

На правах рукописи



Быкова Светлана Михайловна

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ
ТОМАТНОГО ПОРОШКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ИНФРАКРАСНОЙ СУШКИ ТОМАТОВ**

4.3.3. Пищевые системы

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Кемерово 2026

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского» (ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ)

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Очиров Вадим Дансарунович

Официальные оппоненты: **Попов Анатолий Михайлович**
доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кемеровский государственный университет», кафедра механики и автоматизации технологических систем, профессор

Афонькина Валентина Александровна
доктор технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный аграрный университет», кафедра «Энергообеспечение и автоматизация технологических процессов», доцент

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Красноярский государственный аграрный университет», г. Красноярск

Защита диссертации состоится «27» марта 2026 г. в 11:00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.315.05 при ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет» по адресу: 650056, г. Кемерово, б-р Строителей, 47, 2 лекц. ауд.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке и на официальном сайте ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет» (<https://kemsu.ru/science/dissertation-councils/diss-24-2-315-05/protects/120898/>), на официальном сайте ВАК Минобрнауки РФ (<https://vak.gisnauka.ru>).

Отзывы на автореферат, заверенные печатью организации, отправлять по адресу: 650000, г. Кемерово, ул. Красная, 6, Диссертационный совет 24.2.315.05, e-mail: ds24.2.315.05@mail.ru.

Автореферат разослан «_____» _____ 2026 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Милентьева Ирина Сергеевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Специфической особенностью овощеводства Сибирского Федерального округа, в частности Иркутской области, является остро выраженная сезонность выращивания и потребления овощей. Потребление свежих овощей совпадает со временем их созревания в открытом грунте. Из овощных культур в настоящее время ведущее место в России и в мире принадлежит томатам. Это объясняется тем, что плоды томатов по пищевой ценности и вкусовым качествам относятся к числу наиболее ценных овощных культур.

Для продления периода потребления томатов с максимальным содержанием питательных и биологически активных веществ в настоящее время применяют различные приемы и способы переработки и хранения. Одним из решений проблемы круглогодичного обеспечения населения продуктами высокой пищевой ценности является сушка для дальнейшего использования сушеных продуктов в качестве одного из ингредиентов при приготовлении продуктов питания функционального назначения.

В этой связи разработка технологии получения сушеных томатов и томатного порошка с использованием инфракрасной сушки и их применения в производстве продуктов питания является актуальным.

Степень разработанности темы. Разработке научных основ и технологий переработки томатного сырья, в том числе и сушки томатов, для использования в приготовлении различных пищевых продуктов посвящены работы Волончук С.К., Гаджиевой А.М., Калманович С.А., Квасенкова О.И., Касьянова Г.И., Левинского В.Н., Пенто В.Б., Попова В.М., Потаповой А.А., Чернышева С.В. и др. При этом стоит отметить, что, несмотря на широту проведенных исследований в области сушки томатного сырья задачи по определению эффективного температурного режима сушки, сокращению длительности процесса сушки, получения сушеных томатов и томатного порошка с высоким содержанием питательных и биологически активных веществ являются актуальными.

Цель и задачи работы. Разработка технологии получения томатного порошка и исследование технологических параметров инфракрасной сушки измельченных плодов томатов с использованием толсто пленочных резистивных нагревателей.

Для достижения поставленной цели определены **следующие задачи:**

- провести анализ существующих технологий и оборудования, применяемых для сушки томатного сырья;
- провести исследования по определению эффективных температурных режимов и технологических параметров инфракрасной сушки томатов с использованием толсто пленочных резистивных нагревателей с разработкой энергосберегающей системы управления;
- разработать технологию получения сушеных томатов и томатного порошка, проанализировать в полученных продуктах состав витаминов, минеральных веществ и аминокислот, а также исследовать органолептические показатели;

- разработать техническую документацию на томат сушеный и томатный порошок;
- провести расчет экономической эффективности производства разработанных изделий.

Научная новизна. Диссертационная работа содержит элементы научной новизны в рамках пунктов 4, 20 и 21 паспорта научной специальности ВАК РФ 4.3.3. Пищевые системы.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- получена зависимость изменения электрического сопротивления томатов от влажности и построена номограмма, позволяющая определить значения промежуточной влажности, плотности и удельной теплоемкости томатов по величине электрического сопротивления в процессе инфракрасной сушки;
- рассчитаны и получены сведения по постоянной времени нагрева и скорости нагрева измельченных томатов в зависимости от их промежуточной влажности в процессе инфракрасной сушки;
- впервые исследована возможность использования толсто пленочных резистивных нагревателей для сушки томатов, имеющих низкий уровень энергопотребления и позволяющих получить сухой продукт с минимальными потерями витаминов и минеральных веществ;
- разработана энергосберегающая система управления температурным режимом инфракрасной сушки томатов при использовании толсто плёночных резистивных нагревателей;
- исследована усадка долек томатов при инфракрасной сушке, которая происходит с линейной зависимостью при уменьшении длины долек томата в 1,8-2 раза, ширины – в 1,6-1,8 раза, высоты – в 2,1-2,3 раза, и определены потери витамина С в сушеных томатах при хранении;
- определены параметры получения томатного порошка инфракрасной сушки: влажность – 10-11 %, температура сушки – 60 °С; время сушки – 420 мин, расход электроэнергии на получение 1 кг сушеного томата – 0,94 кВт·ч, продолжительность измельчения сушеных томатов – 4 мин до размера частиц 185-190 мкм.

Теоретическая и практическая значимость работы. Определены технологические параметры инфракрасной сушки томатов и получения томатного порошка с использованием толсто плёночных резистивных нагревателей. Для управления температурным режимом процесса сушки томатов разработана энергосберегающая система управления нагревателями на основе терморегулятора с твердотельным реле. Полученные в работе данные по постоянной времени нагрева и скорости сушки измельченных томатов в зависимости от влажности позволяют расширить область знаний о сушке пищевых продуктов. Предложена номограмма для определения плотности и удельной теплоемкости томатов в процессе сушки по величине электрического сопротивления. Обосновано использование томатного порошка при приготовлении печенья, что позволит расширить ассортимент мучных кондитерских изделий.

Разработаны технические условия и технико-технологические карты: томат сушеный (ТУ 10.39.13-003-00492919-2022); порошок из сушеных томатов

(ТУ 10.61.23-004-00492919-2022); печенье сдобное и овсяное с добавками из овощей, фруктов и ягод (ТУ 10.72.12-005-00492919-2022); установка сушильная инфракрасная с толстоплёночными резистивными нагревателями (ТУ 28.93.16-006-00492919-2024); технико-технологическая карта на томат сушёный.

Проведены испытания и получены акты внедрения на предприятиях СХ ПАО «Белореченское» и «Радуга» ИП Беляков Д.В., которые подтвердили целесообразность проведенных экспериментальных исследований. Научные положения и практические решения по разработке технологии инфракрасной сушки томатов внедрены в учебный процесс кафедры энергообеспечения и теплотехники и кафедры технологии переработки сельскохозяйственной продукции и ветсанэкспертизы ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ.

Методология и методы исследования. При выполнении работы использованы общепринятые, стандартные и специальные методы исследований, статистические методы обработки и получения достоверной информации. Качественные показатели готовой продукции определены в ФГБУ «Иркутская межобластная ветеринарная лаборатория», в НИЦ ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, Институте геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Москве» и Иркутской областной лаборатории ФГБУ «Федеральный центр охраны здоровья животных».

Положения, выносимые на защиту:

- технология инфракрасной сушки томатов с использованием толстоплёночных резистивных нагревателей;
- результаты теоретических и экспериментальных исследований инфракрасной сушки томатов;
- способ энергосберегающего управления процессом сушки томатов на основе терморегулятора с твердотельным реле;
- параметры процесса получения томатного порошка;
- результаты по витаминному, минеральному и аминокислотному составу, санитарно-гигиеническим и микробиологическим исследованиям свежей и готовой продукции.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность полученных результатов подтверждена применением современного лабораторного оборудования, статистической математической обработкой экспериментальных данных и апробацией в производственных условиях.

