

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства,
виноградарства, виноделия»

На правах рукописи

Тягущева Анна Анатольевна

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СУШЕНЫХ КАБАЧКОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ
ФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ

Специальность 4.3.3. Пищевые системы

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель -
кандидат технических наук
Купин Г.А.

Краснодар - 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ТЕХНОЛОГИЙ СУШКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ.....	10
1.1 Современные технологии сушки растительного сырья.....	10
1.2 Механизмы, эффекты и преимущества применения электромагнитных полей в технологии сушки овощей	19
1.3 Аналитическое обоснование применения технологии ЭМП КНЧ для сушки кабачков.....	24
1.3.1 Кабачки как объект переработки: значимость и проблемы.....	24
1.3.2 Актуальность и перспективы сушки кабачков с применением ЭМП КНЧ.....	30
2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	37
3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	41
3.1 Обоснование выбора кабачков современной отечественной селекции в качестве исходного сырья для производства сушеных кабачков.....	41
3.2 Исследование влияния предварительной обработки кабачков свежих ЭМП КНЧ на сроки их хранения.....	48
3.2.1 Исследование влияния предварительной обработки кабачков свежих ЭМП КНЧ на микробиальную обсемененность их поверхности.....	48
3.2.2 Исследование влияния предварительной обработки кабачков свежих ЭМП КНЧ на физико-механические показатели в процессе хранения.....	54
3.3 Исследование влияния различных методов сушки кабачков на показатели качества сушеных кабачков.....	56

3.3.1 Исследование влияния различных методов сушки на продолжительность процесса сушки.....	58
3.3.2 Исследование влияния различных методов сушки на содержание витамина С и органолептические показатели сушеных кабачков.....	72
3.4 Кластерный анализ результатов исследований.....	90
4 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И ОЦЕНКА ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ СУШЕНЫХ КАБАЧКОВ.....	94
4.1 Разработка технологии сушеных кабачков.....	94
4.2 Исследование потребительских свойств сушеных кабачков.....	99
5 ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ АПРОБАЦИЯ И ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ.....	106
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	112
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	114
ПРИЛОЖЕНИЯ А – Матрица исходных данных для кластерного анализа.	132
ПРИЛОЖЕНИЯ Б – Статистическая верификация результатов.....	134
ПРИЛОЖЕНИЯ В – Технические условия.....	135
ПРИЛОЖЕНИЯ Г – Техническая инструкция.....	136
ПРИЛОЖЕНИЯ Д – Патент.....	137
ПРИЛОЖЕНИЯ Е – Программа ЭВМ.....	138
ПРИЛОЖЕНИЯ Ж – Программа ЭВМ.....	139
ПРИЛОЖЕНИЯ З – Акт внедрения.....	140
ПРИЛОЖЕНИЯ И – Акт внедрения.....	141

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. В соответствии с «Доктриной продовольственной безопасности Российской Федерации» (утвержденной Указом Президента РФ от 21.01.2020 г. №20), приоритетным направлением является внедрение инновационных решений для снижения потерь сельскохозяйственной продукции и обеспечения населения качественными отечественными продуктами питания. В этой связи, особое значение приобретает развитие и оптимизация методов переработки в растениеводстве, ключевом секторе сельскохозяйственной деятельности, обеспечивающем 76,6 % от общего объема произведенной продукции.

Одним из перспективных направлений является совершенствование технологий переработки таких ценных сельскохозяйственных культур, как кабачки, которые, благодаря высокой урожайности и диетическим свойствам, занимают важное место в агропромышленном комплексе. Несмотря на значительные объемы переработки кабачков, до 60 % урожая потребляется в свежем виде. При этом, в послеуборочный период, на этапах сортировки, транспортирования, хранения и реализации, потери продукции достигают от 35 до 40 %. Данные потери обусловлены физиологическими процессами (дыхание, испарение влаги), микробиологической порчей и другими деструктивными факторами, вызванными внутренними изменениями в плодах и несовершенством технологических процессов в производственно-сбытовой цепочке.

Перспективным направлением снижения потерь и повышения доступности кабачков для потребителя является сушка, которая позволяет значительно увеличить срок хранения продукции, сохранить пищевую ценность и расширить возможности их использования в различных отраслях пищевой промышленности. В этой связи, разработка инновационных подходов к сушке кабачков, направленных на сохранение качества исходного сырья и повышение энергоэффективности процесса, является актуальной задачей, соответствующей стратегическим целям развития Российской Федерации и направленной на

обеспечение продовольственной безопасности. Одним из перспективных направлений совершенствования технологии сушки является применение электромагнитных полей крайне низких частот (ЭМП КНЧ), позволяющих интенсифицировать процесс дегидратации и улучшить потребительские свойства готовой продукции.

Учитывая это, актуальной проблемой является разработка и внедрение в производство инновационной технологии сушки кабачков с применением ЭМП КНЧ, обеспечивающей сокращение потерь, повышение качества и пищевой ценности конечного продукта, а также снижение энергозатрат и интенсификацию процесса.

Научно-квалификационная работа (диссертация) выполнена в соответствии с планом подкомплексной НИР ФГБНУ СКФНЦСВВ «Разработка многокритериальной модели управления качеством, функциональностью, пищевой и экологической безопасностью при хранении и переработке плодово-ягодного и овощного сырья на всех этапах жизненного цикла с использованием современных инженерно-технологических, биотехнологических и физико-химических методов» (№ 0498-2022-0009.3).

Степень разработанности темы. Развитию теории и практики в области разработки технологий сушки овощей посвящены работы ученых таких, как Лыков А.В., Гинзбург А.С., Каухчешвили Э.И., Клямкин Г.М., Филимонов М.А., Першакова Т.В., Купин Г.А., Rogowska A., Witrowa-Rajpert J., Zielinska M. и других исследователей. Эти работы охватывают различные аспекты процесса сушки, включая теоретические основы, методы интенсификации, влияние на качество продукции и энергоэффективность.

Цель исследований. Целью исследований является разработка технологии сушеных кабачков с применением предварительной обработки электромагнитными полями крайне низких частот и последующей сушки, обеспечивающей высокие потребительские свойства.

Основные задачи исследований:

- проведение анализа, систематизации и обобщения научно-технической и патентной информации в области технологий сушки растительного сырья, включая методы сушки, предварительную обработку и влияние различных факторов на качество готовой продукции;
- обоснование выбора кабачков современной отечественной селекции в качестве исходного сырья для производства сушеного продукта;
- исследование влияния предварительной обработки кабачков свежих ЭМП КНЧ на сроки их хранения;
- исследование зависимости продолжительности сушки кабачков от количества связанной влаги, формы нарезки и метода сушки;
- исследование зависимости содержания витамина С и органолептических показателей кабачков от формы нарезки, температуры и метода сушки;
- проведение кластерного анализа для определения оптимальных режимов обработки кабачков;
- разработка технологии производства сушеных кабачков и исследование потребительских свойств разработанного продукта;
- производственная апробация разработанной технологии и оценка экономической эффективности.

Научная новизна. Научно обоснована и экспериментально подтверждена эффективность применения электромагнитных полей крайне низких частот в качестве метода предварительной обработки кабачков свежих с целью продления сроков хранения.

Впервые выявлены закономерности влияния количества связанной влаги, формы нарезки и метода сушки кабачков гибрида «Барбаро» и сорта «Золотой телец» на продолжительность процесса конвективной и инфракрасной сушки.

Впервые выявлены закономерности влияния формы нарезки, температуры и метода сушки на содержание витамина С и органолептические показатели качества сушеных кабачков гибрида «Барбаро» и сорта «Золотой телец».

Впервые методом кластерного анализа обоснован способ производства сушеных кабачков, включающий предварительную обработку сырья электромагнитными полями крайне низкой частоты (ЭМП КНЧ) и инфракрасную сушку, обеспечивающий пролонгированный срок хранения и сохранение витамина С на уровне 70-75 % от его исходного содержания в свежем сырье.

Научная новизна защищена 3 патентами РФ.

Практическая значимость. Разработаны эффективные технологические режимы предварительной обработки кабачков электромагнитными полями крайне низких частот (величина магнитной индукции, частота электромагнитного поля, продолжительность обработки) в зависимости от сортовой принадлежности кабачков, позволяющих увеличить срок их хранения.

Разработаны эффективные технологические режимы инфракрасной сушки кабачков в зависимости от сортовой принадлежности и формы нарезки, что обеспечивает высокие потребительские свойства сушеных кабачков.

Разработаны технические условия и технологическая инструкция на кабачки сушеные (ТУ 10.39.13-091-17021101-2025).

Личный вклад автора. Результаты исследований, представленных в выпускной квалификационной работе (диссертации), получены при личном участии автора в 2021-2025 гг. Автором самостоятельно проведен анализ и обобщение научно-технической литературы и патентной информации, проведены экспериментальные исследования, математическая обработка результатов, их обсуждение и подготовка к публикации.

Методология и методы исследования. В основе методологии проведенных исследований лежит обзор научной литературы, постановка проблемы, разработка цели, задач и программы исследований, проведение лабораторных опытов, математическая обработка экспериментальных данных и анализ полученных результатов. Работа выполнена в соответствии с классическими методиками и ГОСТами.

Основные положения, выносимые на защиту:

- экспериментальные данные, подтверждающие выбор сортов и гибридов кабачков свежих в качестве исходного сырья для производства сушеных кабачков;
- выявленные закономерности влияния предварительной обработки кабачков свежих электромагнитными полями крайне низких частот на сроки их хранения;
- выявленные закономерности влияния количества связанной влаги, формы нарезки и метода сушки кабачков на продолжительность процесса сушки, содержание витамина С и органолептические показатели готового продукта;
- результаты опытно-промышленной апробации разработанных технологических режимов производства сушеных кабачков и оценка экономической эффективности от их внедрения.

