

Результаты исследования отражены в практической реализации при разработке и утверждении нормативной документации на «Продукты из мяса птицы» (ТУ 9213-048-23611999-13).

Литература

1. Балябина С.И., Храмова В.Н., Мгебришвили И.В. Анализ эффективности добавления растительных ингредиентов в мясной продукт // Изв. Нижневолж. агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2016. – № 2 (42). – С. 275–281.
2. Чиркова О.И. Мясные продукты с растительными ингредиентами для функционального питания // Мясная индустрия. – 2007. – № 1. – С. 43–46.
3. Моисеева Н.С., Инербаева А.Т. Исследование биохимического состава продуктов из мяса индейки // Вестн. КрасГАУ. – 2014. – № 8. – С. 207–209.
4. Куцова А.Е., Ильина Н.М., Петров А.А. Биологический потенциал мяса индейки в технологии функциональных продуктов питания // Производство и переработка сельскохозяйственной

продукции: менеджмент качества и безопасности: мат-лы IV Междунар. науч.-практ. конф. – Воронеж, 2016. – С. 42–46.

Literatura

1. Baljabina S.I., Hramova V.N., Mgebrishvili I.V. Analiz jeffektivnosti dobavlenija rastitel'nyh ingredientov v mjasnoj produkt // Izv. Nizhnevolzh. agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. – 2016. – № 2 (42). – S. 275-281.
2. Chirkova O.I. Mjasnye produkty s rastitel'nymi ingredientami dlja funkcional'nogo pitaniija // Mjasnaja industrija. – 2007. – № 1. – S. 43-46.
3. Moiseeva N.S., Inerbaeva A.T. Issledovanie biohimicheskogo sostava produktov iz mjasa indejki // Vestn. KrasGAU. – 2014. – № 8. – S. 207-209.
4. Kucova A.E., Il'ina N.M., Petrov A.A. Biologicheskij potencial mjasa indejki v tehnologii funkcional'nyh produktov pitaniija // Proizvodstvo i pererabotka sel'skhozajstvennoj produkcii: menedzhment kachestva i bezopasnosti: mat-ly IV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. – Voronezh, 2016. – S. 42-46.

УДК 637.352

В.А. Ермолаев

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ВАКУУМНАЯ СУШКА КАК СПОСОБ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

V.A. Ermolaev

LOW-TEMPERATURE VACUUM DRYING AS THE METHOD OF DRAINING OF PLANT RAW MATERIALS

Ермолаев В.А. – д-р техн. наук, проф. каф. бизнес-технологий мясных и молочных продуктов, советник ректора по науке Московского государственного университета технологий и управления им. К.Г. Разумовского, г. Москва. E-mail: ermolaevvla@rambler.ru

Ermolaev V.A. – Dr. Techn. Sci., Prof., Chair of Business Technologies of Meat and Dairy Products, Rector Adviser for Science, Moscow State University of Technologies and Management named after K.G. Razumovsky, Moscow. E-mail: ermolaevvla@rambler.ru

Цель исследования – определение режимных параметров вакуумной сушки растительного сырья. Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи: подбор остаточного давления с учетом органолептических показателей и продолжительности процесса сушки; исследование кинетики процесса вакуумной сушки в зависимости от остаточного давления. В результате исследования было установлено следующее. Вакуумную сушку ежевики необходимо проводить при остаточном давлении в камере $4,5 \pm 0,5$ кПа. Эффективная сушка красной смородины протекает при остаточном давлении в камере $6,5 \pm 0,5$ кПа, что

обусловлено более высокой органолептической оценкой по сравнению с другими режимами. Кроме того, удельные энергозатраты при остаточном давлении $6,5 \pm 0,5$ кПа для красной смородины ниже, чем при остаточном давлении $4,5 \pm 0,5$ кПа и составляют $4,5$ кВт/кг влаги. Малину также эффективно сушить при остаточном давлении $6,5 \pm 0,5$ кПа. По сравнению с сушкой при остаточном давлении $4,5 \pm 0,5$ кПа органолептическая оценка увеличивается на 2 балла, а продолжительность сушки повышается всего на 35 мин. Повышение остаточного давления как для красной смородины, так и для малины не влечет за собой су-