Основные результаты работы были доложены и обсуждены на конференциях различного уровня: конференции ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (2019-2024); «Научно-практические аспекты развития АПК» (Красноярск, 2020); «Актуальные вопросы переработки и формирование качества продукции АПК» (Красноярск, 2021); «Роль аграрной науки в устойчивом развитии АПК» (Курск, 2022); «Проблемы современной аграрной науки» (Красноярск, 2022); «Безопасность и качество сельскохозяйственного сырья и продовольствия – 2022» (Москва, 2022); «Аграрная наука в условиях глобальных вызовов мирового продовольственного кризиса: проблемы, тенденции, пути решений» (Омск, 2022); «Безопасность и качество товаров» (Саратов, 2023); «Новейшие направления развития аграрной науки в работах молодых ученых» (Красно-

обск, 2023); «Вызовы и инновационные решения в аграрной науке» (Майский, 2024).

Результаты исследований прошли региональный и всероссийский уровень апробации путем участия в выставках, конкурсах и грантах: «Агропромышленная неделя» (Иркутск, 2019, 2022-2024); Областной фестиваль изобретательства (Иркутск, 2021, 2024); 24-ая Российская агропромышленная выставка «Золотая осень» (Москва, 2022); стипендиат фонда стратегического и инновационного развития Иркутской области молодым талантливым исследователям и инженерам (Иркутск, 2022); Всероссийский конкурс научно-исследовательских работ студентов и аспирантов Минобрнауки России в секции «Агро-, био- и продовольственные технологии» (Орел, 2023); Победитель гранта «Студенческий стартап» Фонда содействия инновациям (Москва, 2023).

Публикации. По результатам исследований опубликовано 27 научных работ, в том числе 5 статей в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России, одна статья в издании, входящем в международные базы данных Web of Science и Scopus, получен патент на изобретение Российской Федерации.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы из 225 наименований и 6 приложений. Содержание работы изложено на 150 страницах, включая 55 рисунков и 23 таблицы.

Личный вклад автора. Результаты исследований, представленные в диссертации, получены лично автором и при непосредственном его участии. Вклад автора в работы, выполненные в соавторстве, заключается в обсуждениях и постановке задач на этапах научной работы, в получении, анализе и оформлении полученных результатов.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во *введении* обоснована актуальность темы исследования, представлены цель и задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, основные методы, используемые в работе, и положения, выносимые на защиту.

В *первой* главе отражены сведения по происхождению, биологической характеристике, питательной и лечебной ценности томатов, проведен анализ существующих методов и способов переработки томатного сырья, в том числе тепловой обработки и сушки, представлен обзор работ по применению сушеного томатного сырья в пищевой промышленности и агропромышленном комплексе. На основе изученных и проанализированных материалов сформулированы цель и задачи исследования.

Во *второй* главе дано описание организации экспериментальных исследований (рис. 1), объектов и методов исследований, приборного и лабораторного оборудования. В работе на основе консультаций и опроса главных агрономов крупных сельскохозяйственных предприятий и крестьянско-фермерских хозяйств, и ученых-овощеводов университета, информации об объемах промышленного производства различных сортов и гибридов томатов на территории Иркутской области, а также сведениях о товарно-технологических характеристиках томатов в качестве объекта исследования выбран гибрид «Митридат».



Рисунок 1 – Структурная схема проведения исследований

Для определения наилучшей формы нарезки плодов томатов проведены предварительные исследования, которые показали, что наиболее предпочтительной формой нарезки плодов томатов является их разрезание на восемь равных долек (рис. 2), что удобно и практично с точки зрения сохранения целостности измельченных томатов при сушке и упаковке.

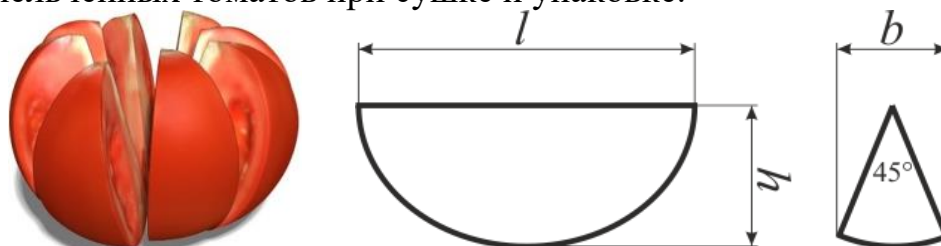


Рисунок 2 – Схематическое изображение нарезки плода томата на восемь равных долек

Геометрические параметры и масса долек свежего гибрида «Митридат» (калибр 7) составляют: длина $l = 55-60$ мм; ширина $b = 25-27$ мм; высота $h = 30-33$ мм; масса $m = 20-22$ г. Сушка нарезанных плодов томатов проводилась в сушильной установке (рис. 3).

В качестве нагревательных элементов в исследованиях использовались толстоплёночные резистивные нагреватели (ТРН), генерирующие тепловое излучение в диапазоне длин волн $\lambda_{\max} = 4,6-7,7$ мкм. Серийно выпускаемые ТРН

являются оригинальным изобретением ООО «Термостат» (г. Иркутск). Общая мощность нагревательных элементов и вентилятора составляет 1280 Вт.

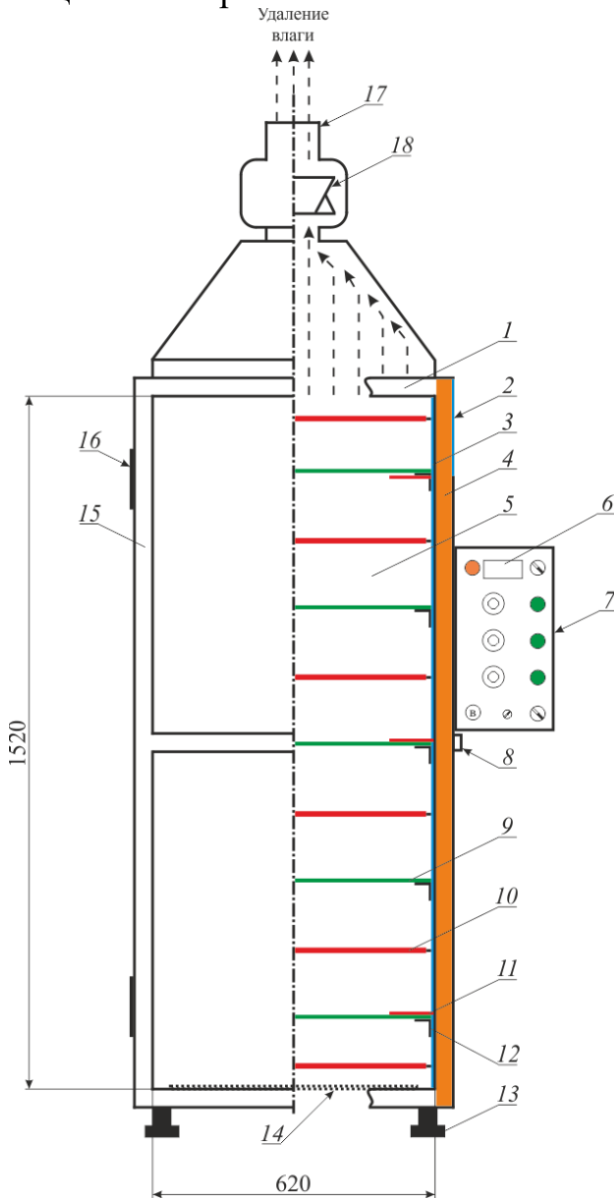


Рисунок 3 – Схематическое изображение сушильной установки: 1 – каркас установки; 2 – внешняя обшивка; 3 – внутренняя обшивка; 4 – тепловая изоляция; 5 – сушильная камера; 6 – дисплей терморегулятора; 7 – щит управления; 8 – затяжная защелка; 9 – пищевой лоток; 10 – ИК-излучатель; 11 – датчик температуры; 12 – уголок алюминиевый; 13 – ножка; 14 – нижняя заслонка; 15 – каркас двери; 16 – шарнир дверной; 17 – канал для отвода влаги; 18 – вентилятор

В ходе исследований для снижения энергопотребления и, соответственно, снижения себестоимости сушеных томатов и томатного порошка разработана и внедрена электрическая схема управления (ЭСУ) процессом сушки на основе терморегулятора с твердотельным реле (рис. 4). Для плавного (низ, середина, вверх) регулирования температуры нагрева в рабочей камере сушильной установки нагреватели условно разделены на три блока, каждый из которых состоит из четырех нагревателей.

В *третьей главе* отражены результаты исследований и их анализ. В ходе исследований по сушке томатов проведено измерение электросопротивления долек. Получено уравнение, показывающее зависимость влажности томата от величины электрического сопротивления для диапазона влажности $w = 10-85 \%$:

$$w = -a \cdot R + b, \quad (1)$$

где w – влажность томатов, %;

a – параметр процесса, равный 0,1938; R – величина электросопротивления, Ом; b – случайное отклонение экспериментальных данных влажности от вычисленных значений, равное 89,27.

