая. Существует мнение, что применение моркови в сушеном виде положительно влияет на организм человека. Самое важное полезное свойство овоща после сушки – это способность укрепить сетчатку глаза и улучшить зрение. Корнеплод в любом виде полезен при конъюнктивите, близорукости, блефарите. Бета-каротин в составе корнеплода обеспечивает улучшение жизнедеятельности легких. При попадании в организм он преобразовывается в витамин А, которые полезны для женского здоровья. Овощ подойдет даже для профилактики болезней желудка, кишечника и почек. Ко всему перечисленному стоит добавить, что данное блюдо можно широко использовать в кулинарии, да и вкус ее необычайно привлекателен.

Однако применяемые технологии сушки моркови имеют большие недостатки. К ним относят-

ся продолжительность процесса сушки, так как длительное тепловое воздействие на компоненты моркови отрицательно влияет на ее питательные свойства. Также продолжительность процесса связана с энергетическими затратами, а отсюда на повышение себестоимости готового высушенного продукта [8-10].

Наиболее перспективным способом консервирования плодов и овощей является вакуумная сушка.

Основным достоинством вакуумных сушильных установок является то, что процесс сушки в них идет в быстром режиме. Это создается за счёт вакуума в камере, что соответствует кипению воды при низкой температуре.

Нагрев продуктов ведется в вакууме посредством инфракрасных излучателей. Параметры процесса вакуумной сушки – давление и температура поддерживаются с помощью автоматизированной системы управления. Качество высушенных при помощи вакуумной сушки продуктов практически не отличается от продукта до сушки. При этом продукт не окисляется, не испытывает механического давления. Вакуумные сушильные установки представляют собой закрытую систему, которая не вредит окружающей среде и использует небольшое количество электроэнергии [11-15].

Цель и задачи исследования. Исходя из результатов экспериментальных и аналитических данных, можно установить влияние всех факторов, влияющих на процесс сушки и качество высушенного продукта. Все вышесказанное показывает, что в настоящее время в промышленности возникла большая необходимость в более глубоком изучении влияния различных параметров на технологию вакуумной сушки продуктов растительного происхождения.

Для повышения эффективности вакуумной сушки необходимо провести экспериментальные исследования процесса, для того чтобы подобрать необходимые технологические режимы сушки, которые характеризуются понижением продолжительности процесса и сохранением первоначальных свойств высушенного продукта.

Материалы и методы

Опыты проводили в вакуумной сушильной установке, схематичное изображение которой представлено на рисунке 1.

Сушильная установка включает в себя сушильную камеру, вакуумный насос, десублима-

тор, холодильную машину, а также системы регулирования и измерения.

Для более точных показаний результатов исследований были проведены дополнительные улучшения установки в вакуумной камере. Было предложено конструктивное решение в виде добавления стеклянного основания толщиной 6 мм под весы.

Стекло приклеили к основанию вакуумной камеры, что способствовало более точному распределению площадки весов, без возможных вибраций в процессе эксперимента.

По итогу данного улучшения погрешность составила не более 2 г. На рисунке 2 представлен разрез вакуумной камеры и показано, где установлено стеклянное основание.