ществленного повышения качества сухих ягод. Для земляники эффективное остаточное давление в камере составляет $4,5 \pm 0,5$ кПа, так как при увеличении остаточного давления до $6,5 \pm 0,5$ кПа качественная оценка повышается всего на 1 балл, а время сушки увеличивается на 80 мин. Дальнейшее повышение остаточного давления не ведет к улучшению качественных показателей сухих ягод земляники. Исследована кинетика удаления влаги из растительных продуктов (ягод). Определено, что процесс сушки протекает в три этапа (I – выход на режим, II – постоянной скорости сушки, III – удаления остаточной влаги). Кинетические закономерности удаления влаги при вакуумной сушке полностью согласуются с классическими общепринятыми нормами.

Ключевые слова: вакуумная сушка, обезвоживание, растительное сырье, инфракрасное излучение.

The research objective was the determination of regime parameters of vacuum drying of vegetable raw materials. For the achievement of the goal the following tasks were defined: the selection of residual pressure taking into account organoleptic indicators and the duration of the process of drying; the research of kinetics of the process of vacuum drying depending on residual pressure. As a result of the research the following was established. Vacuum drying of blackberry needs to be carried out with residual pressure in the camera equal to 4.5 ± 0.5 of kPa. Effective drying of red currant proceeds with residual pressure in the camera equal to 6.5 ± 0.5 of kPa caused by higher organoleptic assessment in comparison with other modes. Besides, specific energy consumption with residual pressure of 6.5 ± 0.5 kPa for red currant is lower, than with residual pressure equal to 4.5 ± 0.5 kPa and makes 4.5 kW/kg of moisture. Also effectively to dry raspberry with residual pressure equal to 6.5 ± 0.5 kPa. In comparison with drying with residual pressure of 4.5 ± 0.5 kPa the organoleptic assessment increases by 2 points, and the duration of drying increases for only 35 min. The increase of residual pressure both for red currant, and for raspberry does not involve essential improvement of the quality of dry berries. For wild strawberry effective residual pressure in a chamber makes 4.5 ± 0.5 kPa as at the increase in residual pressure to 6.5 ± 0.5 kPa quality standard increases by only 1 point, and the time of drying increases for 80 minutes. Further increase of residual pressure does not lead to the improvement of quality indicators of dry berries of wild strawberry. The kinetics of removal of moisture from vegetable products (berries) is investigated. It is defined that the process of drying proceeds in three stages (I – an exit to the mode, II – constant speed of drying, III – the removal of residual moisture). Kinetic regularities of removal of moisture at vacuum

drying will completely be coordinated with the classical standard norms.

Keywords: vacuum drying, dehydration, vegetable raw materials, infrared radiation.

Введение. Поиск эффективных способов сбережения пищевых продуктов был одной из важнейших задач, стоящих перед человеком на протяжении всей его истории. Проблема максимального продления срока хранения пищевого сырья без потери его качества не утратила своей актуальности и по сей день.

Среди всех существующих способов обеспечения длительной сохранности продуктов животного и растительного происхождения, разработанных человечеством, сушка занимает особое место. Одним из основных преимуществ данного способа заключается в том, что обезвоженные продукты требуют меньше затрат при транспортировке и хранении [3]. Другим достоинством такого метода консервирования является существенное повышение концентрации сухих веществ, что переводит многие сухие продукты в группу функциональных [1, 2].

Основным направлением совершенствования методов сушки является использование комбинированных способов подвода теплоты, а также разработка щадящих технологий, позволяющих свести к минимуму потери качества продукта в процессе обезвоживания [5]. С этой точки зрения достаточно большие перспективы показывает вакуумная сушка. Данный метод основан на том, что при понижении давления ниже атмосферного, но выше тройной точки воды снижается также температура кипения влаги, содержащейся в продукте. Это позволяет проводить процесс при относительно невысоких температурах и соответственно исключить негативное термическое воздействие на термолабильные вещества продукта [6, 7].

При таких режимах степень сохранности биологически-активных веществ может достигать 90 % [1]. Процесс вакуумной инфракрасной сушки является также более экономичным с точки зрения энергозатрат, поскольку отсутствуют потери тепла с уходящим воздухом.