Исследования зависимости между значениями электросопротивления и влажности томатов при сушке позволили установить зависимость плотности и удельной теплоемкости томатов от электросопротивления (рис. 5):

$$\rho = 1179,235 + 0,924R - 0,4383T + 0,00055TR, \quad (2)$$

$$c = 3796 + 3T - 8,359R, \quad (3)$$

где T – температура, К.

После измерения электросопротивления томатов с помощью мегаомметра построен график зависимости w , ρ и c от электросопротивления (номограмма).

По теплофизическим характеристикам и геометрическим параметрам долек в работе определена постоянная времени нагрева долек томата в зависимости от калибра и влажности томата (рис. 5).

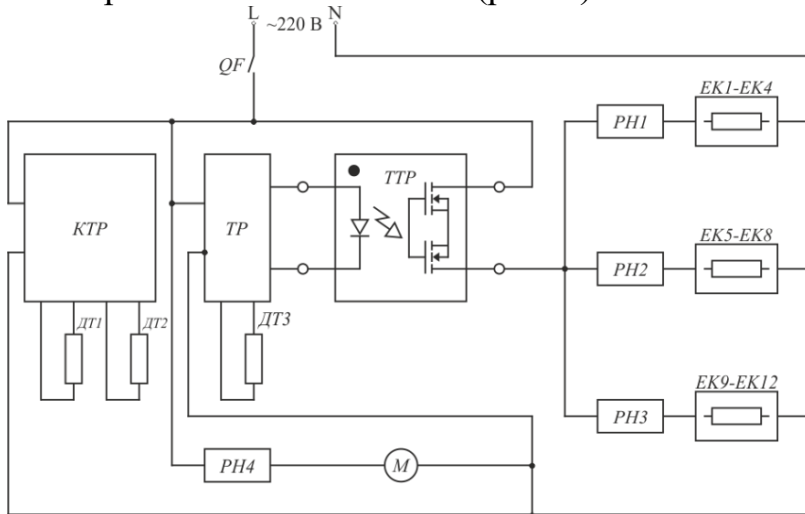


Рисунок 4 – ЭСУ сушильной установкой:
QF – автоматический выключатель; *КТР* – контрольный терморегулятор; *ТР* – терморегулятор;
ДТ – датчик температуры; *ТТР* – твердотельное реле;
РН – регулятор напряжения; *ЕК* – нагревательный элемент; *М* – электродвигатель вентилатора

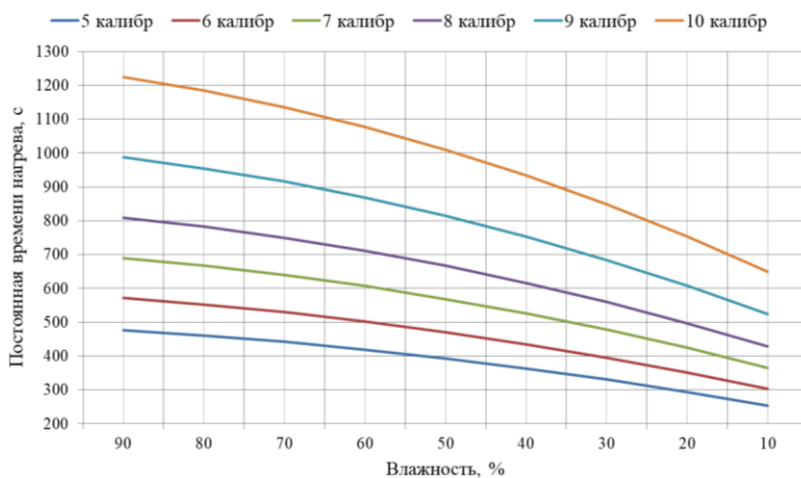


Рисунок 5 – Постоянная времени нагрева долек томатов

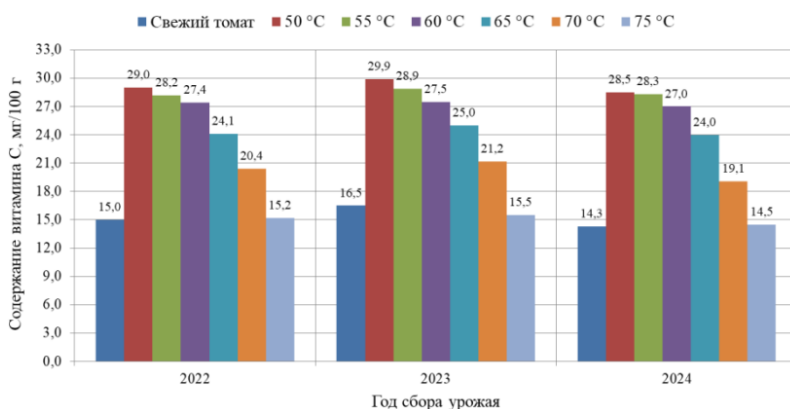


Рисунок 6 – Содержание витамина С в сушеных томатах в зависимости от температуры нагрева в процессе сушки

По значениям постоянной времени нагрева получены графики скорости нагрева в процессе подвода теплоты к долькам томатов, в промежутке от $t_{\text{нач}} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $t_y = 50\text{--}75\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Перед сушкой проведено исследование витаминного, минерального и аминокислотного составов томата (табл. 1). Выбор рационального температурного режима ИК-сушки томатов проводился по органолептическим показателям (табл. 2), содержанию витамина С (рис. 6) и продолжительности процесса сушки (рис. 7).

Выбор степени сохранности витамина С как определяющего показателя качества процесса сушки томатов обоснован тем, что данный витамин является одним из самых термолабильных при нагреве.

Наибольшей органолептической оценкой (15 баллов из 15) обладают сушеные томаты, полученные при температурах нагрева в диапазоне от 50 до 60 °C. Более высокая температура нагрева, как и в случае с содержанием витамина С, отрицательно влияет на цвет, вкус и запах готового продукта.

Таблица 1 – Содержание витаминов, минеральных веществ и аминокислот в свежих томатах

Витамины, мг/100 г		Минеральные вещества, мг/кг		Массовая доля аминокислот, %	
Витамин А	0,24±0,04	Кальций (Ca)	40	Аргинин	3,05±0,87
Витамин В ₁	0,12±0,02	Магний (Mg)	80	Лизин	<0,25
Витамин В ₁₂	< 0,001	Калий (K)	220	Лейцин и изолейцин	<0,25
Витамин В ₂	0,13±0,02	Натрий (Na)	77	Валин	<0,5
Витамин В ₆	0,13±0,02	Железо (Fe)	5	Аланин	<0,25
Витамин Е	0,62±0,10	Цинк (Zn)	2,3±1,4	Глицин	<0,25
Витамин С	14,30±1,06	Медь (Cu)	1,1		
		Марганец (Mn)	1,1±0,6		

Таблица 2 – Результаты органолептической оценки сушеных томатов

Показатель	Температура нагрева, °С					
	50	55	60	65	70	75
Цвет	5	5	5	4	4	3
Форма и консистенция	5	5	5	5	4	4
Вкус и запах	5	5	5	4	4	3
Всего	15	15	15	13	12	10