Степень достоверности. Достоверность результатов и выводов, приведенных в работе, обеспечена значительным объемом экспериментальных данных, полученных с применением современных приборов и методов исследований в лабораторных условиях, апробацией разработанных технологических решений в опытно-промышленных условиях, а также повторяемостью и математической обработкой экспериментальных данных.

Апробация. Основные экспериментальные результаты диссертации доложены и одобрены на: заседаниях методического совета ФГБНУ СКФНЦСВВ (2021–2025 гг.); на 2-й Международной научно-практической конференции «Научное обеспечение технологического развития и повышения конкурентоспособности в пищевой и перерабатывающей промышленности» (Москва, 2022); Международной научной конференции «Плодоводство Беларуси: от традиций к инновациям» (Минск, 2022); IV конгрессе «Наука, питание и здоровье» (Минск, 2023); региональном круглом столе «Био-, цифровые и когнитивные технологии в садоводстве, виноградарстве» (Краснодар, 2025).

Публикации. По материалам выпускной квалификационной работы (диссертации) опубликовано 15 научных работ в соавторстве, в том числе 7 научных статей в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки РФ, 4 статьи в других изданиях и материалах конференций, 1 учебное пособие, 1 патент

РФ на изобретение, 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Общий объем публикаций по теме диссертации составляет 16,6 п.л., доля участия автора 6,7 п.л.

Структура и объем диссертации. Выпускная квалификационная работа (диссертация) состоит из введения, 5 глав, заключения и 9 приложений. Работа изложена на 140 страницах машинописного текста, содержит 24 таблицы и 26 рисунков. Список литературы включает 150 источников, из которых 76 иностранном языке.

1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ТЕХНОЛОГИЙ СУШКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

1.1 Современные технологии сушки растительного сырья

Процесс сушки, являющийся важным этапом переработки растительного сырья в пищевой промышленности и одним из старейших и важнейших методов сохранения сельскохозяйственной продукции, демонстрирует динамичное развитие, обусловленное растущими требованиями к качеству и безопасности продукции, а также необходимостью оптимизации энергопотребления и снижения негативного воздействия на окружающую среду [1, 2].

Сушка, традиционный метод консервации, эволюционировала от естественных способов к технологиям с интеллектуальным управлением [1, 2]. Современные методы, включая сушку горячим воздухом, инфракрасную и микроволновую сушку, активно применяются [3, 4], что особенно актуально в связи с прогнозируемым ростом мирового потребления энергии к 2030 году [3]. Оптимизация энергопотребления и повышение энергоэффективности становятся ключевыми задачами [4]. Современные тенденции направлены на повышение производительности, стабильности процесса, снижение затрат и потерь ценных веществ [5]. Растительное сырье, такое как фрукты и овощи, с высоким содержанием влаги (до 80 %) требует сушки для предотвращения порчи, продления срока годности и сохранения рыночной стоимости. Растущий спрос на полезные сушеные продукты подтверждает важность сушки, обеспечивающей снижение влажности до безопасного для хранения уровня [5].

В готовых дегидратированных продуктах важно максимально сохранить органолептические свойства (цвет, вкус, аромат, текстура) и нутритивную ценность (витамины, минералы, антиоксиданты) сырья, а также его функциональные свойства (ферментативная активность, регидратация, растворимость) [1, 2]. Однако, важны не только технологии сохранения качества,

но и энергоэффективности. Сравнительные исследования показывают значительные различия в энергопотреблении разных методов сушки, например, конвективной и микроволновой [3, 6]. Поэтому ведутся поиски оптимальных режимов сушки для минимизации энергозатрат без ущерба для качества [7, 8, 9].

Установлено, что температура сушки существенно влияет на свойства продукта и удельное энергопотребление [10]. Комбинированные методы, например, инфракрасное излучение с конвекцией, позволяют сократить время сушки, снизить энергопотребление и улучшить органолептические показатели [11]. Аналогичные результаты получены при использовании сушилок с тепловым насосом [12]. Оптимизация параметров, например, размера образцов и мощности микроволн, также важна для минимизации энергозатрат [13, 14]. Грамотный выбор и оптимизация параметров сушки – эффективный подход к снижению энергозатрат при переработке плодоовощной продукции.

Несмотря на достигнутый прогресс в повышении эффективности процессов сушки, проблема оптимизации энергопотребления остается актуальной. В частности, в промышленных масштабах, где процессы дегидратации сопряжены со значительными энергозатратами [15], разработка и внедрение энергоэффективных систем сушки приобретает первостепенное значение. В этой связи, приоритетными направлениями являются разработка технологий, направленных на снижение энергопотребления, более эффективное использование вторичных энергетических ресурсов (теплоты) и обеспечение высокого качества сушеных продуктов [16].

Сушка горячим воздухом является доминирующим методом дегидратации сельскохозяйственной продукции, обеспечивая более 85 % производственных мощностей в этой области [16, 17]. Принцип действия основан на конвективном теплообмене: поток нагретого воздуха обеспечивает передачу тепла к влажному материалу, инициируя фазовый переход воды из жидкого состояния в парообразное. Преимущества данного метода включают контролируемость параметров сушки (температура, скорость воздушного потока), что позволяет управлять процессом и минимизировать деградацию продукта [18].

Тем не менее, традиционная сушка горячим воздухом характеризуется рядом недостатков: высокое энергопотребление, неравномерное распределение температуры в объёме продукта и потенциальная денатурация термолабильных компонентов. Анализ данных литературы показывает, что эффективность сушки горячим воздухом варьируется в зависимости от типа высушиваемого материала и параметров процесса. Авторы [19] установили, что для сушки тыквы и томатов достигается эффективность до 79 % при относительно низком энергопотреблении. Энергетические затраты на сушку киви варьируются от 3,8 до 5,4 МДж/кг [20].

Вакуумная сушка, проводимая при пониженном давлении, является передовым методом, обеспечивающим высокое качество сушеного продукта благодаря сохранению термолабильных соединений, таких как витамины и антиоксиданты [21]. Она минимизирует риск термической деструкции и позволяет сохранить органолептические характеристики [22]. Снижение давления уменьшает необходимую для дегидратации тепловую энергию, повышая эффективность и снижая энергозатраты. Энергопотребление установки определяется вакуумным насосом и нагревателем, а температура в камере является определяющим параметром [23, 24]. Исследования демонстрируют, что удельное энергопотребление при вакуумной дегидратации значительно варьируется в зависимости от свойств материала. Например, комбинированный метод конвективной и вакуумной дегидратации риса снизил энергопотребление на 60,1% по сравнению с конвективной дегидратацией [25]. Установлено, что повышение температуры агента сушки снижает энергопотребность и повышает энергоэффективность при дегидратации зеленого горошка, со значениями энергоэффективности от 5,32 % до 14,97 % и удельным энергопотреблением от 48,62 до 135,24 МДж/кг [26].

Проведенные исследования демонстрируют неоднозначность энергоэффективности вакуумной дегидратации. Авторы [27] выявили высокую удельную скорость удаления влаги (0,028 кг/кВт·ч) при импульсной вакуумной дегидратации семян гинкго, превосходящую лиофилизацию. Интеграция конденсационной установки [28] в процесс вакуумной дегидратации яблок

обеспечила максимальную скорость дегидратации, минимальное энергопотребление (69,696 МДж/кг) и лучшее сохранение микроструктуры по сравнению с конвективной сушкой. Однако, авторы [29] сообщили об энергоэффективности вакуумной дегидратации киви в радиочастотном диапазоне на уровне 11,98 %. Сравнительный анализ [30] показал, что вакуумная дегидратация грибов характеризуется максимальными энергозатратами (от 41,97 до 124,34 кВт·ч/кг), а исследование [31] выявило снижение удельного энергопотребления (от 447,62 до 151,69 МДж/кг) при повышении температуры вакуумной дегидратации женьшеня.

Следовательно, вакуумная сушка, несмотря на отдельные преимущества, характеризуется сложностью и энергозатратностью, особенно при обработке влагосодержащих материалов со сложной клеточной структурой, таких как фрукты и овощи.

Сублимационная сушка (лиофилизация) - щадящий метод дегидратации, при котором влага удаляется из замороженного продукта путем сублимации льда в вакууме. Это обеспечивает максимальное сохранение органолептических и нутритивных свойств, а также структуры продукта, но является дорогостоящим и энергоемким процессом [12]. Метод состоит из трех этапов: замораживание, сублимация и десорбция. Сублимационная сушка позволяет получить продукты высокого качества, но требует значительных энергозатрат (259 МДж/кг для яблок [32], от 33 до 53 МДж/кг для моркови [33]). Существуют способы снижения энергопотребления, например, использование микроволновой сублимации (экономия до 72 % при сушке бамии [34]). Выбор между вакуумной и сублимационной сушкой определяется требованиями к качеству, экономической целесообразностью и масштабами производства [13]. Ведутся разработки по повышению эффективности, снижению стоимости и экологичности сублимационной сушки.

Конвективная дегидратация, основанная на передаче тепла от горячего воздуха к материалу, интенсифицирует испарение и удаление влаги. Метод эффективен для гранулированных и слоистых материалов с развитой

поверхностью и термостойкостью, и широко используется в пищевой промышленности для фруктов и овощей. Преимущество – точный контроль температуры и влажности, что сохраняет качество продукта. Недостаток – низкая тепловая эффективность из-за прямого отвода газов, что компенсируется предварительной обработкой, например, ультразвуком [10].