Цель исследования: определение режимных параметров вакуумной сушки растительного сырья.

Для достижение поставленной цели были определены следующие **задачи:** подбор остаточного давления с учетом органолептических показателей и продолжительности процесса сушки; исследование кинетики процесса вакуумной сушки в зависимости от остаточного давления.

Объекты и методы исследования. Исследование процессов сушки производили на вакуумной сушильной установке. В использованной установке было испытано 2 схемы расположения инфракрасных ламп – с верхним и радиальным размещением (рис. 1).

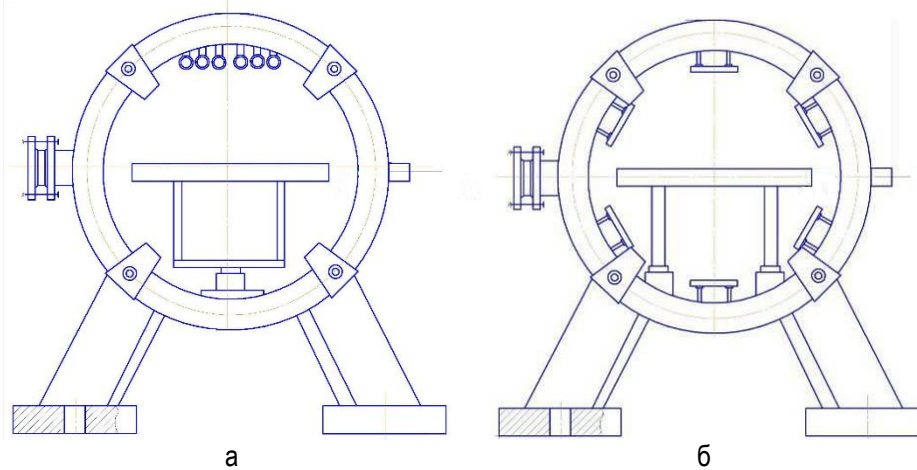


Рис. 1. Схема сушильной камеры с верхним (а) и радиальным (б) расположением инфракрасных ламп

Схема с радиальным расположением инфракрасных ламп обеспечивает более равномерный прогрев продукта по сравнению со схемой с верхним расположением ламп. Этот эффект проявляется тем сильнее, чем больше геометрические размеры обезвоживаемого продукта.

Стоит также сказать о способах подвода теплоты инфракрасных излучателей. Были проведены многочисленные исследования по сравнению ступенчатого и импульсного способов подвода теплоты [4]. Импульсный способ подвода теплоты создает благоприятные условия для интенсификации внутреннего и внешнего теплообмена и дает возможность избежать перегрева продукта, а также сократить энергетические затраты на осуществление процесса.

Вакуумная сушка может с успехом использоваться для консервирования растительного сырья, например ягод. Актуальность применения данного способа сушки обусловлена спецификой климатических условий нашей страны, что ограничивает потребление ягод круглый год. Вакуумная сушка позволяет избежать вышеуказанного недостатка, а обезвоженные ягоды могут направляться на реализацию как самостоятельный продукт либо подвергаться измельчению для добавления в другие продукты – молочные, хлебобулочные, кондитерские и т. д.

Биологическая ценность ягод состоит не столько в ее энергетической ценности, сколько в высоком содержании различного рода микронутриентов: минеральных и пектиновых веществ, витаминов, незаменимых аминокислот и т. д. (табл. 1).