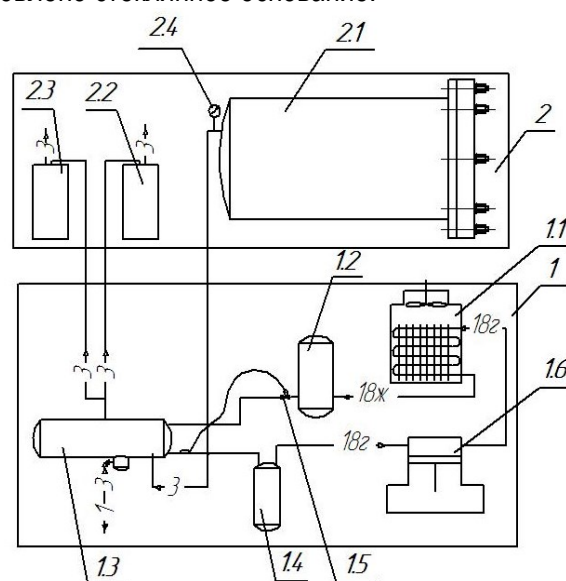


Рис. 1. Схема вакуумной сушильной установки:
 1 – холодильная машина; 1.1 – конденсатор;
 1.2 – ресивер; 1.3 – десублиматор;
 1.4 – отделитель жидкости;
 1.5 – терморегулирующий вентиль;
 1.6 – компрессор; 2 – вакуумная установка;
 2.1 – вакуумная камера;
 2.2, 2.3 – вакуумные насосы; 2.4 – вакуумметр

Технологический процесс вакуумной сушки продукта можно представить следующим образом. Вначале подключается вакуумный насос, в результате чего давление в сушильной камере уменьшается до заданного значения, и затем сразу включаются инфракрасные лампы нагрева. В продукте в это время происходит удаление влаги из макрокапилляров.

Далее увеличиваются температура и скорость данного процесса, идет дальнейший процесс обезвоживания продукта, т.е. процесс характеризуется высокой скоростью интенсивной

сушки исследуемого образца. После включения ламп нагрева скорость процесса сушки сразу же увеличивается, что приводит к понижению времени процесса.

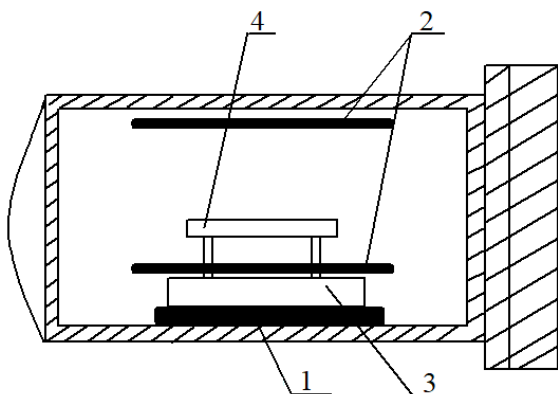


Рис. 2. Разрез вакуумной камеры:
1 – стекло 6 мм; 2 – лампы 1000 Вт;
3 – весы; 4 – поддон

Затем скорость процесса сушки снижается. Это характеризуется досушиванием продукта, т.е. из продукта удаляется влага моно- и полимолекулярной адсорбции, которая имеет наибольшую энергию связи.

В качестве исследуемого образца использовали морковь марки Витаминная. Морковь нарежали в круговую толщиной не более 2 мм. Диаметр кольца в среднем составлял 2 см. Рабочая масса продукта на начало эксперимента 95 г.

Для проведения исследования продукт (морковь) раскладывается на поддоне, который установлен в сушильной камере на электронных весах. Также в камере установлены инфракрасные лампы нагрева мощностью 1 кВт. Вакуумную камеру очень плотно закрывают, вводят в работу вакуумный насос и лампы нагрева.

По мере достижения необходимой температуры в камере сушки накал на инфракрасных лампах понижается в зависимости от температуры продукта.

Необходимые режимы сушки продукта задаются специальной программой на компьютере. Сигналы поступают от датчиков измерения и отправляются на компьютер для обработки результатов эксперимента.

Влажность воздуха в камере измерялась с помощью датчика влажности.

По мере сушки продукта определялись изменение относительной массы образца, влияние температуры и давления в процессе сушки.

Экспериментальная часть.

Результаты исследований и их обсуждение

После проведенных исследований были построены графики процесса при заданных параметрах. Таковыми параметрами являются: температура 40°C при давлении 4, 8, 12 кПа, температура 60°C при давлении 4, 8, 12 кПа.

На первом этапе экспериментальных исследований была проведена вакуумная сушка моркови при 40°C и давлении 4, 8, 12 кПа.

На рисунке 3 изображены графики изменения массы моркови от продолжительности вакуумной сушки при данных параметрах.