Энергопотребление и эффективность конвективной дегидратации зависят от методов и условий [35]. Исследование показало энергоэффективность до 50,95 % при дегидратации пшеницы с энергопотреблением 4,42 МДж/кг. Эффективность сильно зависит от материала. Зерновые с низкой влажностью отличаются от фруктов и овощей с высоким содержанием свободной воды. Конвективная дегидратация быстро нагревает фрукты и овощи, создавая градиент давления пара для ускорения испарения. Однако, несмотря на большую площадь поверхности, требуется много энергии из-за низкой скорости диффузии влаги, увеличивающей время дегидратации.

Конвективная сушка характеризуется значительными различиями в эффективности и энергопотреблении, зависящими от вида и характеристик высушиваемого продукта. Например, эффективность сушки бананов при 50 °C составляет 22 %, а энергоэффективность достигает 97 % [36], что может быть связано с различиями в определении границ системы измерения эффективности. Сушка картофеля требует около 243 МДж/кг [37], при максимальной энергоэффективности 86 % [38]. Микроволновая сушка помидоров превосходит конвективную по эффективности [39]. Форма огурцов также влияет на энергопотребление [40], а эффективность сушки огурцов составляет от 3 до 8% при длительности до 14 часов. Для грибов энергоэффективность варьируется от 8 % до 85 % [41]. Сушка гороха требует от 58 до 170 МДж/кг при эффективности от 3 до 11 % [42], а маниоки - энергоэффективность от 47 до 63 % и общую эффективность от 39 до 71 % [43]. Повышение температуры при конвективной сушке снижает энергопотребление и повышает эффективность, однако увеличивает риск перегрева и порчи продукта.

Сушка в псевдооживленном слое – эффективный метод дегидратации, обеспечивающий быстрое удаление влаги благодаря интенсивной теплопередаче и перемешиванию [44-46]. Энергопотребление сушки в псевдооживленном слое варьируется в зависимости от технологий и материалов. Сушка риса с использованием микроволн требует от 4,6 до 24,9 МДж/кг [47, 48], а эффективность сушки риса варьируется от 5 % до 14 % [49]. Использование солнечного теплового насоса обеспечивает эффективность около 12 % [50], а сушка с нагревом от биомассы – 11-28 МДж/кг [51]. Системы с рекуперацией тепла требуют от 30 до 80 МДж/кг [52]. Энергоэффективность зависит от множества факторов: при сушке риса она может достигать от 12 до 86 % [53], а сушилки с коническим дном эффективны при сушке риса-сырца (до 37%) [54]. Повышение температуры снижает энергопотребление [55], однако удельные затраты составляют от 30 до 75 МДж/кг. Применение ультразвука при сушке кукурузы требует от 21 до 56 МДж/кг [56], а эффективность сушки проса с подогревом стенок достигает от 40 до 72 % [57]. Сушка сыпучих материалов с микроволнами требует от 11 до 49 МДж/кг [58], а для сои – 51-339 МДж/кг [59].

Энергоэффективность сушки в псевдооживленном слое зависит от температуры, скорости воздуха и влажности. Повышение температуры ускоряет испарение, но избыток ведет к потерям тепла. Оптимизация скорости воздуха и других параметров, с учетом материала и конструкции, улучшает циркуляцию и снижает энергозатраты. Ключевой фактор энергоэффективности - выбор оптимальных режимов сушки.

Инфракрасная сушка, использующая инфракрасное излучение для внутреннего нагрева, эффективна для влажных материалов [60]. Различают ближнее, среднее и дальнее инфракрасное излучение [61], с максимальной эффективностью при резонансе частот [62, 63].

Исследования показывают, что энергопотребление инфракрасной сушки зависит от продукта и параметров. Для пророщенного коричневого риса требуется от 10 до 31 МДж/кг [64], а для кукурузы – от 7,5 до 15 МДж/кг [65]. Использование графеновых панелей для кукурузы позволяет экономить энергию [66, 67]. Для

сушки семян льна требуется 5-5,5 МДж/кг [68], а для зеленого горошка – не менее 107 МДж/кг [42].

Эффективность инфракрасной сушки варьируется в зависимости от продукта. Для фруктов и овощей, где влага внутри клеток, инфракрасное излучение обеспечивает быстрый нагрев и испарение. При сушке яблок энергопотребление составляет 4-13 МДж/кг [69]. Энергетическая эффективность сушки грецких орехов достигает около 8% [70].

Инфракрасная (ИК) сушка демонстрирует эффективность в различных продуктах. Так, ИК-сушка моркови показывает эффективность от 4,7 до 12,8 % [71], оптимальная мощность – 230 Вт. Для грибов ИК-сушка может достигать эффективности 54 % с затратами 10 МДж/кг [72], минимальные затраты энергии – 44,3 МДж/кг [30]. При сушке тыквы микроволновая сушка наиболее энергоэффективна, чем ИК-сушка [73]. Увеличение мощности ИК-излучения ускоряет испарение влаги, улучшает теплопередачу и повышает эффективность сушки, сокращая время и энергозатраты.

В последние годы отмечается повышенный интерес к ИК- и микроволновой (СВЧ) сушке [16], которые ускоряют процесс и улучшают качество. ИК-сушка обеспечивает быстрый и равномерный нагрев, сохраняя питательные вещества и органолептические свойства. СВЧ-сушка использует объемный нагрев для повышения скорости и эффективности [17]. Сочетание ИК- и СВЧ-сушки может обеспечить еще более эффективный и равномерный нагрев.

Инфракрасная сушка с горячим воздухом - комбинированный метод дегидратации, обеспечивающий быстрый и равномерный нагрев продукта за счет одновременного воздействия инфракрасного излучения и горячего воздуха, что позволяет сохранить органолептические свойства и питательную ценность термочувствительных продуктов [74]. Важно оптимизировать параметры процесса для повышения энергоэффективности [75]. Энергопотребление варьируется в зависимости от продукта: для риса – минимум 9,4 МДж/кг [76], для термолабильного риса при умеренных параметрах – 10-31 МДж/кг [64], для зеленого горошка – от 23 до 35 МДж/кг [77], для батата – от 56 до 69 МДж/кг [78],

для яблок – до 5 МДж/кг при эффективности до 58 % [79, 80], для ежевики – от 253 до 864 МДж/кг [81], для киви – минимум 131 МДж/кг [82] и для боярышника – 122 МДж/кг [83].

Комбинированная инфракрасная сушка с горячим воздухом эффективна, но может приводить к потерям питательных веществ и требует значительного энергопотребления. Увеличение скорости воздушного потока снижает эффективность [84], которая обычно составляет от 4 до 10 %. Энергопотребление варьируется: сушка грибов – от 54 до 256 МДж/кг [30], томатов – минимум 3,8 МДж/кг [85] или 13 МДж/кг при эффективности 20-29% [86], чеснока – 8-18 МДж/кг [87], что значительно эффективнее конвективной сушки, улучшая характеристики регидратации и сохранности. В зерне ИК создает градиент давления, выталкивающий влагу; во фруктах/овощах ИК нагрев вызывает быстрое испарение, но может формировать пленку [88], увеличивая энергозатраты. Сушка горячим воздухом – проста, но медленна и энергозатратна.

Микроволновая сушка, эффективная для зерна и фруктов, может быть неравномерной. Комбинирование с сушкой горячим воздухом решает эту проблему: микроволны быстро нагревают продукт изнутри, а горячий воздух удаляет влагу снаружи [89].

Приведем примеры энергопотребления и эффективности комбинированной сушки: арахис - от 5 до 11 МДж/кг (эффективность от 21 до 43 %), при этом более высокая мощность микроволн и температура воздуха ускоряют сушку и повышают эффективность [90]; красная фасоль - от 10 до 38 МДж/кг [91]; фрукты и овощи – от 83 до 150 МДж/кг [92]; лонган - сокращение времени на 64 % и энергопотребления на 48 %, от 30 до 36 МДж/кг [93]; боярышник - около 65 МДж/кг [6]; морковь - высокая температура снижает эффективность [94]; зеленый горошек – от 25 до 89 МДж/кг, эффективность от 8 до 28 % [26]; томаты - минимум 3,8 МДж/кг, эффективность от 35 до 58% [95]; орехи - увеличение мощности микроволн повышает эффективность [96].

Микроволновая сушка с горячим воздухом быстро и равномерно удаляет влагу из фруктов и овощей, нагревая воду внутри продукта микроволнами и удаляя пар горячим воздухом. Энергопотребление оптимизируется подбором параметров.

Микроволновая вакуумная сушка [97] использует микроволны в вакууме для бережной сушки, сохраняя полезные вещества и вкус (эффективность от 2 до 4 % для семян граната [98]. Вращающийся поддон снижает энергопотребление [99]. При сушке клубники оптимальна низкая мощность [100]. Микроволновая вакуумная сушка эффективнее, но энергозатратнее, чем просто микроволновая или вакуумная сушка (от 11,5 до 34,6 МДж/кг).

Микроволновая инфракрасная сушка [101] сочетает внутренний нагрев микроволнами и поверхностный нагрев инфракрасным излучением для равномерной и быстрой сушки влагосодержащих продуктов. Эффективность зависит от характеристик продукта и параметров сушки [102]. Оптимальные параметры для сушки риса: 80 °С, 3 м/с, 1500 Вт (ИК) и 500 Вт (СВЧ), эффективность 32 %, энергозатраты 7,2 МДж/кг.