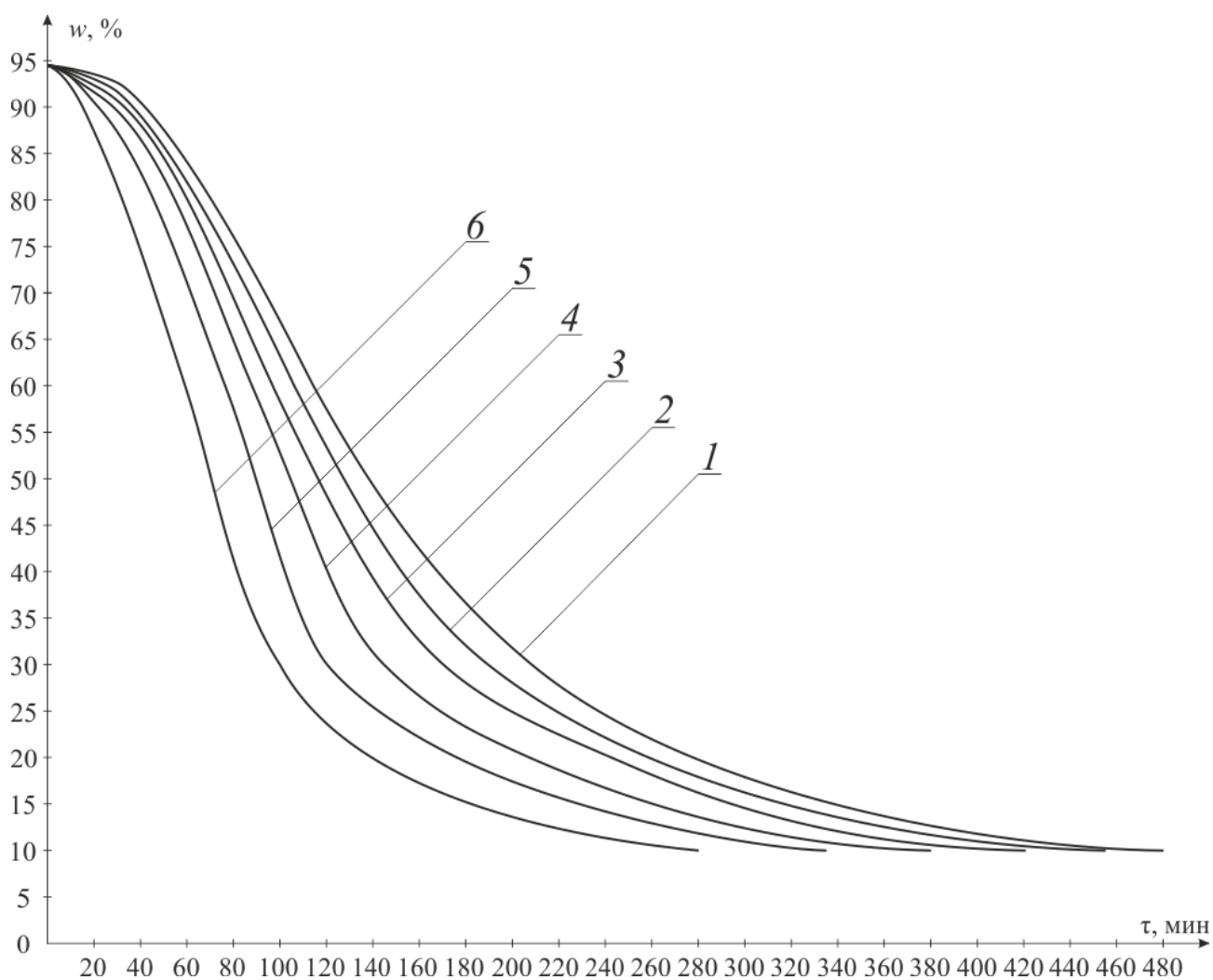


Рисунок 7 – Кривые сушки томата при различных температурах нагрева:

1 – 50 °C; 2 – 55 °C; 3 – 60 °C; 4 – 65 °C; 5 – 70 °C; 6 – 75 °C

Полученные результаты показывают, что увеличение температуры нагрева в процессе сушки томатов приводит к значительным потерям витамина С, особенно, большие потери наблюдаются при температуре нагрева свыше $60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Как видно из полученных данных (табл. 2, рис. 6-7), повышение температуры нагрева при сушке томатов приводит к ускорению процесса удаления влаги, но при этом наблюдается значительное снижение качества готовой продукции. И, наоборот, ИК-сушка томатов при более низких температурах дает противоположные результаты: процесс сушки по времени замедляется, но при этом на выходе получен сушеный продукт практически с исходными показателями качества. При таких обстоятельствах возникает выбор, чему отдать предпочтение – энергосбережению или сохранению качества сушеного продукта. Оптимальным решением будет являться выбор температуры нагрева, при которой процесс сушки будет не слишком затянут по времени с одновременным сохранением качества сушеных томатов.

Томат, как объект сушки, имеет высокое содержание влаги. Среднее значение начальной влажности томата составляет 93 %, что соответствует 13,3 кг воды на 1 кг сухого вещества. По окончании процесса ИК-сушки томаты имеют влажность 10-14 %, что составляет в готовом продукте 0,11-0,16 кг воды (0,82-1,2 % всей влаги) на 1 кг сухого вещества.

На основании представленных выше результатов исследований по содержанию витамина С, органолептической оценке сушеных томатов и продолжительности процесса сушки рекомендована для дальнейшего исследования температура нагрева томатов в процессе ИК-сушки, равная $60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

В процессе ИК-сушки, вследствие удаления влаги, происходит значительная усадка долек томата по линейным размерам, особенно это заметно по длине дольки, уменьшающейся с понижением влагосодержания на протяжении всего процесса сушки (рис. 8). Изменение длины, ширины и высоты долек томатов с уменьшением влажности томатов происходит практически с линейной зависимостью, что имеет место при небольших перепадах содержания влаги внутри материала. В среднем уменьшение длины долек томата при сушке происходит в 1,8-2 раза, ширины – в 1,6-1,8 раза и высоты – в 2,1-2,3 раза.

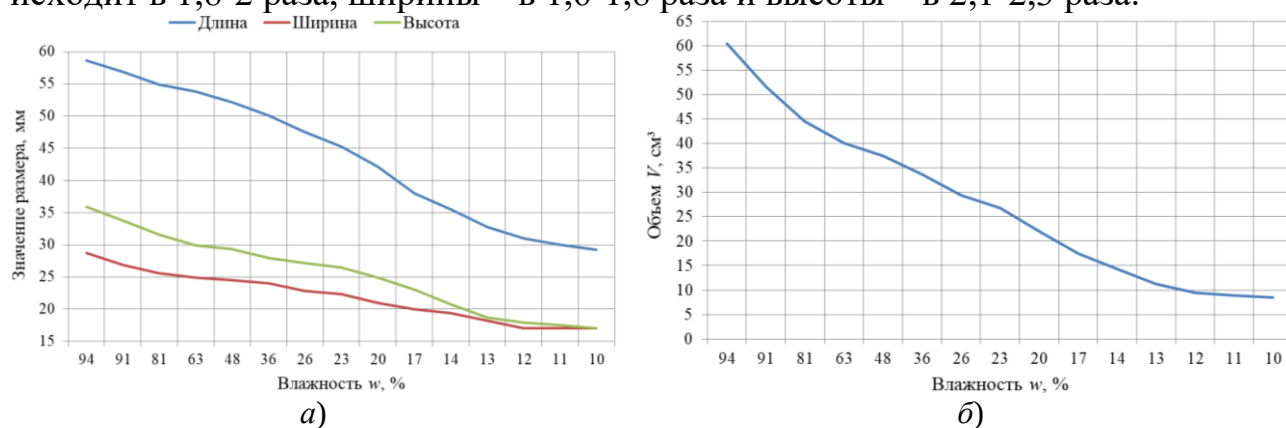


Рисунок 8 – Кривые усадки долек томатов при температуре сушки $60\text{ }^{\circ}\text{C}$
а) по длине, ширине и высоте долек; б) объемная усадка

Для выбранной температуры сушки томатов $t = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ проведены исследования по энергетическим затратам в процессе работы сушильной установки

при полной загрузке. Суммарное значение энергопотребления нагревателей и вентилятора с помощью разработанной схемы управления в сравнении существующими схемами управления представлено на рисунке 9.