Таблица 1

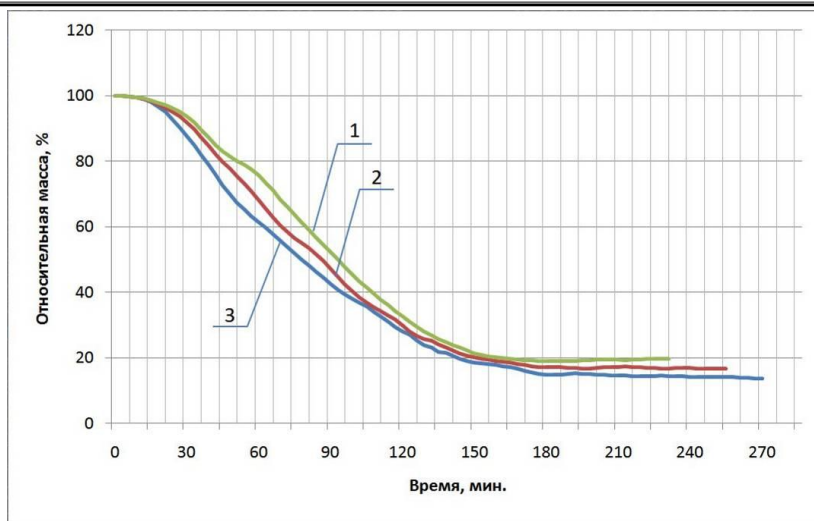
Содержание некоторых витаминов в плодах и ягодах, мг%

Ягода	Аскорбиновая кислота	Каротин	Ниацин	Рибофлавин	Тиамин
Брусника	15	0,1	-	-	-
Земляника	60	0,03	0,3	0,05	0,06
Калина	70	Следы	0,002	0,003	0,001
Клубника	60	Следы	0,03	0,06	0,03
Малина	30	0,3	0,3	0,07	0,02
Облепиха	200	10	0,6	0,05	0,1
Рябина	50	8	0,003	0,002	0,005
Смородина красная	30	0,2	0,2	0,03	0,01
Смородина черная	300	0,7	0,3	0,02	0,02

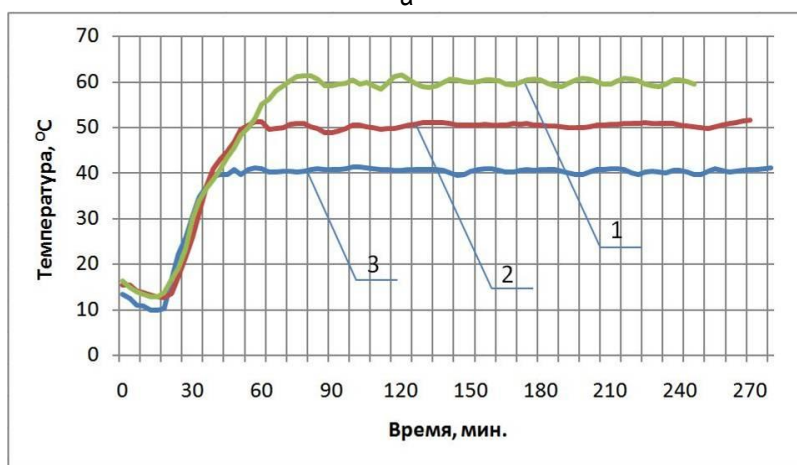
Результаты исследования. Эффективность вакуумной сушки ягод во многом зависит от технологических режимов, к числу которых можно отнести температуру нагрева, остаточное давление, плотность теплового потока [8, 9].

Рассмотрим более подробно влияние данных параметров. На рисунке 2 приведены графики зави-

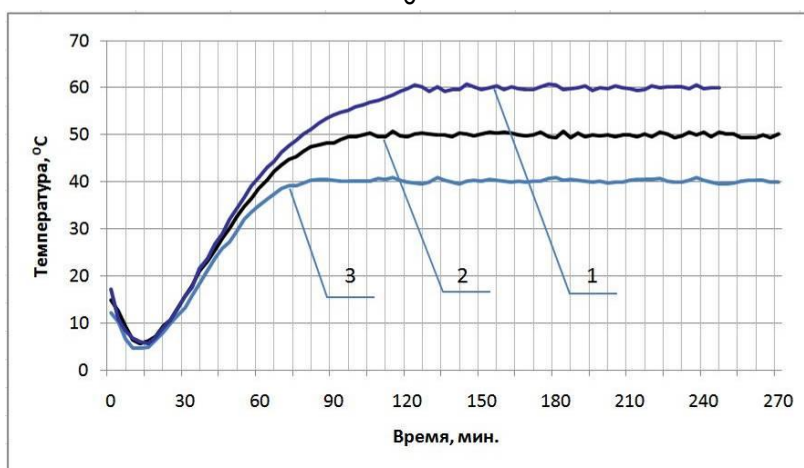
симости относительной массы красной смородины, температуры на поверхности и в центре продукта от продолжительности вакуумной сушки при различных температурах в камере. Остаточное давление при этом составляло $4,5 \pm 0,5$ кПа, плотность теплового потока была равна $5,0 \pm 0,3$ кВт/м².