Процесс микроволновой инфракрасной сушки (МИК-сушка) характеризуется рядом преимуществ по сравнению с конвективной сушкой и другими традиционными методами. К ним относятся: сокращение времени сушки, повышение равномерности распределения влаги в материале, а также снижение удельных энергозатрат.

Есть и другие, более сложные способы сушки, которые объединяют сразу несколько технологий. Например:

1) Микроволновая сушка с тепловым насосом: микроволны быстро нагревают продукт, а тепловой насос помогает экономить энергию при удалении влаги [103].

2) Инфракрасная вакуумная сушка: продукт нагревают инфракрасным излучением, а вакуум помогает эффективно удалять влагу. Этот способ хорошо подходит для продуктов, которые легко испортить от высокой температуры [104].

Эти способы сушки могут быть очень эффективными, но их пока еще мало изучили. Важно провести больше исследований, чтобы понять, как они работают и

как их можно улучшить, чтобы тратить меньше энергии и беречь окружающую среду. Такие комбинированные методы могут решить проблемы, которые есть у каждого способа сушки по отдельности, и сделать процесс сушки более эффективным.

Подводя итог, можно сказать, что сочетание традиционных и передовых технологий сушки может значительно повысить качество конечного продукта. Однако, поскольку процессы сушки часто потребляют большое количество энергии, при проектировании новых систем сушки важно внедрять меры по энергосбережению и использовать возобновляемые источники энергии. Кроме того, качество конечного продукта во многом зависит от конкретных технологий и используемых параметров, что требует тщательного рассмотрения этих факторов на этапе проектирования.

1.2 Механизмы, эффекты и преимущества применения электромагнитных полей в технологии сушки овощей

Реализуемая в настоящее время стратегия развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года в качестве одного из стратегических направлений определяет модернизацию производства и повышение конкурентоспособности через внедрение инновационных технологий, улучшение качества продукции и развитие инфраструктуры [105]. В связи с этим, актуальны разработки в области создания инновационных технологий переработки сельскохозяйственного сырья. Однако, разработка инновационных технологий не представляется возможной без изучения и систематизации мирового научного опыта. Одним из эффективных методов интенсификации технологических процессов переработки растительных объектов, обеспечивающих высокое качество и безопасность готовых продуктов, является воздействие электромагнитных полей (ЭМП) [57]. Систематизация и изучение патентной информации позволила сделать вывод о том, что электромагнитные поля используются для обработки растительного сырья в следующих технологических

процессах: сушка, снижение микробной контаминации (обеззараживание), производство соков и экстракция [69].

Ранее установлено, что сушка растительного сырья требует больших энергетических затрат. Использование электромагнитных полей (нетепловой метод обработки) позволяет сократить расход энергии на обработку растительного сырья, вследствие сокращения времени сушки при сохранении высокого качества продукции.

Так, авторы [106] использовали электромагнитные поля в качестве предварительной обработки лука, в следствие чего произошло сокращение времени сушки на 32 %. Исследование [107] по голубике показало, что предварительная обработка электромагнитными полями значительно сократила время осмотического обезвоживания и привела к наименьшей биохимической деградации питательных соединений. Аналогичные результаты были получены в исследованиях на сливе [108] и моркови [106, 108]. Было показано, что обработка электромагнитных полей приводит к структурным изменениям плодов за счет потери целостности паренхиматозной ткани [108], потери упругости материала, о чем сообщают [109].

Авторами [110] была продемонстрирована эффективность обработки электромагнитными полями в сохранении качественных характеристик болгарского перца при транспортировании. Кроме того, применение магнитного поля находит широкое применение в технологиях криоконсервирования, способствуя увеличению скорости замораживания и улучшению качества замороженных продуктов [111]. Отмечается положительное влияние магнитного поля на снижение риска образования микотоксинов в плодоовощной продукции, что подтверждено исследованиями на фундуке, инжире, перце чили и винограде [112]. В работе [111] была проведена оценка воздействия магнитного поля на химический состав чеснока.

Сушка с активным использованием электромагнитных полей основана на глубоко изученном и многократно подтвержденном на практике принципе диэлектрического нагрева, в соответствии с которым электромагнитное излучение

строго определенной частоты активно и избирательно взаимодействует с полярными молекулами воды [15,16], в значительном количестве присутствующими в структуре овощного продукта, вызывая их интенсивные колебания и, как следствие, чрезвычайно быстрый и равномерный нагрев всего объема продукта изнутри, а не только с поверхности, как это происходит в традиционных методах [33].

Этот принципиально новый механизм теплопередачи позволяет достичь гораздо более эффективного и однородного нагрева всего объема обрабатываемого продукта по сравнению с классическими методами сушки, основанными на конвективном или контактном теплопереносе, что в конечном итоге приводит к значительному сокращению общего времени обработки, существенному улучшению качества получаемого продукта (в частности, к максимальному сохранению его ценных органолептических и нутритивных свойств, таких как цвет, вкус, аромат, содержание витаминов, минералов и антиоксидантов) и заметному снижению общего энергопотребления, что делает технологию сушки овощей традиционных методов сушки [15, 16], основанных на конвективном нагреве или прямом контакте с нагретой поверхностью, и эффективно предотвращает образование так называемой «корочки», состоящей из дегидратированных поверхностных слоев, которая препятствует дальнейшему эффективному и равномерному удалению влаги из внутренних слоев обрабатываемого продукта, тем самым значительно замедляя процесс сушки и ухудшая качество конечного продукта [38].

Все это в совокупности делает технологию сушки овощей с применением ЭМП одним из самых перспективных направлений в современной пищевой промышленности.

Диэлектрический нагрев, безусловно, является ключевым и основополагающим механизмом, обеспечивающим быстрый, эффективный и равномерный нагрев продукта за счет прямого, избирательного и целенаправленного взаимодействия электромагнитного поля с полярными молекулами воды, обильно присутствующими в структуре овощного сырья. ЭМП

вызывает интенсивные колебания и трение молекул воды друг о друга, что приводит к мгновенной генерации тепла непосредственно внутри продукта, а не на его поверхности, как это происходит при использовании традиционных методов сушки [32, 69]. Эффективность диэлектрического нагрева в значительной степени зависит от нескольких ключевых факторов, включая частоту используемого электромагнитного излучения (которая должна быть оптимально подобрана для конкретного вида продукта), диэлектрических свойств конкретного продукта (которые, в свою очередь, зависят от его химического состава, структуры, плотности и других физико-химических характеристик) и общего содержания влаги в обрабатываемом материале [84]. Тщательная оптимизация и точный контроль всех этих параметров позволяют максимально эффективно использовать энергию электромагнитного поля для быстрого и равномерного нагрева продукта и достижения наилучших возможных результатов сушки, обеспечивая высокое качество конечного продукта при минимальных энергозатратах [15, 16].

Электромагнитные поля обладают уникальной и ценной способностью обеспечивать селективный, или избирательный, нагрев влаги, содержащейся в овощном сырье, что является существенным преимуществом по сравнению с традиционными методами сушки, основанными на конвекции или контакте [111]. Диэлектрические свойства воды кардинально отличаются от диэлектрических свойств сухих веществ, которые также присутствуют в составе овощей, что позволяет электромагнитному полю целенаправленно и избирательно воздействовать в первую очередь на молекулы воды, вызывая их нагрев, в то время как сухие компоненты нагреваются в значительно меньшей степени [112]. Такой селективный нагрев обеспечивает гораздо более равномерное распределение температуры внутри обрабатываемого продукта и эффективно предотвращает локальный перегрев поверхности, который часто наблюдается при конвективной сушке и неизбежно приводит к ухудшению качества продукта, включая изменение цвета, вкуса, аромата и потерю ценных питательных веществ [112]. Более того, селективный нагрев влаги также способствует более эффективному и быстрому удалению воды из продукта, поскольку нагретая вода обладает большей

подвижностью, легче испаряется и быстрее покидает структуру материала, тем самым ускоряя процесс сушки и снижая общие затраты энергии [113, 114].

Помимо нагрева, электромагнитные поля оказывают выраженное влияние на структуру продукта на микро- и даже наноуровне, вызывая различные изменения в клеточных стенках, межклеточном пространстве и даже внутри самих клеток [15]. Под воздействием ЭМП происходит некоторое размягчение клеточных стенок, что облегчает выход влаги из клеток и снижает сопротивление материала процессу диффузии влаги к поверхности. Кроме того, ЭМП может способствовать частичному разрушению межклеточных связей, что также увеличивает проницаемость ткани и значительно улучшает общую скорость сушки. Эти структурные изменения, происходящие на микроскопическом уровне, в конечном итоге способствуют сокращению общего времени сушки, улучшению текстуры конечного продукта и повышению его потребительской привлекательности [115]. Важно подчеркнуть, что степень влияния ЭМП на структуру продукта строго зависит от интенсивности применяемого излучения, общей продолжительности обработки, частоты электромагнитного поля, а также от специфических свойств конкретного вида овощного сырья, включая его состав, структуру и влажность [57].

Одним из важных преимуществ использования электромагнитных полей в процессе сушки овощей является их выраженное стерилизующее воздействие на продукт, которое обусловлено комплексным воздействием высокой температуры и непосредственно самого электромагнитного поля на микроорганизмы и ферменты, присутствующие в сырье. Под воздействием ЭМП происходит эффективная инактивация микроорганизмов, включая вегетативные клетки бактерий, дрожжи и плесневые грибы, а также подавляется активность ферментов, которые могут вызывать нежелательные изменения в цвете, вкусе и запахе продукта, что в итоге приводит к ухудшению его качества и сокращению срока хранения [15,33]. Это стерилизующее воздействие ЭМП способствует значительному увеличению срока хранения сушеных овощей видов овощей, которые не подвергаются каким-либо другим видам термической обработки перед процессом сушки [116].