При температуре 40°C и давлении 4 кПа происходит резкое уменьшение массы продукта с 15-й по 40-ю минуту опыта.

Влажность воздуха в камере установки при данном давлении (данном промежутке времени) составляла порядка 12%. Это способствовало быстрому испарению влаги с поверхности продукта, что и привело к снижению массы.

Далее видим замедление процесса сушки. После 50-й минуты опыта влажность в камере повысилась до 35%, процесс сушки замедлился. Это видно на графике, потеря массы в этом временном диапазоне существенно не изменилась. Продолжительность сушки составила 110 мин.

При температуре 40°C и давлении 8 кПа наблюдаем с 15-й по 30-ю минуты резкое уменьшение массы продукта, а затем скорость процесса сушки замедляется. Продолжительность сушки существенно не увеличивается.

При температуре 40°C и давлении 12 кПа явно выражено последовательное изменение массы продукта. Это объясняется тем, что на протяжении всего опыта влажность в камере держалась на уровне 65-70%, что не способствовало эффективному уменьшению массы продукта. Продолжительность сушки составила 140 мин.

Анализ экспериментальных данных показал, что при температуре 40°C и давлении 4, 8, 12 кПа средняя продолжительность сушки составляет 120 мин.

Конечная масса моркови достигала в количественном выражении от 20 до 25 г, с учетом погрешности в измеряемой массе. Погрешность не превышала 2 г. Но для достижения данной массы потребовалось время, превышающее 120 мин.

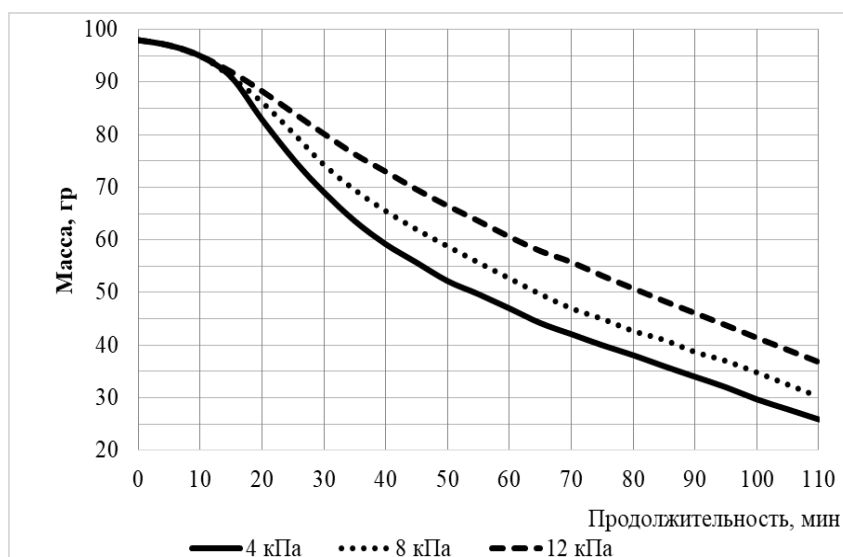


Рис. 3. График изменения массы моркови в процессе вакуумной сушки при температуре 40°C и давлении 4, 8, 12 кПа

Морковь имела высушенную структуру с небольшим количеством влаги. Особенно это заметно при показателях давления 12 кПа. Для уменьшения влажности в продукте до минимума требуется дополнительное время в пределах 30 мин.

Из анализа графиков сушки моркови при данных параметрах следует, что вначале при всех значениях давления с 1-й по 15-ю минуту вес продукта изменялся не существенно. Это вызвано прогревом моркови. Влажность моркови в этот период изменяется мало.

Далее происходит резкое понижение массы продукта. Это объясняется тем, что влага с его поверхности начинает интенсивно испаряться, т.е. все подводимое тепло расходуется на испарение влаги. Концентрация ее во внутренних слоях становится выше, чем на поверхности. Это приводит к перемещению влаги из внутренних слоев к поверхности продукта. Затем влажность моркови начинает понижаться.