а



б



в

Рис. 2. Графики изменения относительной массы смородины (а) и температуры на поверхности (б) и в толще (в) при температурах в камере: 1 – 40 °C; 2 – 50 °C; 3 – 60 °C.

В данном случае температуру варьировали от 40 до 60 °C. Сушка при более высокой температуре нецелесообразна ввиду существенного воздействия высоких температур на биологически-активные компоненты продукта.

В течение первых 15 мин сушильная установка выходит на рабочий режим. При этом вначале запускается холодильная машина и вакуум-насос, понижающий давление в рабочей камере от атмосферного до установленного значения – в данном случае $4,5 \pm 0,5$ кПа. Инфракрасные лампы выключены. На первом

этапе происходит удаление влаги, находящейся в микрокапиллярах продукта. В данный период сушки относительная масса ягоды меняется незначительно – от 100 до 95–97 %. За счет снижения давления в рабочей камере температура на поверхности и в центре ягоды резко снижается в среднем на 10 градусов. Продолжительность первого этапа сушки составляет около 15–20 мин.

Далее включаются инфракрасные лампы и наступает второй этап, в течение которого наблюдается постоянная скорость удаления влаги. На данном этапе происходит удаление основной части влаги в продукте – осмотически – связанной влаги и влаги в микрокапиллярах.

В опытах с температурой в камере 60 °С второй этап завершился спустя 125 мин после начала процесса сушки. К этому времени относительная масса красной смородины составила 36 % от первоначального значения. При данном режиме температура на поверхности продукта достигает 60 °С через 70 мин после начала сушки. Толща ягоды при этом прогревается лишь через 120 мин после начала сушки. Таким образом, продолжительность второго периода составила 95 мин.

В случае, когда температура в камере составляла 50 °С, скорость удаления влаги стала понижаться спустя 135 мин от начала процесса сушки. По завершении второго этапа относительная масса крас-

ной смородины составила 28 %. Температура на поверхности ягоды достигла 50 °С через 50 мин, а температура в толще – спустя 95 мин после начала процесса сушки. Продолжительность второго этапа вакуумной сушки составила 115 мин.

В опыте, когда температура в камере была установлена в 40 °С, второй этап завершился спустя 150 мин после начала процесса сушки. Относительная масса к тому моменту составила 22 % от первоначального значения. Температура на поверхности ягоды достигла установленного значения спустя 40 мин после начала процесса сушки, в толще – через 75 мин.

На третьем этапе происходит удаление влаги моно- и полимолекулярной адсорбции. Данный вид связи является наиболее прочным и в процессе сушки удаляется крайне медленно. При температурах в камере 40, 50 и 60 °С продолжительность третьего этапа составила 77, 95 и 123 мин. К концу процесса сушки относительная масса сухой ягоды составила 18, 17 и 14 % соответственно.

В таблице 2 приведена продолжительность вакуумной сушки и содержание влаги всех исследуемых ягод.

Для анализа влияния температуры на качество продукта проводилась органолептическая оценка сухих ягод по методике, представленной в таблице 3.

Таблица 2

Показатели вакуумной сушки дикорастущих ягод при подборе температуры

Температура сушки, °С	Вид ягоды			
	Земляника	Красная смородина	Ежевика	Малина
Продолжительность сушки, мин				
40	265	270	265	275
50	230	230	240	235
60	190	200	190	195
Содержание влаги в сухой ягоде, %				
40	7,3	8,9	8,1	7,8
50	5,8	6,5	6,2	6,4
60	4,3	4,5	4,4	4,5

Таблица 3

Методика органолептической оценки сухих ягод

Показатель	Оценка	Скидка
1	2	3
Запах:		
15-балльная шкала		
хорошо выраженный	15–12	0–3
слабый	11–6	4–9
несвежий	7–4	8–11
затхлый	3–0	12–15