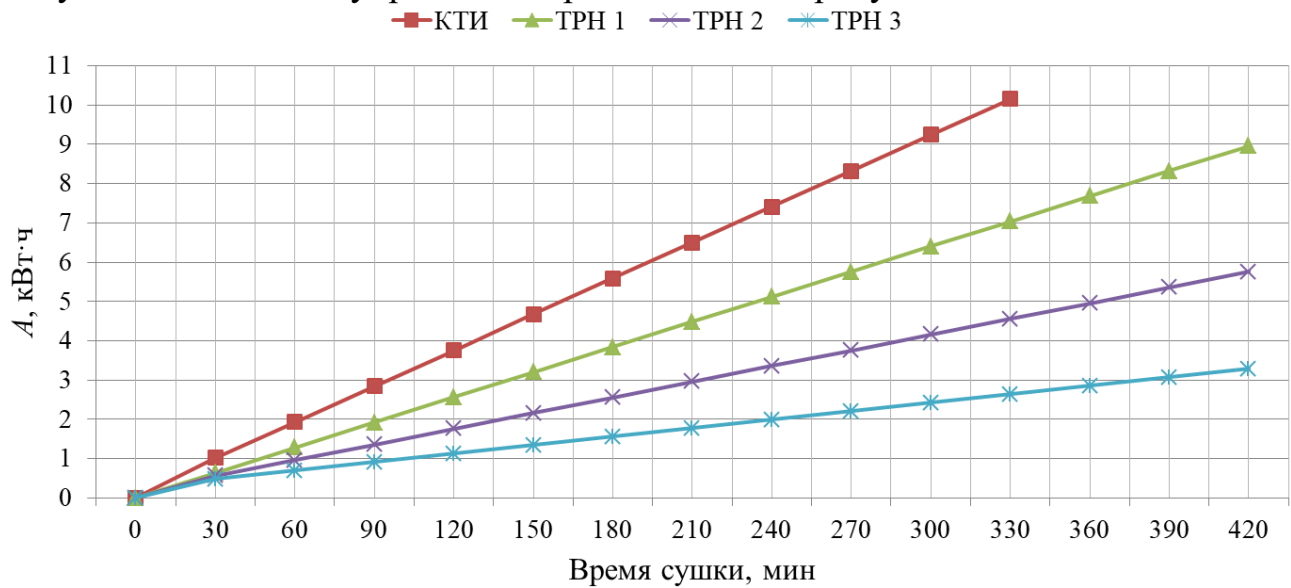


Рисунок 9 – Расход электрической энергии при сушке томатов в зависимости от типа нагревательного элемента и системы управления их работой: КТИ – кварцевый трубчатый излучатель со стандартной ЭСУ; ТРН 1 – толстоплёночный резистивный нагреватель в постоянном режиме работы; ТРН 2 – толстоплёночный резистивный нагреватель со стандартной ЭСУ; ТРН 3 – толстоплёночный резистивный нагреватель с энергосберегающей ЭСУ

Исследования по расходу электрической энергии при применении ТРН в процессе сушки томатов показали их высокую энергетическую эффективность. Разовая загрузка по свежему томату в сушильную установку равна 45 кг (1 лоток вмещает 4,5 кг томатов), что составляет 41,85 кг воды и 3,15 кг сухого вещества. По окончании процесса сушки масса сушеных томатов составляет 3,5-3,67 кг ($w = 10-14\%$), соответственно, из томатов удаляется 41,5-41,3 кг воды. При получении сушеных томатов конечной влажности 10 % с использованием разработанной энергосберегающей ЭСУ энергопотребление составило 3,29 кВт·ч.

Максимальный расход электрической энергии для ТРН при использовании энергосберегающей ЭСУ наблюдается в период разогрева сушильной установки до заданной температуры, и составляют 1,28 кВт·ч (рис. 9). При достижении температуры нагрева 30 °С начинается постепенное снижение значения потребляемого тока. После достижения температуры нагрева 60 °С энергопотребление нагревателей и вентилятора становится 0,405 кВт·ч, т.е. значение рабочего тока уменьшается в 3,16 раза. В таком режиме энергопотребления, обеспечивающегося терморегулятором с твердотельным реле, сушка томатов продолжается до ее окончания, что дает значительный эффект энергосбережения.

Дополнительным преимуществом, кроме высокой энергетической эффективности, нагревательного элемента типа ТРН, который относится по форме к плоским излучателям, является высокая равномерность нагрева по всей поверхности облучения, которая была изучена в работе путем изменения расстояния от ТРН до пищевого лотка с томатами. На основе изучения полей темпера-

тур нагрева (рис. 10) эффективным расстоянием размещения от ТРН до пищевых лотков с томатами в экспериментальной установке выбрано расстояние, равное 150 мм, которое обеспечивает незначительное превышение выбранной температуры нагрева 60 °С (на 1-2 °С).

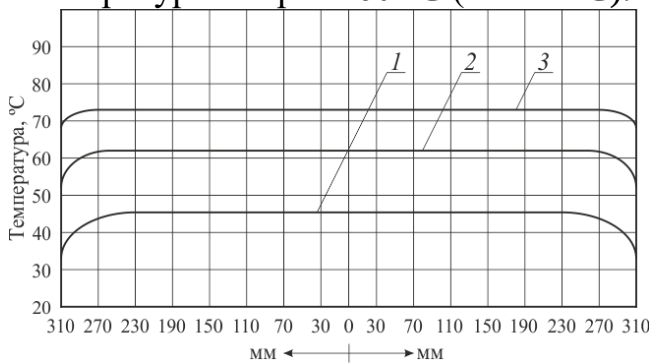


Рисунок 10 – Продольное сечение поля излучения ТРН мощностью 100 Вт для расстояний: 1 – 200 мм; 2 – 150 мм; 3 – 100 мм



Рисунок 11 – Внешний вид сушеного томата перед помолом в мельнице

Томатный порошок получают путем измельчения сушеных томатов (рис. 11) до порошкообразного состояния с помощью центробежной мельницы. Результаты по распределению частиц при измельчении сушеных томатов в зависимости от времени помола, а также внешний вид и микроструктура томатного порошка представлены на рисунках 12-13.

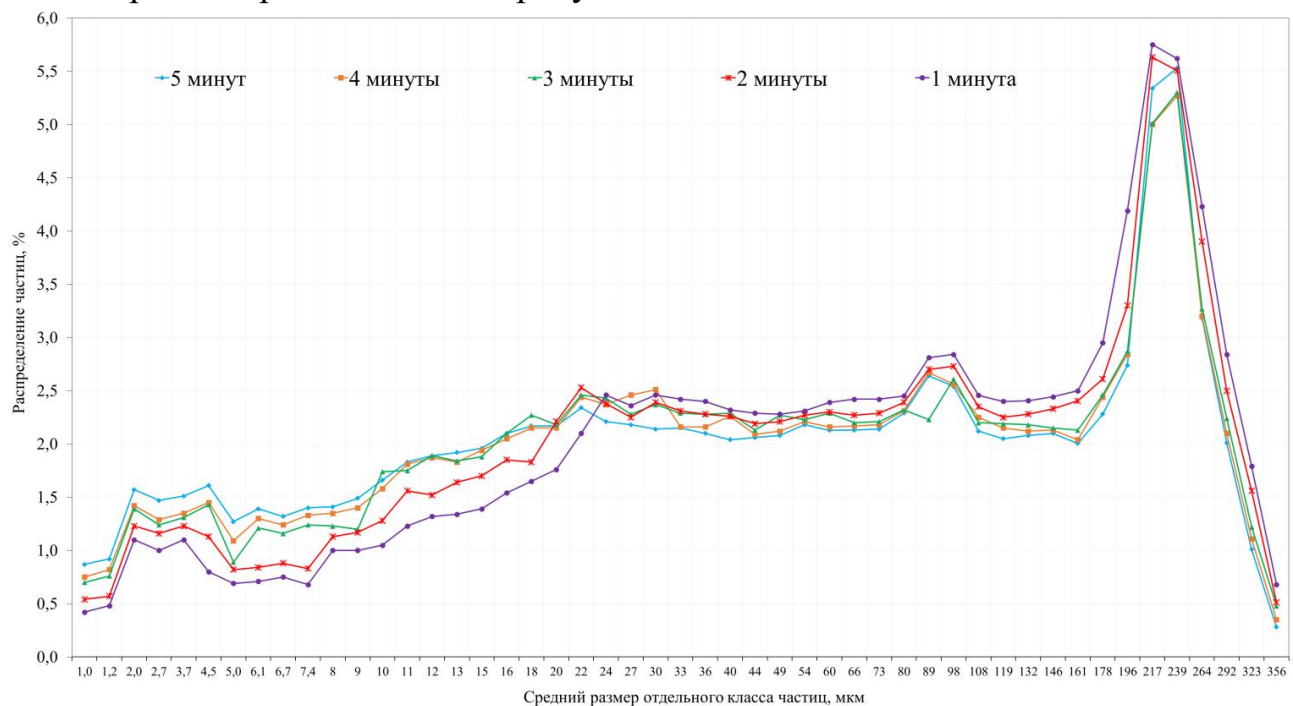


Рисунок 12 – Размер частиц томатного порошка в зависимости от времени измельчения

При анализе выявлено, что в исследуемом образце томатного порошка имеется наличие трех мод. Можно предположить, что это является отражением трех разных частей сушеного томата: мякоть, косточки и кожура. По причине тримодального распределения среднеквадратичное отклонение приблизительно равно среднему арифметическому. При измельчении сушеных томатов в течение 1 мин средний размер частиц находится в диапазоне 280-300 мкм, 2 мин –

240-260 мкм, 3 мин – 200-220 мкм, 4 мин – 185-190 мкм, 5 мин – 170-180 мкм. По полученным данным можно констатировать, что после 4 мин измельчения сушеных томатов средний размер частиц изменяется незначительно. Данное время измельчения можно принять, как оптимальное. Полученный средний размер частиц томатного порошка близок среднему размеру пшеничной муки, что позволяет заменять их в необходимом количестве при приготовлении различных пищевых продуктов.