По мере расхода влаги из внутренних слоев скорость сушки падает и наступает несоответствие между количеством испаряющейся влаги с поверхности и поступающей из внутренних слоев продукта. Уменьшение влаги с поверхности вызывает повышение температуры продукта. В конце процесса сушки наступает равновесная влажность продукта, сушка прекращается.

Вторую серию эксперимента проводили при температуре 60°C и давлении 4, 8, 12 кПа соответственно.

На рисунке 4 изображены графики изменения веса моркови при данных параметрах.

Следует отметить, что режимные параметры, соответствующие температуре 60°C и давлению 4 кПа, не подходят для сушки моркови. За время эксперимента влажность воздуха в сушильной камере составила порядка 1%. По итогу эксперимента морковь приобрела пригар, стала хрупкой и имела вид испорченного продукта.

При давлении 8 кПа продукт получился высушенным. Влажность воздуха в камере держалась на уровне 15-20%. Данный режим способствует эффективному процессу сушки. Продолжительность сушки составила 30 мин.

При давлении 12 кПа продолжительность сушки моркови до параметров, соответствующих продукту, высушиваемому при давлении 8 кПа, увеличилась на 10 мин.

На рисунке 5 наглядно представлено изменение веса моркови и затраты времени на сушку при самом эффективном режиме сушки продукта: давление 8 кПа и температура 60 и 40°C.

Из данных эксперимента и графика следует, что при равной массе высушенного продукта затраты времени при температурах сушки 40 и 60°C не сопоставимы. Продолжительность сушки при 60°C в 4 раза меньше по сравнению с продолжительностью сушки при температуре 40°C.

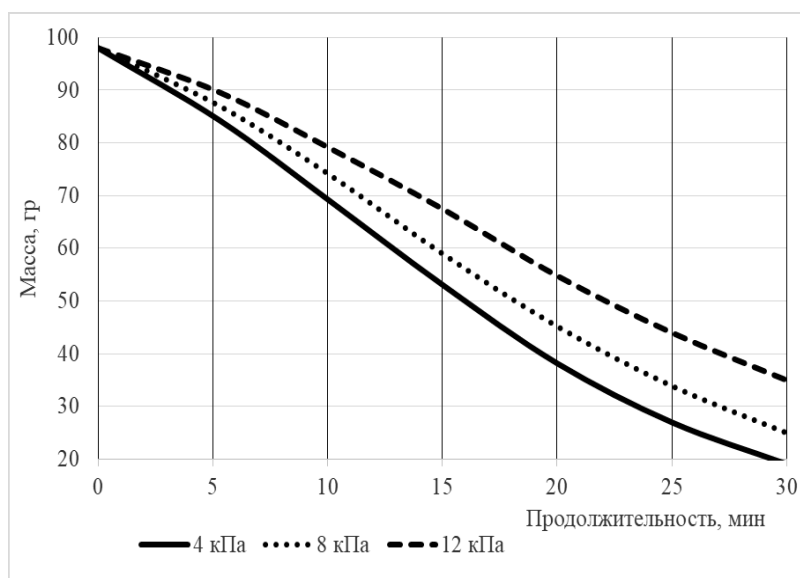


Рис. 4. График изменения массы моркови в процессе вакуумной сушки при температуре 60°C и давлении 4, 8, 12 кПа