1	2	3
Консистенция:	15-балльная шкала	
однородная	15–12	0–3
ягоды разной степени сухости	11–6	4–9
наличие слипшейся массы	7–4	8–11
наличие пригара	3–0	12–15
Цвет:	10-балльная шкала	
равномерный	10–6	0–4
неравномерный	5–0	5–10

При определении эффективной температуры сушки ягод учитывались такие факторы, как продолжительность обезвоживания, содержание влаги в сухом продукте и органолептическая оценка. Повышение температуры нагрева, с одной стороны, влечет за собой сокращение продолжительности вакуумной сушки, с другой стороны – к ухудшению качественных показателей готового продукта. По результатам экспериментальных исследований можно сделать вывод о том, что эффективная температура сушки равна 50 °С. Продолжительность сушки при данном режиме составляет 230–240 мин, а органолептическая оценка равна 33–34 балла из 40. При более высокой температуре наблюдается существенное ухудшение качества продукта, а при более низкой температуре – повышение продолжительности обезвоживания.

Далее рассмотрим влияние остаточного давления на процесс вакуумной сушки ягод. Опыты проводили при значениях данного параметра 4,5±0,5 кПа; 6,5±0,5 кПа и 8,5±0,5 кПа. Температура сушки при этом составляла 50 °С, плотность теплового потока – 5,0±0,3 кВт/м².

Установлено, что повышение остаточного давления снижает интенсивность удаления влаги. Спустя 30 мин после начала процесса сушки, когда произошел выход установки на рабочий режим, относительная масса ежевики при остаточном давлении 4,5±0,5 кПа составляла 95,6 %, а при остаточном давлении 6,5±0,5 и 8,5±0,5 кПа соответственно 98,5 и 98,9 %. При остаточном давлении 4,5±0,5 кПа период постоянной скорости сушки наступает через 40 мин, в то время как при остаточном давлении 6,5±0,5 и 8,5±0,5 кПа – спустя 60 и 80 мин соответственно. Длительность второго этапа вакуумной сушки при всех значениях остаточного давления приблизительно одинакова и составляет 110–120 мин.

Продолжительность третьего этапа при остаточном давлении 4,5±0,5 кПа составила около 80 мин. К концу данного этапа относительная масса высушенной ежевики составила 16 % от первоначального значения. В случае, когда остаточное давление было равно 6,5±0,5 кПа, длительность третьего этапа

обезвоживания составила 125 мин, а относительная масса продукта в конце сушки была равна 17,2 %.

При остаточном давлении 8,5±0,5 наблюдается схожая продолжительность третьего этапа, которая составила 134 мин. Относительная масса высушенной ежевики при этом составила 17,6 %.

Выводы. На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы. Вакуумную сушку ежевики необходимо проводить при остаточном давлении в камере 4,5±0,5 кПа. Эффективная сушка красной смородины протекает при остаточном давлении в камере 6,5±0,5 кПа, что обусловлено более высокой органолептической оценкой по сравнению с другими режимами. Кроме того, удельные энергозатраты при остаточном давлении 6,5±0,5 кПа для красной смородины ниже, чем при остаточном давлении 4,5±0,5 кПа, и составляют 4,5 кВт/кг влаги. Малину также эффективно сушить при остаточном давлении 6,5±0,5 кПа. По сравнению с сушкой при остаточном давлении 4,5±0,5 кПа органолептическая оценка увеличивается на 2 балла, а продолжительность сушки повышается всего на 35 мин. Повышение остаточного давления как для красной смородины, так и для малины не влечет за собой существенного повышения качества сухих ягод. Для земляники эффективное остаточное давление в камере составляет 4,5±0,5 кПа, так как при увеличении остаточного давления до 6,5±0,5 кПа качественная оценка повышается всего на 1 балл, а время сушки увеличивается на 80 мин. Дальнейшее повышение остаточного давления не ведет к улучшению качественных показателей сухих ягод земляники.

Исследована кинетика удаления влаги из растительных продуктов (ягод). Определено, что процесс сушки протекает в три этапа (I – выход на режим, II – постоянной скорости сушки, III – удаления остаточной влаги). Кинетические закономерности удаления влаги при вакуумной сушке полностью согласуются с классическими общепринятыми нормами.