1.3 Аналитическое обоснование применения технологии ЭМП КНЧ для сушки кабачков

1.3.1 Кабачки как объект переработки: значимость и проблемы

Кабачки (*Cucurbita pepo* L.), однолетнее кустовое растение семейства тыквенных (*Cucurbitaceae*), являются одной из популярных овощных культур, выделяющихся ранним формированием урожая и ценными диетическими свойствами при высокой продуктивности, что обуславливает их значимость как неотъемлемой части рационов питания населения Российской Федерации и широкое использование в перерабатывающей промышленности. По данным Росстата, за последние 5 лет уровень обеспечения овощными культурами в среднем составил 87,8 %, при этом, в соответствии с рекомендуемыми нормами рационального потребления пищевых продуктов, на кабачки приходится 20 кг в год на душу населения, что, исходя из численности населения РФ, определяет потребность в товарной продукции кабачков в объеме 2,9 млн тонн в год [117,118].

В Российской Федерации овощеводство играет важную роль в обеспечении социально-экономической эффективности деятельности агропромышленного комплекса. Согласно данным Росстата, наибольшие площади возделывания кабачков в 2024 году расположены в Краснодарском крае, Белгородской, Воронежской, Ростовской, Волгоградской и Астраханской областях, что связано с природно-климатическими факторами, рисунок 1.

Астраханская область

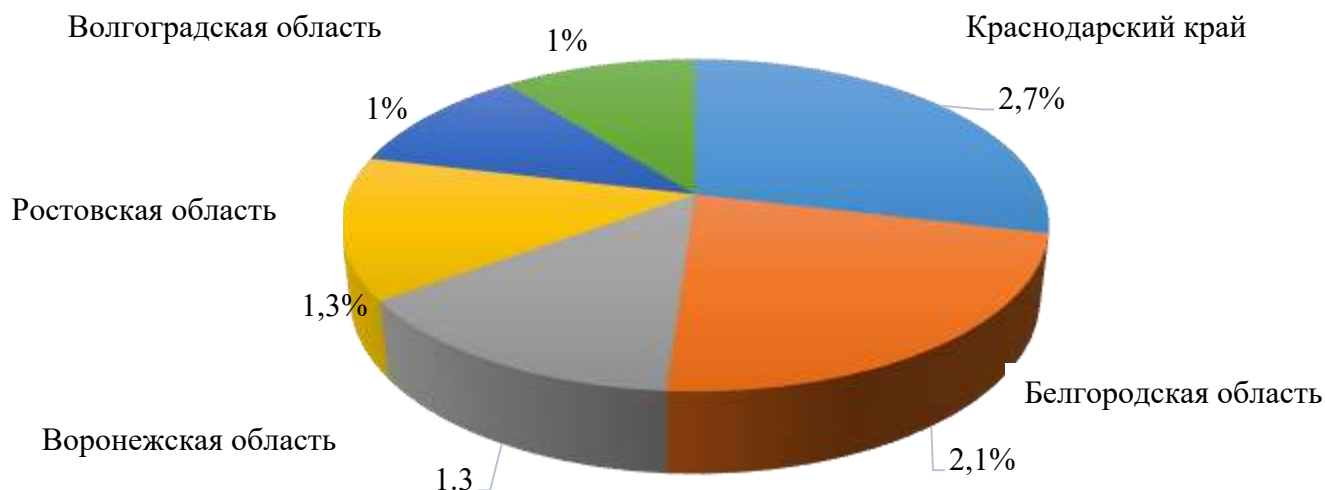


Рисунок 1 - Регионы РФ и показатели посевных площадей
кабачков свежих в 2024 г., тыс. га

При этом, посевные площади распределены следующим образом: сельскохозяйственные организации до 30 % от общих посевных площадей, крестьянские (фермерские) хозяйства - 55 % и хозяйства населения около 15 % [119].

В 2024 году валовые сборы кабачков в промышленном секторе овощеводства России оставили 118,8 тыс. тонн. За год они выросли на 13,9% (на 14,5 тыс. тонн), за 5 лет - на 12,9% (на 13,6 тыс. тонн), за 10 лет - на 84,0% (на 54,2 тыс. тонн) [120].

Среди перечисленных регионов, Краснодарский край занял второе место по валовым сборам кабачков в 2023 году (20,8 тыс. тонн, доля в общих сборах – 17,5 %), уступив только Астраханской области (61,8 тыс. тонн, 52,0 %), и опередив Волгоградскую область (10,5 тыс. тонн, 8,8 %), Владимирскую область (6,5 тыс. тонн, 5,5 %) и Воронежскую область (5,0 тыс. тонн, 4,3 %) [121], рисунок 2.

Валовые сборы в других регионах совокупно составили 14,1 тыс. тонн (11,8% в общем объеме сборов) [121].

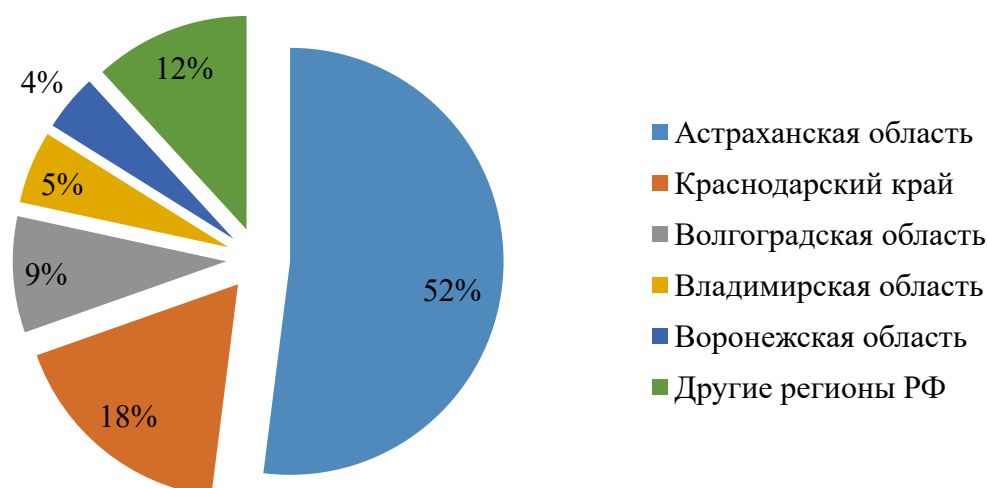


Рисунок 2 - Доля регионов в общем объеме валовых сборов кабачков в России в 2024 году, % (общий объем – 118,8 тыс. тонн)

При этом валовые сборы кабачков в сельскохозяйственных организациях составляют около 30 тыс. т. с 1 га посевных площадей, урожайность в крестьянских хозяйствах значительно выше - до 90 тыс. т [120].

Однако, несмотря на высокие темпы роста производительности и востребованности кабачков, фермеры сталкиваются с рядом трудностей.

Во-первых, климатические особенности регионов, в которых выращиваются кабачки, зачастую являются провоцирующими. В июле-августе отмечается аномально высокая температура воздуха и почвы. Температура воздуха в дневные часы может достигать от 38 до 42 °С при относительной влажности от 25 до 30 %, а поверхность почвы – от 63 до 67 °С. Подобные климатические условия пагубно влияют на сохранении качества кабачков, которые относятся к группе растительного сочного сырья, то есть характеризуются высоким содержанием влаги, что делает их чувствительными к условиям транспортирования, хранения и реализации [122].

Во-вторых, большинство кабачков, экспортируются в свежем виде в другие регионы, а это означает, что им приходится преодолевать большие расстояния, чтобы попасть на конечный рынок. В случае плохой организации данных

процессов потери массы и снижение качества могут быть значительными. Установлено, что сохранность качества в процессе движения кабачков по производственно-сбытовой цепочке во многом зависит от интенсивности процесса дыхания и микробиологической обсемененности их поверхности [33]. В процессе дыхания кабачки поглощают кислород, который используется для окисления содержащихся в них органических веществ. В результате окисления органические вещества, в первую очередь сахара, распадаются с выделением воды, углекислого газа и энергии. Таким образом, дыхание приводит к снижению в хранящемся сырье количества питательных веществ [56]. Микробиологическая порча поверхности кабачка, которая появляется в основном из-за травмирования плода вследствие его чувствительности – также является серьезной проблемой, которая сокращает срок хранения и ухудшает качество продукции [123].

В третьих, в предреализационный период кабачки хранят при низких температурах, а когда они поступают в торговую сеть, то попадают «на полку» при обычных температурах. И в том и в другом случае кабачки подвергаются большому стрессу [57].

Несмотря на то, что хранение при низких температурах (в холодильных камерах) широко используется для сохранения физических и химических свойств свежих овощей, в процессе транспортирования и хранения при низких температурах некоторые овощи проявляют симптомы внешнего повреждения, так как очень чувствительны к холоду [124]. Экзокарпия плодов страдает от различных негативных последствий хранения в холодильнике, таких как изменение цвета и образование вмятин. Эти симптомы увядания связаны с уменьшением количества воска на кутикуле, а также с повреждением клеточной мембраны и клеточной стенки [125]. Кабачки относятся к неклиматерическим овощам, то есть они не требуют периода покоя и способны сохранять свою свежесть и качество в течение продолжительного времени при правильном хранении. Оптимальной температурой, при которой дыхание кабачков замедляется, и они способны сохранять свои качества является от 7 до 10 °C [126]. Однако данную температуру могут поддерживать только современные овощехранилища. Так как в

Краснодарском крае производством кабачком занимаются небольшие фермерские хозяйства, овощехранилища которых не способны соблюдать конкретные температурные режимы, условия хранения нарушены в сторону уменьшения (до 4 °С) либо в сторону увеличения (12-15 °С) температуры [127].