Сушеные томаты и томатный порошок, полученные с использованием ИК-сушки и с соблюдением санитарных норм и правил, были исследованы на органолептические показатели и показатели безопасности (табл. 3-4). Результаты исследований сушеного томата и томатного порошка на содержание токсичных элементов и пестицидов, а также исследование микробиологических показателей, представленные в таблице 4, показывают, что показатели безопасности не превышают требований, установленных ТР ТС 021/201.



Рисунок 13 – Внешний вид томатного порошка и его микроструктура (увеличение x100)

Таблица 3 – Органолептические показатели готовой продукции

Показатель	Сушеный томат	Томатный порошок
Внешний вид и консистенция	Кусочки различной формы, целые, сохраняющие свою форму при укладке в тару и транспортировании, эластичные, имеется легкая хрупкость	Порошкообразная и однородная сыпучая масса
Цвет	От темно-красного до красного, однородный, насыщенный, местами имеются белые пятна от сердцевины	Бледный коричнево-оранжевый
Вкус и запах	Свойственный томатам без посторонних привкусов и запахов	Свойственный сушеным томатам без посторонних привкусов и запахов

Для обоснования целесообразности использования сушеных томатов и томатного порошка при приготовлении различных пищевых продуктов проведено определение в них количества витаминов, минеральных веществ и аминокислот. Результаты анализов представлены в таблицах 5-7.

Данные, представленные в таблице 5, показывают, что томатный порошок содержит в достаточном количестве витамины разных групп. Количественный состав витаминов в томатном порошке значительно отличается от состава свежих томатов (табл. 1), что объясняется повышением концентрации сухих веществ после удаления влаги из томата. Обоснованно выбранная темпера-

тура нагрева томатов позволила обеспечить высокий уровень сохранности витаминов. Концентрация витаминов в томатном порошке по сравнению со свежими томатами в среднем повышается: в 1,3 раза – витамин А; в 1,5 раза – витамин В₂; в 2,0 раза – витамины Е и С; в 2,1 раза – витамины В₁ и В₆. Сушеные томаты на 28,5-29,0 % удовлетворяют суточную потребность различных групп населения в витамине С.

Таблица 4 – Показатели безопасности готовой продукции

Наименование показателя	Норматив	Результат испытания	
		Сушеный томат	Томатный порошок
Токсичные элементы, мг/кг			
Кадмий	не более 0,03	< 0,01	< 0,01
Мышьяк	не более 0,2	менее 0,025	менее 0,025
Ртуть	не более 0,02	< 0,0025	< 0,0025
Свинец	не более 0,5	< 0,01	< 0,01
Пестициды, мг/кг			
ГХЦГ α	не более 0,5	менее 0,001	менее 0,001
ГХЦГ β	не более 0,5	менее 0,001	менее 0,001
ГХЦГ γ	не более 0,5	менее 0,001	менее 0,001
ДДТ и его метаболиты	не более 0,1	менее 0,001	менее 0,001
Микробиологические показатели			
B. cereus	-	не обнаружено	не обнаружено
S. aureus	-	не обнаружено	не обнаружено
БГКП	в 0,01 г не допускаются	не обнаружено	не обнаружено
КМАФАнМ, КОЕ/г	не более 5,0×10 ⁵	0,5×10 ²	0,8×10 ²
Плесени, КОЕ/г	не более 100	не обнаружено	не обнаружено

Таблица 5 – Витаминный состав сушеных томатов и томатного порошка

Витамин	Результат испытания, мг/100 г	
	Сушеный томат	Томатный порошок
Витамин А	0,3±0,04	0,31±0,06
Витамин В ₁ (тиамин)	0,24±0,04	0,25±0,04
Витамин В ₂ (рибофлавин)	0,19±0,02	0,2±0,04
Витамин В ₆ (пиридоксин)	0,26±0,04	0,27±0,04
Витамин В ₁₂ (цианокобаламин)	< 0,001	< 0,001
Витамин Е	1,19±0,2	1,22±0,2
Витамин С (аскорбиновая кислота)	28,5±3,12	29,0±3,12

Таблица 6 – Содержание минеральных веществ в сушеных томатах и томатном порошке

Наименование показателя	Содержание в 100 г	
	Сушеный томат	Томатный порошок
Макроэлементы, мг		
Кальций (Ca)	728	752
Магний (Mg)	1520	1560
Калий (K)	3850	3720
Натрий (Na)	350	370
Микроэлементы, мг		
Железо (Fe)	53	55
Цинк (Zn)	15,0±9,0	15,0±9,0
Медь (Cu)	2,1	2,4
Марганец (Mn)	18,0±11,0	19,0±11,0

Таблица 7 – Содержание аминокислот в сушеных томатах и томатном порошке

Наименование показателя	Массовая доля, %	
	Сушеный томат	Томатный порошок
Глутамин	1,19±0,48	1,53±0,61
Аспаргин	0,89±0,36	0,52±0,21
Треонин	< 0,5 (0,28)	1,13±0,25
Лизин	< 0,25 (0,12)	< 0,25 (0,12)
Лейцин и изолейцин	0,26±0,07	1,63±0,42
Глицин	0,27±0,09	0,30±0,10
Валин	< 0,5	< 0,5
Тирозин	< 0,25 (0,08)	< 0,25 (0,08)

Полученные данные по минеральным веществам в сушеном томате и порошке показывают содержание в них в значительном количестве макро- и микроэлементов (табл. 6). Из макроэлементов в количественном содержании явно выделяются магний и калий, а из микроэлементов – железо. Суточная степень удовлетворения мужчин и женщин старше 18 лет в минеральных веществах при потреблении 100 г сушеных томатов составит, %: Ca – 72,8; Mg – 361,9; K – 110; Na – 26,9; Fe – 530; Zn – 200; Cu – 210; Mn – 1450.

Сведения по содержанию аминокислот в томатах (табл. 7) указывает на содержание в них комплекса незаменимых аминокислот, что дополняет сведения о биологической ценности полученной продукции.

Для установления срока годности сухих томатов при хранении было проведено исследование томатов на содержание витамина С. Содержание витамина С в сухих томатах после одного года хранения снизилось в исследуемых образцах на 19-25 %, при этом органолептические показатели качества сухих томатов не изменились.

Таким образом, вышеприведенные показатели по витаминному, минеральному и аминокислотному составу в сушеных томатах и томатном порошке создают предпосылки для использования переработанных томатов с использованием ИК-сушки при приготовлении различных пищевых продуктов. Использование томатного порошка представлено в работе на примере приготовления печенья.

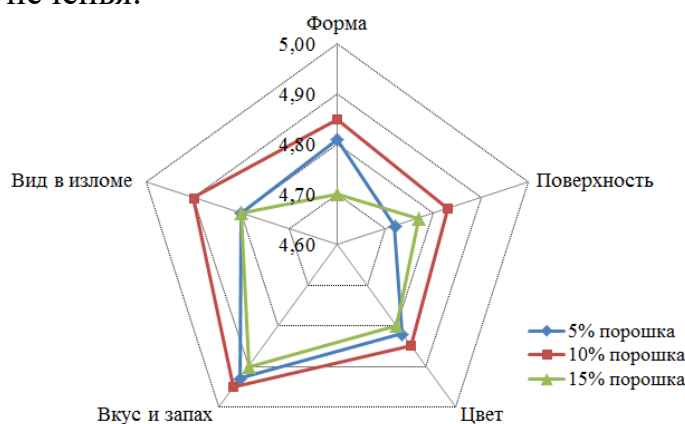


Рисунок 14 – Профилограмма органолептических свойств печенья

Результаты исследования показали, что применение томатного порошка в рецептуре печенья весьма перспективно. Печенье с добавлением томатного порошка отличается более высокой пищевой ценностью. Рациональной дозировкой томатного порошка взамен пшеничной муки с учетом органолептических свойств и дегустационной оценки принято значение 10 % (рис. 14).