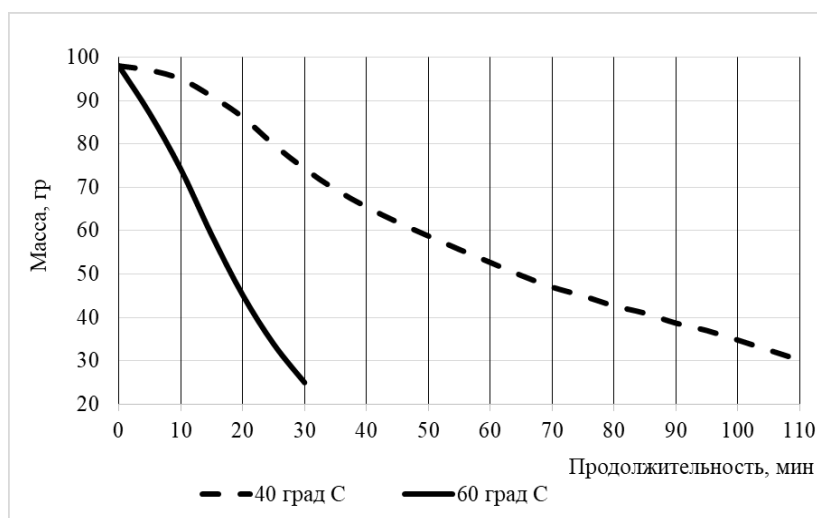


Рис. 5. Соотношение продолжительности сушки моркови при давлении 8 кПа и температуре 60 и 40°C

Заключение

1. В результате экспериментальных исследований получены данные влияния режимных параметров – температуры и давления в рабочем объеме сушильной установки на рабочие характеристики процесса вакуумной сушки моркови. В качестве критериев эффективности процесса принимались: продолжительность сушки и качественные показатели моркови, в частности органолептические показатели моркови, после сушки – цвет продукта, наличие пригара, прочность.

2. В результате было выявлено, что процесс сушки при температуре 60°C и давлении 8 кПа является оптимальным для достижения требуемых качественных показателей и содержания влаги в высушенном продукте. Продолжительность вакуумной сушки при этих режимных параметрах составила 30 мин. Морковь имела вы-

сушенную структуру с минимальным содержанием влаги.

Библиографический список

1. Демидов, С. Ф. Кинетика сушки морской капусты инфракрасным излучением / С. Ф. Демидов, Д. А. Ободов, Б. А. Вороненко. – Текст: непосредственный // Процессы и аппараты пищевых производств. – 2012. – № 1. – С. 15-19.
2. Австриевских, А. Н. Продукты здорового питания: новые технологии, обеспечения качества, эффективность применения / А. Н. Австриевских, А. А. Вековцев, В. М. Позняковский; Сиб. ун-т. – Новосибирск, 2005. – 416 с. – Текст: непосредственный.
3. Barresi, A., Pisano, R., Fissore, D., et al. (2009). Monitoring of the primary drying of a freeze-drying process in vials. *Chemical Engineering and*

Processing. 48. 408-423. DOI: 10.1016/j.cep.2008.05.004.

4. Бочаров, В. А. Выбор оптимального способа сушки для получения быстрорастворимых сушеных овощей / В. А. Бочаров. – Текст: непосредственный // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2010. – № 1. – С. 89-91.

5. Атаназевич, В. И. Сушка пищевых продуктов / В. И. Атаназевич. – Москва: ДеЛи, 2000. – 296 с. – Текст: непосредственный.

6. Вакуумная инфракрасная сушка – технология щадящей переработки растительного и животного сырья / Л. Б. Ратникова, П. Е. Влощинский, Г. И. Широченко [и др.]. – Текст: непосредственный // Вестник Сибирского университета потребительской кооперации. – 2012. – № 1(2). – С. 96-101.

7. Росабоев, А. Т. Способы технологического процесса сушки материалов / А. Т. Росабоев, Д. Х. Игамбердиев. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2016. – № 8. – С. 289-291.

8. Максименко, Ю. А. Анализ влияния основных факторов на эффективность процесса сушки сырья растительного происхождения / Ю. А. Максименко, Ю. С. Феклунова, Э. Р. Теличкина. – Текст: непосредственный // Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2014. – № 2 (58). – С. 97-101.

9. Mamaly Sh. Influence of temperature on moisture change when drying vegetables in IR - vacuum installation. *Science, Technology and Higher Education: Materials of the III International Research and Practice Conference*. Vol. II. – Westwood (Canada), 2013. – P. 456-459.

10. Маматов, Ш. М. Исследование оптимизации процесса теплообмена в технологии сушки овощей / Ш. М. Маматов, К. О. Додаев. – Текст: непосредственный // Вестник Тамбовского университета. – 2013. – № 5. – С. 2504-2506.