Плоды кабачков, хранящиеся при температуре 4 °С, страдают от других симптомов послеуборочного охлаждения, таких как потеря веса и упругости, а также изменение уровня углеводов и полиаминов [39]. Симптомы внешних повреждений также связаны с накоплением активных форм кислорода (АФК), таких как перекись водорода (H_2O_2) и супероксиданион (O_2^-), а также повышенным перекисным окислением липидов [128]. Чтобы уменьшить повреждения, вызванные холодовым стрессом, кабачки индуцируют активацию антиоксидантных ферментов и увеличивают выработку антиоксидантных соединений, способных уничтожать свободные радикалы, таких как фенилпропаноиды (флавоноиды и антоцианин) и аскорбат [57].

Хранение кабачков при температуре от 18 до 20 °С (режим хранения «на полке») вызывает активацию биохимических процессов, которые и приводят к его созреванию, старению и, в конечном итоге, порче [126]. Кабачки, являясь живым организмом, осуществляют газообмен посредством дыхания, поглощая кислород и выделяя углекислый газ [16]. Этот процесс сопровождается окислением органических веществ (углеводов, жиров) для получения энергии, необходимой для жизнедеятельности клеток [15]. При повышенной температуре дыхание ускоряется, что приводит к более интенсивному расходу питательных веществ и уменьшению срока хранения. В процессе дыхания выделяются ферменты, которые разрушают клеточные структуры кабачков. Это приводит к размягчению тканей, уменьшению упругости и появлению неприятного запаха [57]. Тепло и влажность создают благоприятные условия для развития микроорганизмов (бактерий, грибов), которые питаются органическими веществами кабачков и вызывают его порчу [15]. Хлорофилл, который придает кабачкам зеленый цвет, разрушается под воздействием света и тепла, это приводит к пожелтению кожи и мякоти кабачков [31]. При высокой температуре кабачки теряют влагу через испарение. Это

приводит к увяданию и уменьшению их веса [129]. Таким образом, при температуре от 18 до 20 °С происходит активное разрушение органических веществ кабачков, что приводит к его увяданию, размягчению и порче. В таких условиях срок хранения кабачков ограничен несколькими днями [57].

В-четвертых, помимо сложных химических и физиологических процессов, которые сопровождают свежие кабачки в процессе движения по производственно-сбытовой цепочке, существует проблема со сроками реализации данного объекта. Последний сбор кабачков приходится на конец сентября - начало октября. Точные даты могут варьироваться в зависимости от конкретного сорта, погодных условий и других факторов, но этот период является общим для большинства регионов [130]. Продление срока хранения свежих кабачков на 1-2 недели способно удержать местный рынок от наплыва импортной продукции, обеспечить стабильное предложение свежих овощей для потребителей и создать условия для более эффективной работы местных фермеров [127].

С целью выявления проблемных точек в выращивании, хранении и реализации кабачков был проведен опрос производителей (фермерских хозяйств) кабачков в Краснодарском крае: ИП Чепурной Александр Гаврилович (выращиваемые сорта - Арал, Марсела, Ясна, Даша); ИП Пирог Галина Николаевна (выращиваемый сорт – Сальвадор, Грибовские 37, Даша, Донья перфекта); ИП Ерохин А.А. (выращиваемые сорта - Арал, Марсела, Удачи, Суха); ООО Агрофирма Лето (выращиваемые сорта - Арал, Марсела, Искандер, Желтоплодный, Грибовские 37); ООО РУСАЛМА (выращиваемые сорта - Арал, Марсела, Даша, Желтоплодный, Искандер, Суха); ООО «ТКА» (выращиваемые сорта - Арал, Марсела, Искандер, Ясна, Удачи); КФК «ФОЮ» (выращиваемые сорта - Арал, Марсела, Искандер. Суха, Донья перфекта); Физическое лицо Адам А.М. (выращиваемые сорта - Арал, Марсела, Грибовские 37, Даша, Искандер, Суха); Физическое лицо Собянина В.К. (выращиваемые сорта - Арал, Бонита, Даша, Искандер, Суха, Ясна).

Все Краснодарские фермеры сошлись в одном мнении, что кабачки свежие являются сложным объектом для хранения. Существующие на сегодняшний день

методы хранения овощей (упаковка с модифицированной атмосферой (МАР), контролируемая атмосфера (СА), хранение при низком давлении (гипобарическое), озонирование, ультрафиолетовое излучение, применение ультразвука и тепловая обработка) не всегда эффективны по отношению к кабачкам в связи с его особенной природной физиологической чувствительностью [131]. Используемые в настоящее время способы хранения, такие как холодильное хранение и регулируемая газовая среда, способны уменьшить интенсивность дыхания, но не позволят предотвратить потери от микробиологической порчи и являются энергозатратными. К тому же все разработанные методы направлены избирательно на решение одной из многих трудностей. В связи с этим проблемным вопросом аграриев Краснодарского края остается невозможность продлить срок хранения свежих кабачков без потери их качества, а значит, они имеют проблему удержания рынка и повышения рентабельности производства [127].

Перечисленные проблемы аграриев, связанные с климатическими особенностями, сложной логистикой, температурными стрессами и короткими сроками реализации свежих кабачков, диктуют необходимость поиска эффективных способов снижения потерь урожая и увеличения добавленной стоимости.

1.3.2 Актуальность и перспективы сушки кабачков с применением ЭМП КНЧ

Актуальным решением представляется разработка и внедрение технологий переработки кабачков, позволяющих продлить срок их хранения и расширить возможности реализации. Одним из перспективных направлений увеличения сроков хранения кабачков является сушка, поскольку позволяет значительно уменьшить объем продукции, снизить затраты на транспортирование и хранение, а также сохранить большую часть полезных свойств кабачков [127].

Однако, анализ литературных источников показал, что количество исследований по изучению влияния различных способов сушки на кабачки очень

ограничено. Так, сушка кабачков оценивалась в исследовании, где применялась терморadiационная (инфракрасная) сушка при 105 °С, 95 °С и 85 °С [15]. Для высушиваемого образца была выбрана кубическая форма, размер стороны куба в сыром состоянии варьировался от 14 до 22 мм. На основании кривых скорости сушки было установлено, что рациональной температурой для образца 14 мм является 95 °С, при этом внешний вид выглядит презентабельно и высушен для нужной консистенции. В другом исследовании кабачки были нарезаны пластинами толщиной 5 мм [57]. Эксперимент проводился в конвективной лотковой сушилке и двухступенчатой конвективной вакуум-импульсной сушилке в виде шкафа. Первая ступень (лотковая конвективная сушилка) использовалась для организации сушки сырья до конечной влажности (до 12%), а также в качестве первой ступени сушки сырья до влагосодержания конца первого периода, которая определялась по температуре внутреннего нагрева материала. Анализ кривых сушки показал, что двухступенчатая конвективная вакуум-импульсная сушка, по сравнению с конвективной, позволяет существенно интенсифицировать процесс влагоудаления, что приводит к снижению продолжительности сушки на 60-70% [132].

В связи с этим, разработка и внедрение инновационных технологий сушки кабачков, является актуальной и востребованной задачей, обусловленной рядом факторов, связанных с особенностями производства, хранения и переработки данной культуры в регионе [133].

Во-первых, производство кабачков носит ярко выраженный сезонный характер. Массовый сбор урожая приходится на ограниченный период времени, что создает трудности с его реализацией и приводит к значительным потерям продукции. Традиционные методы хранения кабачков (охлаждение, консервация) не всегда позволяют обеспечить длительное сохранение их качества и товарного вида, особенно при больших объемах производства. Сушка является одним из наиболее эффективных способов консервации, позволяющим значительно увеличить срок хранения продукции без существенной потери ее питательной ценности [127].

Во-вторых, некондиционные кабачки, а также отходы переработки (обрезки, очистки) представляют собой значительный объем версификации производства и создания продуктов с высокой добавленной стоимостью. Внедрение новых технологий сушки позволит расширить ассортимент продукции из кабачков (сушеные снеки, ингредиенты для пищевой промышленности) и повысить ее конкурентоспособность на рынке [127].

В-третьих, регионы, занимающиеся выращиванием кабачков, подвержены климатическим рискам, таким как засухи, град, заморозки, которые могут приводить к снижению урожайности и потере качества кабачков [122]. Сушка является эффективным способом снижения зависимости от климатических факторов, позволяющим перерабатывать урожай даже в неблагоприятные годы. Разработка технологий сушки, использующих альтернативные источники энергии (например, солнечную энергию), позволит повысить устойчивость производства к колебаниям цен на энергоносители и снизить негативное воздействие на окружающую среду [127].

В-четвертых, производство сушеных кабачков может стать перспективным направлением развития овощеводства, позволяющим расширить рынки сбыта и повысить конкурентоспособность продукции на внутреннем и внешнем рынках. Сушеные кабачки обладают высокой пищевой ценностью, длительным сроком хранения и удобны в транспортировке, что делает их привлекательными для потребителей и перерабатывающих предприятий [127].