Сравнительная оценка представленных образцов показала, что в печенье с томатным порошком содержание витамина С возрастает в 6 раз.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований послужили основой для разработки аппаратурно-технологической схемы производства сушеных томатов и томатного порошка с использованием ИК-излучения (рис. 15).

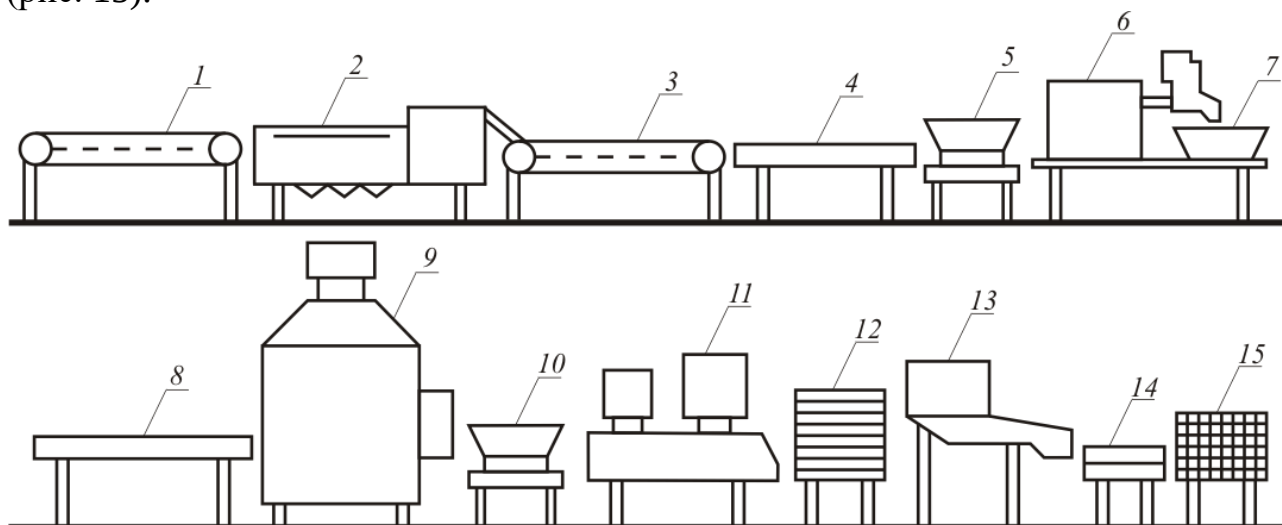


Рисунок 15 – Аппаратурно-технологическая схема производства сушеных томатов и томатного порошка: 1 – ленточный транспортер; 2 – машина для мойки и очистки томатов; 3 – инспекционный транспортер; 4 – стол для доочистки томатов; 5 – стол с весами; 6 – плодоовощерезка; 7 – емкость для измельченных томатов; 8 – стол для раскладки долек томатов в пищевые лотки; 9 – ИК-сушильный шкаф; 10 – стол с весами; 11 – мельница; 12 – мукопросеиватель (ситовой анализатор); 13 – бункер готового продукта; 14 – вакуумный упаковщик; 15 – контейнеры с готовой продукцией

На производство 100 кг сушеного томата влажностью 10-14 % расходуется 1285-1226 кг свежих плодов томатов с общими отходами и потерями 5 %, в том числе: очистка 1 %, нарезка 1 %, сушка и расфасовка 3 %. По итогам расчета экономической эффективности разработанной технологии себестоимость 1 кг сушеных томатов составила 1332 руб./кг.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ литературы позволил установить, что томат является одной из ведущих овощных культур в нашей стране и мире, что объясняется высокой урожайностью культуры и большим содержанием в нем питательных и биологически активных веществ, определяющих его вкусовые и лечебные свойства в свежем и переработанном виде. Изучение и исследование существующих способов и технических средств тепловой обработки и сушки томатного сырья показало, что наиболее эффективным является применение инфракрасных сушильных установок, имеющих высокий коэффициент полезного действия, надежность и простоту в эксплуатации, и использование экологически чистого способа сушки.

2. В ходе экспериментальных исследований определена зависимость электрического сопротивления томатов от влажности, что дополнительно позволило установить зависимость плотности и удельной теплоемкости томатов от электросопротивления. Рассчитаны значения постоянной времени нагрева то-

матов в зависимости от температуры нагрева и влажности, по значениям которой построены графики скорости нагрева томатов в процессе инфракрасной сушки для диапазона температур нагрева 50-75 °С. На основании результатов исследований по содержанию витамина С, органолептической оценке сушеных томатов и продолжительности процесса сушки, для получения сушеных томатов и томатного порошка с высоким содержанием витаминов и минеральных веществ рекомендуется температура сушки томатов 60 °С. В процессе сушки выявлена значительная усадка долек томата по длине (в 1,8-2 раза), ширине (в 1,6-1,8 раза) и высоте (в 2,1-2,3 раза), имеющая линейную зависимость от влажности томатов.

3. В качестве нагревательных элементов для процесса сушки томатов впервые использованы толстопленочные резистивные нагреватели, обладающие низким уровнем энергопотребления по сравнению с существующими на отечественном рынке инфракрасными излучателями. На основе изучения полей температур нагрева толстопленочных резистивных нагревателей оптимальным выбрано расстояние их размещения до пищевых лотков, равное 150 мм, которое обеспечивает температуру нагрева на поверхности томатов 60 ± 1 °С. Разработана энергосберегающая система управления нагревателями на основе терморегулятора с твердотельным реле, с использованием которой при сушке 45 кг томатов, разово загружаемых в сушильную установку, до остаточной влажности 10 % расход электрической энергии составляет 3,29 кВт·ч.

4. Разработана технология получения сушеных томатов и томатного порошка с использованием инфракрасной сушки. На основании консультаций и опроса ведущих агрономов хозяйств и ученых-овощеводов, информации об объемах промышленного производства различных сортов и гибридов томатов на территории Иркутской области, а также сведений о товарно-технологических характеристиках томатов в качестве объекта исследования выбран гибрид томата «Митридат». На производство 100 кг сушеного томата влажностью 10-14 % расходуется 1285-1226 кг плодов томатов с общими отходами и потерями 5 %, в том числе: очистка 1 %, нарезка 1 %, сушка и расфасовка 3 %. Сушеный томат и томатный порошок, полученные по предложенной технологии, содержат в достаточном количестве витамины, минеральные вещества и аминокислоты. Концентрация витаминов в томатном порошке по сравнению со свежими томатами повышается в раз: А – 1,3; В₂ – 1,5; Е и С – 2,0; В₁ и В₆ – 2,1. Из макроэлементов в сушеных томатах в количественном содержании явно выделяются магний (1520 мг/100 г) и калий (3850 мг/100 г), а из микроэлементов – железо (53 мг/100 г). Содержание витамина С в сухих томатах после года хранения снизилось на 25 % без существенных изменений органолептических показателей. Определены параметры получения томатного порошка инфракрасной сушки: температура сушки – 60 °С; продолжительность сушки – 420 мин, расход электроэнергии на получение 1 кг сушеного томата – 0,94 кВт·ч, продолжительность измельчения сушеного томата – 4 мин до размера частиц 185-190 мкм.

5. Разработаны и утверждены технические условия на производство следующих видов продукции: томат сушеный; порошок из сушеных томатов; пе-

чение с добавлением томатного порошка; установка сушильная инфракрасная с толсто пленочными резистивными нагревателями. Успешно проведены производственные испытания и получены акты внедрения на предприятиях СХ ПАО «Белореченское» и «Радуга» ИП Беляков Д.В., которые подтвердили целесообразность проведенных исследований. Произведен расчет экономической эффективности получения сушеных томатов и томатного порошка, которые свидетельствуют о рентабельности производства.

Рекомендации производству. Производству рекомендуется для получения плодовоовощных и ягодных порошков применять инфракрасный способ сушки, позволяющий сохранить максимальное содержание питательных и биологически активных веществ. В целях энергосбережения рекомендуется в качестве нагревательных элементов в сушильных установках использовать толсто пленочные резистивные нагреватели с применением энергосберегающей системы управления на основе терморегулятора с твердотельным реле. При приготовлении печенья рекомендуется использовать томатный порошок с долей в 10 %, полученный путем инфракрасной сушки при температуре нагрева 60 °С.