11. Korotkiy, I., Neverov, E., Lifentseva, L., Raschepkin, A. (2021). Analysis of energy consumption during convective drying of fruits and berries. *E3S Web of Conferences*. 273. 07027. DOI: 10.1051/e3sconf/202127307027.

12. Dern, C. Considerations when specifying ultimate freeze drying vacuum. *The Information Source for the Pharmaceutical Manufacturing Industry* Pharmaceutical Online. January 27, 2006. Available at: <http://www.pharmaceuticalonline.com> (accessed 17.11.2014).

13. Патент № 2463538 Российская Федерация, МПК F26B 3/30. Многоярусная камера инфракрасной сушки / Ободов Д. А., Демидов С. Ф., Вороненко Б. А., Пеленко В. В.; заявитель и патентообладатель Ободов Д.А. – № 2010151818/06; заявл. 17.10.2010; опубл. 10.10.2012, Бюл. № 28. – Текст: непосредственный.

14. Неверов, Е. Н. Определение процессорных характеристик быстрого замораживания продуктов методом непрерывного и дискретного теплоотвода / Е. Н. Неверов, Л. В. Лифенцева, А. В. Усов. – Текст: непосредственный // Техника и технология пищевых производств. – Кемерово, 2019. – Т. 49, № 1. – С. 104-112.

15. Исследование режимов замораживания растительной продукции диоксидом углерода / Е. Н. Неверов, И. А. Короткий, Л. В. Лифенцева, А. Н. Расщепкин. – Текст: непосредственный // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2021. – № 1 (61). – С. 326-337.

References

1. Demidov S.F. Kinetika sushki morskoj kapusty infrakrasnym izlucheniem / S.F. Demidov, D.A. Obodov, B.A. Voronenko // *Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv*. – 2012. – No. 1. – S. 15-19.

2. Avstrieviskikh, A.N. Produkty zdorovogo pitaniia: novye tekhnologii, obespecheniia kachestva, effektivnost primeneniia / A.N. Avstrieviskikh, A.A. Vekovtsev, V.M. Pozniakovskii: Sib. univ. – Novosibirsk, 2005. – 416 s.

3. Barresi, A., Pisano, R., Fissore, D., et al. (2009). Monitoring of the primary drying of a freeze-drying process in vials. *Chemical Engineering and Processing*. 48. 408-423. DOI: 10.1016/j.cep.2008.05.004.

4. Bocharov V.A. Vybor optimalnogo sposoba sushki dlia polucheniiia bystrorazvarivaemykh sushenykh ovoshchei / V.A. Bocharov // *Vestnik Mичуринского государственного аграрного университета*. – 2010. – No. 1. – S. 89-91.

5. Atanazevich V.I. Sushka pishchevykh produktov / V.I. Atanazevich. – Moskva: DeLi, 2000. – 296 s.

6. Ratnikova L.B. Vakuumnaia infrakrasnaia sushka – tekhnologija shchadiashchei pererabotki rastitelnogo i zhivotnogo syria / L.B. Ratnikova, P.E. Vloshchinskii, G.I. Shirochenko i dr. // *Vestnik Sibirskogo universiteta potrebitelskoi kooperatsii*. – 2012. – No. 1 (2). – S. 96-101.

7. Rosaboev A.T. Sposoby tekhnologicheskogo protsessa sushki materialov / A.T. Rosaboev, D.Kh. Igamberdiev // Molodoi uchenyi. – 2016. – No. 8. – S. 289-291.

8. Maksimenko Iu.A. Analiz vliianiia osnovnykh faktorov na effektivnost protsessa sushki syria rastitelnogo proiskhozhdeniia / Iu.A. Maksimenko, Iu.S. Feklunova, E.R. Telichkina // Vestnik AGTU. Nauchnyi zhurnal. – 2014. – No. 2 (58). – S. 97-101.