В-пятых, развитие перерабатывающих производств в сельской местности позволит создать новые рабочие места, повысить уровень доходов населения и улучшить социально-экономическую ситуацию в регионе [134]. Поддержка местных производителей и продвижение продукции из кабачков позволит укрепить продовольственную безопасность региона и снизить зависимость от импорта [135].

Таким образом, разработка и внедрение новых технологий сушки кабачков, является актуальной задачей, решение которой позволит повысить эффективность производства, снизить потери урожая, расширить рынки сбыта, повысить

устойчивость к климатическим рискам и улучшить социально-экономическую ситуацию в регионе [127].

На основании проведенного анализа научно-технической и патентной информации, посвященный исследованию процесса сушки растительного сырья и применения электромагнитных полей низкой частоты (ЭМП КНЧ) в процессе сушки, установлено, что актуальным направлением исследований является разработка энергоэффективных методов сушки, обеспечивающих сохранение качества и биологической ценности растительного сырья, а также изучение механизмов воздействия ЭМП КНЧ на физико-механические и химические показатели конечного продукта с целью оптимизации режимов сушки и расширения области их применения [136].

Существуют исследования, подтверждающие разнообразные виды сушки растительного сырья и положительное влияние предварительной обработки ЭМП КНЧ на интенсификацию процесса сушки, снижение энергозатрат и улучшение качественных характеристик конечного продукта, таких как сохранение витаминов, антиоксидантов и органолептических свойств [15].

В то же время существуют ключевые технологические вызовы в данном направлении:

- традиционные методы сушки кабачков характеризуются существенными недостатками, включающими деформацию структуры продукта, деградацию термолабильных биоактивных соединений, и высокой энергоемкостью процесса. Данные факторы обуславливают необходимость поиска альтернативных технологий, способных обеспечить сохранение качества продукции и снижение энергозатрат [16];

- применение ЭМП КНЧ в процессе сушки растительного сырья демонстрирует ряд потенциальных преимуществ, включая неинвазивность, энергоэффективность, и повышенное сохранение биоактивных соединений. Технология предварительной обработки ЭМП КНЧ, по сравнению с традиционными методами, предоставляет возможность осуществления более

падающей дегидратации, минимизирующей негативное воздействие на качество продукции [39];

- фундаментальные механизмы воздействия ЭМП КНЧ на кабачки на клеточном и молекулярном уровнях требуют дальнейшего изучения. В частности, недостаточно информации о влиянии ЭМП КНЧ на структуру воды в тканях кабачков, проницаемость клеточных мембран, активность ферментов, и сохранность питательных веществ. Дальнейшие исследования в этой области необходимы для оптимизации процесса дегидратации с применением ЭМП КНЧ и достижения максимального сохранения качества продукции [15];

- выбор оптимальных параметров процесса дегидратации (частота и напряженность ЭМП, время обработки, температура) представляет собой сложную задачу, требующую учета специфических свойств кабачков (содержание влаги, структура ткани, химический состав) и желаемых характеристик конечного продукта. Для эффективной реализации технологии ЭМП КНЧ необходимо проведение систематических исследований, направленных на определение оптимальных параметров процесса дегидратации для различных сортов/гибридов кабачков [57];

- научные исследования, посвященные сравнительной оценке пригодности различных сортов/гибридов кабачков для дегидратации с применением ЭМП КНЧ, практически отсутствуют. Необходимо проведение исследований, направленных на выявление сортов/гибридов кабачков, обладающих оптимальными характеристиками для дегидратации с применением ЭМП КНЧ, обеспечивающими высокое качество и сохранение питательной ценности готового продукта [57];

- в настоящее время отсутствуют разработанные и апробированные технологии, интегрирующие ЭМП КНЧ с другими методами дегидратации (например, конвективной сушкой). Разработка комбинированных технологий, основанных на предварительной обработке ЭМП КНЧ в сочетании с другими методами дегидратации, может представлять собой перспективное направление для повышения эффективности и снижения энергоемкости процесса дегидратации кабачков [127].

Таким образом, для решения выявленных ключевых технологических вызовов, предлагается рассмотреть возможность применения электромагнитных полей низкой частоты (ЭМП КНЧ) в качестве предварительной обработки в процессе сушки [136]. Данная технология, по результатам предварительных исследований, демонстрирует потенциал для значительного повышения качества сушеной продукции (сохранение цвета, вкуса, питательных веществ), расширения рынков сбыта за счет увеличения срока хранения и улучшения потребительских свойств [31]. Применение электромагнитных полей (ЭМП) низкой частоты (КНЧ) в процессе сушки кабачков представляет собой относительно малоизученную, но многообещающую область в пищевой технологии, требующую дальнейших исследований для полной оценки ее потенциала и выявления оптимальных параметров обработки [15].

Сушка кабачков с применением ЭМП КНЧ требует тщательной оптимизации технологических параметров таких, как выбор оптимальной частоты и напряженности поля для достижения эффективной сушки и сохранения качества продукта [57], точного расчета продолжительности воздействия ЭМП КНЧ для обеспечения оптимального уровня удаления влаги без перегрева или повреждения продукта, использования более низкой температуры сушки, чем при СВЧ/РЧ, что может способствовать сохранению термолабильных веществ, а также применения предварительной обработки (органические кислоты) для усиления эффекта ЭМП КНЧ и улучшения качества сушеного продукта [57,129].

Преимуществами данной технологии являются возможность более равномерного нагрева по сравнению с СВЧ, потенциальное сохранение качества за счет более мягкого режима сушки, меньшие энергозатраты и возможность использования оборудования, менее сложного и дорогостоящего, чем для СВЧ/РЧ, а также потенциальное стерилизующее воздействие, требующее подтверждения [39]. К недостаткам относятся недостаточная изученность механизмов воздействия и оптимальных параметров, возможно, более длительное время сушки, чем при СВЧ/ питательных веществ, влияние на структуру и текстуру, а также на ограниченное количество патентов [16].

Можно отметить, что перспективы применения ЭМП КНЧ в сушке кабачков связаны с возможностью получения продукта с улучшенными качественными характеристиками, снижением энергозатрат и повышением эффективности процесса, а дальнейшие исследования должны быть направлены на изучение влияния различных частот и интенсивностей ЭМП КНЧ на скорость сушки [15], качество, и структуру кабачков, определение оптимальных параметров сушки для различных сортов кабачков, разработку эффективного и экономичного оборудования и анализ экономических аспектов и перспектив коммерциализации данной технологии [115,136].

Проведённый аналитический обзор литературы, позволил сформулировать гипотезу: предварительная обработка кабачков ЭМП КНЧ при определенных параметрах (частота, напряженность поля, продолжительность) в сочетании с последующей сушкой обеспечит улучшение качественных характеристик конечного продукта (цвет, текстура, сохранность питательных веществ) и интенсификацию процесса сушки, по сравнению с традиционными методами.

2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия» (ФГБНУ СКФНЦСВВ) и Краснодарского научно-исследовательского института хранения и переработки сельскохозяйственной продукции – филиала ФГБНУ СКФНЦСВВ.

Исследования проведены в период с 2022 по 2025 гг.

Объектами исследований являлись кабачки свежие сортов «Золотой телец» и «Самородок», гибридов «Ажур», «Барбаро», «Посол», «Монополист», «Кенар», «Хьюго», «Удача», выращенные в Краснодарском крае, Темрюкском районе, фермерским хозяйством А.Е. Ерохина (кабачки были собраны в период с 30 по 45 сутки после появления всходов); кабачки свежие, обработанные ЭМП КНЧ; кабачки свежие, нарезанные кружками толщиной 5 мм и кубиками размером 10×10×10 мм; кабачки сушеные, предварительно нарезанные кружочками толщиной 5 мм и кубиками размером 10×10×10 мм.

Предмет исследований – изучение влияния предварительной обработки кабачков свежих электромагнитными полями крайне низких частот (ЭМП КНЧ) на увеличение срока хранения свежих кабачков и влияние методов сушки на показатели качества сушеных кабачков.

Методики исследований

Исследования проводились в трехкратной повторности; отклонение между параллельными определениями допускалось не более 5 %. Математическую обработку экспериментальных данных проводили с использованием программ Microsoft Office Excel 2007 и SNEDECOR.

Отбор проб кабачков проводился стандартным методом, указанным в ГОСТ Р 56565-2015 [137].

Обработку ЭМП КНЧ кабачков свежих проводили с использованием экспериментальной лабораторной установки, разработанной в Краснодарском научно-исследовательском институте хранения и переработки сельскохозяйственной продукции (Патент РФ на изобретение №182572) [31], рисунок 3.



Рисунок 3 – Общий вид установки для обработки растительного сырья электромагнитными полями крайне низких частот

При этом частоту электромагнитного поля изменяли в диапазоне от 14 до 30 Гц, время обработки изменяли в диапазоне от 10 до 40 минут; электромагнитная индукция оставалась постоянной - 3 мТл.

Влияние предварительной обработки кабачков свежих ЭМП КНЧ на сроки их хранения определяли по динамике изменения микробиальной обсемененности их поверхности и физико-механических показателей. При этом убыль массы определяли путем взвешивания 12 отдельных плодов; твердость плодов - с помощью твердомера.

Характеристики ядерно-магнитной релаксации лецитина исследовали на модернизированном ЯМР-анализаторе АМВ-1006М (ВНИИМК, Россия), в основе работы которого лежит метод протонного магнитного резонанса. Для статистической обработки экспериментальных данных использовали пакет программ Statistica 12.0. Характеристиками ядерно-магнитной релаксации протонов компонент системы являются время спинспиновой релаксации $T2i$ (качественная характеристика) и амплитуда сигналов ЯМР Ai (количественная характеристика).