Перспективы дальнейшего исследования. Проведение исследований по сушке плодов, ягод и овощей с использованием толсто пленочных резистивных нагревателей. Перспективным является дальнейшее исследование по изучению использования томатного порошка в смеси с другими мелкодисперсными плодовоовощными и ягодными порошками при приготовлении различных пищевых продуктов.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

Статьи в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки России

1. Алтухов, И.В. Влияние режимов импульсной инфракрасной обработки и сушки томатов на биотехнические условия нагрева / И.В. Алтухов, С.М. Быкова // Вестник КрасГАУ. – 2019. – № 10 (151). – С. 132-138.

2. Алтухов, И.В. Влияние ИК-излучения на качественные показатели томатного порошка / И.В. Алтухов, С.М. Быкова, А.М. Свинаярева // Вестник КрасГАУ. – 2021. – № 11 (176). – С. 205-211.

3. Алтухов, И.В. Перспективы применения томатного порошка в рецептуре песочного печенья / И.В. Алтухов, С.М. Быкова, В.Д. Очиров // Вестник КрасГАУ. – 2021. – № 12 (177). – С. 254-259.

4. Быкова, С.М. Использование томатного порошка в технологии приготовления печенья / С.М. Быкова, В.Д. Очиров, И.В. Алтухов, В.А. Федотов // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2022. № 5 (76). – С. 79-85.

5. Быкова, С.М. Получение томатного порошка с использованием инфракрасной обработки и сушки / С.М. Быкова, В.Д. Очиров, И.В. Алтухов // Вестник КрасГАУ. – 2024. – № 1. – С. 169-175.

Статья в издании, индексируемом в базах данных Web of Science и Scopus

6. Ochirov V.D. Interaction analysis of the electrotechnological system «emitter – material» in the process of heating and drying of food plant raw materials / V.D. Ochi-

rov, I.V. Altukhov, S.M. Bykova, M.A. Blokhnin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2020. – Vol. 548. – pp. 062006.

Другие научные публикации

7. Свинаярева А.М. Технологическая подготовка томатов перед инфракрасной обработкой / А.М. Свинаярева, С.М. Быкова // Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК: мат. конф. (Иркутский ГАУ, 5-6 марта 2020 года). – Молодежный, 2020. – С. 107-113.

8. Алтухов, И.В. Способ получения порошков из сельскохозяйственных культур / И.В. Алтухов, С.М. Быкова, Н.Н. Бураева, А.М. Свинаярева // Научно-практические аспекты развития АПК: мат. конф. (КрасГАУ, 12 нояб. 2020 года). – Красноярск, 2020. – С. 7-10.

9. Алтухов, И.В. Применение томатного порошка при приготовлении печенья / И.В. Алтухов, С.М. Быкова, В.Д. Очиров, В.А. Федотов // Актуальные вопросы аграрной науки. – 2021. – № 41. – С. 5-13.

10. Алтухов, И.В. Технология получения сушёных томатов / И.В. Алтухов, С.М. Быкова, В.А. Федотов, В.Д. Очиров // Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК: мат. конф. (Иркутский ГАУ, 23-24 сентября 2021 г.). – Молодёжный, 2021. – С. 105-111.

11. Быкова, С.М. Получение песочного печенья с добавлением томатного порошка / С.М. Быкова, Н.Н. Бураева, И.В. Алтухов // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии: мат. конф. (Иркутский ГАУ, 27-28 мая 2021 г.). – Молодежный, 2021. – С. 73-74.

12. Свинаярева, А.М. Технология получения томатного порошка и область его применения / А.М. Свинаярева, С.М. Быкова // Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК: мат. конф. (Иркутский ГАУ, 17-18 февраля 2022 г.). – Молодежный, 2022. – Т. IV. – С. 301-305.

13. Быкова, С.М. Методы и способы определения влажности сельскохозяйственной продукции / С.М. Быкова, С.Р. Салмонов // Научные исследования и разработки к внедрению в АПК: мат. конф. (Иркутский ГАУ, 17-18 марта 2022 г.). – Молодежный, 2022. – С. 254-260.

14. Быкова, С.М. Методика проведения исследований технологии производства мучных кондитерских изделий с использованием томатного порошка / С.М. Быкова, И.В. Алтухов, В.Д. Очиров, В.А. Федотов // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии: мат. конф. (Иркутский ГАУ, 28-29 апр. 2022 г.). – Молодежный, 2022. – С. 244-250.

15. Быкова С.М. Постоянная времени нагрева томатов / С.М. Быкова, В.Д. Очиров, В.А. Федотов // Роль аграрной науки в устойчивом развитии АПК: мат. конф. (Курская ГСХА, 26 мая 2022 г.). – Ч. 1. – Курск, 2022. – С. 3-8.

16. Быкова С.М. Микроструктура сушеных томатов, томатного порошка и печенья с добавлением томатного порошка / С.М. Быкова, В.Д. Очиров // Проблемы современной аграрной науки: мат. конф. (КрасГАУ, 15 октября 2022 г.). – Красноярск, 2022. – С. 225-228.

17. Быкова С.М. Использование томатного порошка в производстве печенья / С.М. Быкова, В.Д. Очиров, В.А. Федотов // Безопасность и качество сельскохозяйственного сырья и продовольствия – 2022: мат. конф. (РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, 01 декабря 2022 г.). – М., 2022. – С. 107-110.

18. Быкова С.М. Зарубежный опыт использования сушеных томатов в пищевой промышленности и в агропромышленном комплексе / С.М. Быкова, В.Д. Очиров, А.Б. Гармаева // Аграрная наука в условиях глобальных вызовов мирового продовольственного кризиса: проблемы, тенденции, пути решений: мат. конф. (СибНИИП, 08 декабря 2022 г.). – Омск, 2022. – С. 367-371.

19. Быкова С.М. Усадка долек томата в процессе инфракрасной обработки и сушки / С.М. Быкова // Аграрная наука в инновационном развитии агропромышленного комплекса Иркутской области: сб. конф. (Иркутский ГАУ, 9 февраля 2023 г.). – Молодежный, 2023. – Т. 1. – С. 15.

20. Быкова С.М. Влияние формы нарезки томатов на продолжительность сушки / С.М. Быкова // Научные исследования и разработки к внедрению в АПК: мат. конф. (Иркутский ГАУ, 16 марта 2023 г.). – Молодежный, 2023. – С. 284-288.

21. Быкова С.М. Изучение и анализ потребительских предпочтений в отношении мучных кондитерских изделий и томатов / С.М. Быкова, В.Д. Очиров // Новейшие направления развития аграрной науки в работах молодых ученых: сб. конф. (СФНЦА РАН, 20 апреля 2023 г.). – Новосибирск, 2023. – Т. II. – С. 209-214.

22. Быкова С.М. Технологическая обработка и сушка сельскохозяйственной продукции / С.М. Быкова, И.В. Алтухов, В.Д. Очиров // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии: мат. конф. (Иркутский ГАУ, 27-28 апреля 2023 г.). – Молодежный, 2023. – С. 79-84.

23. Макаров С.М. Инфракрасная обработка и сушка томатов / С.М. Макаров, С.М. Быкова, В.Д. Очиров // Перспективные научные исследования высшей школы: мат. конф. (РГАТУ, 25 мая 2023 г.). – Рязань, 2023. – Ч. 2. – С. 40-41.

24. Быкова С.М. Дегустационная оценка печенья с добавлением томатного порошка / С.М. Быкова, В.Д. Очиров // Безопасность и качество товаров: мат. конф. (Вавиловский университет, 15 июля 2023 г.). – Саратов, 2023. – С. 37-44.

25. Быкова С.М. Форма и размер нарезки плодов томатов для инфракрасной обработки и сушки / С.М. Быкова, В.Д. Очиров, К.В. Нестерова // Научные исследования и разработки к внедрению в АПК: мат. конф. (Иркутский ГАУ, 14-15 марта 2024 г.). – Молодежный, 2024. – С. 136-140.

26. Быкова С.М. Разработка технологии переработки томатов с использованием инфракрасной сушки / С.М. Быкова, В.Д. Очиров // Вызовы и инновационные решения в аграрной науке: мат. конф. (Белгородский ГАУ, 10-11 июня 2024 г.). – Майский, 2024. – Т. 3 – С. 19-20.

Патент на изобретение Российской Федерации

27. Пат. 2780828 Российская Федерация, С1 МПК А23В 7/01. Способ получения томатного порошка на основе инфракрасного облучения и сушки свежего томата / Быкова С.М., Алтухов И.В., Очиров В.Д., Федотов В.А.; патентообладатель ФГБОУ ВО Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (RU). – 2021132022; заявл. 01.11.2021, опубл. 04.10.2022, Бюл. 28. – 4 с.