9. Mamaly Sh. Influence of temperature on moisture change when drying vegetables in IR - vacuum installation. Science, Technology and Higher Education: Materials of the III International Research and Practice Conference. Vol. II. - Westwood (Canada), 2013. - pp. 456-459.

10. Mamatov Sh.M. Issledovanie optimizatsii protsessa teploobmena v tekhnologii sushki ovoshchei / Sh.M. Mamatov, K.O. Dodaev // Vestnik Tambovskogo universiteta. – 2013. – No. 5. – S. 2504-2506.

11. Korotkiy, I., Neverov, E., Lifentseva, L., Raschepkin, A. (2021). Analysis of energy consumption during convective drying of fruits and berries. *E3S Web of Conferences*. 273. 07027. DOI: 10.1051/e3sconf/202127307027.

12. Dern S. Considerations when specifying ultimate freeze drying vacuum. The Information Source for the Pharmaceutical Manufacturing Industry Pharmaceutical Online. January 27, 2006. Available at: <http://www.pharmaceuticalonline.com> (accessed 17.11.2014).

13. Patent 2463538 Rossiiskaia Federatsiia, MPK F26B 3/30. Mnogoiarusnaia kamera infrakrasnoi sushki / Obodov D.A., Demidov S.F., Voronenko B.A., Pelenko V.V.; zaiavitel i patentoobladatel Obodov D.A. – No. 2010151818/06; zaiavl.17.10.2010; opubl.10.10.2012, Biul. No. 28.

14. Neverov E.N. Opredelenie protsessovykh kharakteristik bystrogo zamorazhivaniia produktov metodom nepreryvnogo i diskretnogo teplootvoda / E.N. Neverov, L.V. Lifentseva, A.V. Usov // Tekhnika i tekhnologiiia pishchevykh proizvodstv. – 2019. – T. 49. No. 1. – S. 104-112.

15. Neverov E.N. Issledovanie rezhimov zamorazhivaniia rastitelnoi produktsii dioksidom ugleroda / E.N. Neverov, I.A. Korotkii, L.V. Lifentseva, A.N. Rasshchepkin // Izvestiia Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie. – 2021. – No. 1 (61). – S. 326-337.



УДК 664.8.037.522

DOI: 10.53083/1996-4277-2022-208-2-89-93

**И.А. Короткий, Е.Н. Неверов, Е.В. Короткая,
А.Н. Расщепкин, А.К. Горелкина
I.A. Korotkiy, E.N. Neverov, E.V. Korotkaya,
A.N. Rasshchepkin, A.K. Gorelkina**

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАМОРАЖИВАНИЯ ЯГОД ОБЛЕПИХИ В АКУСТИЧЕСКОМ ПОЛЕ

STUDYING THE FREEZING PROCESS OF SEA-BUCKTHORN BERRIES IN ACOUSTIC FIELD

Ключевые слова: облепиха, быстрое замораживание, низкотемпературная обработка, скороморозильный аппарат, акустическое поле, интенсификация процесса замораживания, звуковые колебания.

Ягоды облепихи являются ценным источником витаминов, микроэлементов и других биологически активных веществ. Наилучшим способом консервирования ягод является замораживание и низкотемпературное хранение. Ягоды облепихи имеют короткий вегетационный период и малый срок хранения в свежем состоянии. Поэтому интенсификация оборудования для быстрого замораживания плодов и ягод является важной технической задачей. Замораживание ягод в звуко-

вом поле заметно интенсифицирует процесс низкотемпературной обработки. Были исследованы процессы замораживания ягод облепихи сорта Дар Катуни при различной частоте и интенсивности акустического поля. Установлено, что наибольшая эффективность замораживания ягоды облепихи сорта Дар Катуни имеет место при интенсивности звукового воздействия $4,4 \cdot 10^{-4}$ Вт/м². Влияние частоты акустического воздействия на продолжительность замораживания имеет нелинейный характер. Наилучшие результаты показали процессы замораживания при частоте акустических колебаний 10 кГц. Таким образом, использование акустических колебаний позволило снизить продолжительность низкотемпературной обработки на $6 \div 7\%$.