Литература

1. *Атаназевич В.И.* Сушка пищевых продуктов. – М.: ДеЛи, 2000. – 295 с.
2. *Спиричев В.Б., Шатнюк Л.Н., Позняковский В.М.* Обогащение пищевых продуктов витаминами и минеральными веществами: наука и технология. – Новосибирск, 2005. – 548 с.
3. *Ратникова Л.Б., Влощинский П.Е., Широченко Г.И.* и др. Вакуумная инфракрасная сушка – технология щадящей переработки растительного и животного сырья // Вестн. Сибир. ун-та потребительской кооперации. – 2012. – № 1(2). – С. 96–101.
4. *Ермолаев В.А.* Теоретическое обоснование и практическая реализация технологии сухого сырного продукта: дис. ... д-ра техн. наук. – Кемерово, 2013. – 466 с.
5. *Жашков А.А.* Научное обеспечение процесса вакуумной сушки измельченных плодов аронии черноплодной с комбинированным кондуктивно-радиационным энергоподводом: дис. ... канд. техн. наук. – Воронеж, 2010. – 207 с.
6. *Кушевский И.В.* Исследование и разработка технологии вакуумной сушки рассольных сыров: дис. ... канд. техн. наук. – Кемерово, 2011. – 142 с.
7. *Ермолаев В.А., Захаров С.А.* Теоретическое обоснование основ консервирования сушкой и практическая реализация технологии вакуумной сушки творога. – Кемерово, 2009. – 176 с.
8. *Ермолаев В.А.* Исследование влияния остаточного давления на вакуумную сушку сыров // Вакуумная техника и технология. – 2010. – Т. 20, № 4. – С. 249–254.
9. *Маматов Ш.М.* Влияние температуры на изменение влаги при сушке картофеля в ик вакуумной сушильной установке // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2013. – № 5. – С. 74–76.

Literatura

1. *Atanazevich V.I.* Sushka pishhevyyh produktov. – M.: DeLi, 2000. – 295 s.
2. *Spirichev V.B., Shatnjuk L.N., Poznjakovskij V.M.* Obogashhenie pishhevyyh produktov vitaminami i mineral'nymi veshhestvami: nauka i tehnologija. – Novosibirsk, 2005. – 548 s.
3. *Ratnikova L.B., Vloshhinskij P.E., Shirochenko G.I.* i dr. Vakuumnaja infrakrasnaja sushka – tehnologija shhadjashhej pererabotki rastitel'nogo i zhivotnogo syr'ja // Vestn. Sibir. un-ta potrebitel'skoj kooperacii. – 2012. – № 1(2). – S. 96–101.
4. *Ermolaev V.A.* Teoreticheskoe obosnovanie i prakticheskaja realizacija tehnologii suhogo syr'nogo produkta: dis. ... d-ra tehn. nauk. – Kemerovo, 2013. – 466 s.
5. *Zhashkov A.A.* Nauchnoe obespechenie processa vakuumnoj sushki izmel'chennyh plodov aronii chernoplodnoj s kombinirovannym konduktivno-radiacionnym jenerGOPodvodom: dis. ... kand. tehn. nauk. – Voronezh, 2010. – 207 s.
6. *Kushevskij I.V.* Issledovanie i razrabotka tehnologii vakuumnoj sushki rassol'nyh syrov: dis. ... kand. tehn. nauk. – Kemerovo, 2011. – 142 s.
7. *Ermolaev V.A., Zaharov S.A.* Teoreticheskoe obosnovanie osnov konservirovaniya sushkoj i prakticheskaja realizacija tehnologii vakuumnoj sushki tvoroga. – Kemerovo, 2009. – 176 s.
8. *Ermolaev V.A.* Issledovanie vlijaniya ostatochnogo davlenija na vakuumnuju sushku syrov // Vakuumnaja tehnika i tehnologija. – 2010. – T. 20, № 4. – S. 249–254.
9. *Mamatov Sh.M.* Vlijanie temperatury na izmenenie vlagi pri sushke kartofelja v ik vakuumnoj sushil'noj ustanovke // Aktual'nye problemy gumanitarnyh i estestvennyh nauk. – 2013. – № 5. – S. 74–76.