Начальная и конечная влажность образцов определялась термогравиметрическим методом, включающим высушивание образца до постоянной массы в соответствии с ГОСТ 28561-90 [138].

Содержание аскорбиновой кислоты (витамина С) определялось по С.М. Прокошеву [139].

Содержание сахаров определялось в соответствии с Феррицивнидным методом [140].

Микробиологические исследования проводили в соответствии с ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции», ГОСТ ISO 7218-2015, ГОСТ 31904-2012, ГОСТ 10444.12-2013, ГОСТ 10444.15-94, ГОСТ 26669-85, ГОСТ 26670-91 [10-15]. Определяли количество КМАФАнМ (мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов), плесеней [141-144].

Проводилась балльная органолептическая оценка согласно ГОСТ 34130-2017 «Фрукты и овощи сушёные. Методы испытаний» [145]. Проведение оценки органолептических показателей сушёных овощей затруднено тем фактом, что в ГОСТ 32065-2013 «Овощи сушёные. Общие технические условия» [146] дана только общая (неизмеримая) характеристика показателей. В связи с этим, были разработаны 5-балльные шкалы оценки.

Изучение влияния процесса сушки на показатели качества кабачков свежих проводили с помощью дегидрататора АВАТ ШС-32-2В-03, который обеспечивает конвективный нагрев и инфракрасной сушильной установки «Восток-16М», которая обеспечивает инфракрасный нагрев.

Для этого кабачки, нарезанные кружками (толщина 5 мм) и кубиком (10×10×10 мм), размещали на лотках в один слой. Сушку проводили при 45 °С, 50 °С, 55 °С, 60 °С. Через каждый час изымали лотки с образцами и взвешивали их. Процесс сушки осуществляли до достижения критической точки образцов, соответствующей количеству связанной влаги, свидетельствующей о завершении процесса сушки.

Исследования на наличие металлических и минеральных примесей проводились в соответствии с ГОСТ 34130-2017 «Сухофрукты и овощи. Методы испытаний» а также ТР ТС 021/2011. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» [147,141].

На рисунке 4 приведена структурная схема исследования.



Рисунок 4 – Структурная схема исследований

3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Обоснование выбора кабачков современной отечественной селекции в качестве исходного сырья для производства сушеных кабачков

Для обоснования выбора кабачков современной отечественной селекции в качестве исходного сырья для производства сушеных кабачков нами, наряду с требованиями, предъявляемыми ГОСТом Р 56565-2015 «Кабачки свежие для промышленной переработки» [148], сформулированы дополнительные требования, обеспечивающие минимальное количество отходов кабачков в результате их предварительной подготовки к сушке (таблица 2).

В таблице 1 приведены требования, предъявляемые ГОСТ Р 56565-2015 к качеству кабачков [148], а в таблице 2 – сформулированные нами дополнительные требования.

Таблица 1 - Требования к качеству кабачков свежих

Наименование показателя	Характеристика и норма
1	2
Внешний вид	Плоды в технической степени зрелости, свежие, целые, чистые, здоровые, не увядшие, с неогрубевшей кожицей, с плодоножкой, без излишней внешней влажности, механических повреждений, повреждений сельскохозяйственными вредителями и болезнями, типичной для ботанического сорта формы и окраски. Допускаются дефекты формы и окраски, незначительные поверхностные дефекты (легкая потертость, царапины и потемнение от нажимов без повреждения мякоти) общей площадью не более 10 %.
Запах и вкус	Свойственные данному ботаническому сорту без постороннего запаха и привкуса

Продолжение таблицы 1

1	2
---	---

Внутреннее строение	Мякоть сочная, плотная, без пустот и трещин, семенное гнездо с недоразвитыми белыми семенами
Массовая доля плодов неправильной формы, без плодоножки, %, не более	15,0
Наличие плодов увядших (сморщенных), заплесневевших, загнивших, запаренных, с грубой пожелтевшей кожицей с повреждением мякоти, %, не более	Не допускаются
Наличие плодов перезревших, с пустотами и трещинами	Не допускаются
Наличие растительной и минеральной примеси	Не допускаются
Наличие посторонней примеси	Не допускаются
Наличие сельскохозяйственных вредителей и продуктов их жизнедеятельности	Не допускаются

Таблица 2 - Дополнительные требования к качеству кабачков свежих

Наименование показателя	Характеристика и норма
Форма плода	Цилиндрическая
Размер плода по наибольшему поперечному диаметру, мм	от 40 до 60
Масса плода, г	от 200 до 400

Таким образом, кабачки, предназначенные для сушки, по качеству должны соответствовать следующим требованиям. Плоды должны быть свежими, целыми, чистыми, здоровыми, без механических повреждений и повреждений сельскохозяйственными вредителями и болезнями; без постороннего запаха и

вкуса; с плотной и сочной мякотью без пустот и трещин; с недоразвитыми белыми семенами.

Рекомендуется использовать кабачки цилиндрической формы, поскольку это обеспечит равномерную их нарезку и, как следствие, более равномерный процесс сушки.

Большое значение при сушке кабачков имеет использование сырья в стадии технической зрелости, которая определяется размером плода по наибольшему поперечному диаметру - от 40 до 60 мм, массой плодов - от 200 до 400 г, длиной плодов - около 15 см.

Для производства сушеных кабачков важно подобрать сорта и гибриды современной отечественной селекции, выращиваемые в Краснодарском крае, отвечающие требованиям к качеству, приведенным в таблицах 1 и 2.

В настоящее время на территории Краснодарского края выращиваются сорта и гибриды кабачков современной отечественной селекции, входящие в Государственный реестр селекционных достижений [149], перечень которых приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Сорта и гибриды кабачков, выращиваемые на территории Краснодарского края

Сорт/гибрид	Код сорта/гибрида	Год включения в реестр	Оригинатор
1	2	3	4
Сорт «Золотой телец»	8653950	2015	ООО Агрофирма «Аэлита», г. Москва
Сорт «Самородок»	8557911	2015	ООО Агрофирма «Аэлита», г. Москва
Гибрид «Ажур»	8456997	2017	ООО Агрофирма «Седек», Московская обл., г. Домодедово

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4
Гибрид «Барбаро»	8266102	2019	ООО «Нутритех Юг», Краснодарский край, г. Курганинск
Гибрид «Посол»	8057545	2022	ФГБНУ Федеральный исследовательский центр всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И.Вавилова г. Санкт-Петербург
Гибрид «Монополист»	8153478	2020	ООО Научно- производственная компания «Сембиотек», г. Москва
Гибрид «Кенар»	8654836	2015	ООО Научно- исследовательский институт селекции овощных культур, г. Москва
Гибрид «Хьюго»	8153296	2020	Блокин-Мечталин В.И., Куликов К.К., г. Москва
Гибрид «Удача»	8757290	2015	ООО Агрофирма «Седек», Московская обл., г. Домодедово

Выбор данных сортов и гибридов обусловлен их широким распространением в Краснодарском крае, что связано с комплексом ценных агробиологических признаков: устойчивостью к засухе и поражению сельскохозяйственными вредителями и болезнями, равномерным созреванием и высокой продуктивностью.

Кроме того, данные сорта и гибриды характеризуются повышенной устойчивостью к механическим повреждениям, что делает возможным использование механизированной уборки урожая, а также востребованностью у местных сельскохозяйственных производителей. В стадии технической зрелости плоды указанных в таблице 3 сортов и гибридов имеют аналогичные

морфологические признаки: цилиндрическую форму, сочную мякоть и недоразвитые семена эллиптической формы.

При обосновании выбора кабачков данных сортов и гибридов в качестве исходного сырья для производства сушеных кабачков необходимо учитывать и особенности их биохимического состава, а именно, содержание сухих веществ (влажности), что будет оказывать влияние на энергоэффективность процесса сушки кабачков, содержание редуцирующих сахаров, которые в процессе сушки будут оказывать влияние на органолептические показатели качества сушеных кабачков, в частности на их цвет, а также содержание витамина С для получения сушеных кабачков повышенной пищевой ценности.

Учитывая это, на следующем этапе определяли биохимический состав кабачков выбранных сортов и гибридов (таблица 4).

Таблица 4 – Физико-химический и биохимический состав кабачков

Сорт/гибрид	Содержание		
	сухих веществ, %	редуцирующих сахаров, %	витамина С, мг%
Сорт «Золотой телец»	8,0-8,5	3,0-3,5	20-25
Сорт «Самородок»	6,0-7,0	2,5-3,0	15-20
Гибрид «Ажур»	6,5-7,5	2,8-3,2	18-22
Гибрид «Барбаро»	7,0-8,0	3,0-3,4	22-26
Гибрид «Посол»	7,5-8,5	2,7-3,1	16-19
Гибрид «Монополист»	6,5-7,0	2,5-2,9	17-21
Гибрид «Кенар»	6,0-6,8	2,6-3,0	14-18
Гибрид «Хьюго»	7,0-7,5	2,8-3,2	19-23
Гибрид «Удача»	6,5-7,0	2,6-3,0	16-20

Анализ биохимического состава различных сортов и гибридов кабачков выявил различия в содержании сухих веществ [138], редуцирующих сахаров [140] и витамина С [139], что позволяет обоснованно выбрать конкретные сорта и гибриды для производства сушеной продукции.

Следует отметить, что гибрид «Барбаро» и сорт «Золотой телец» характеризуются таким сочетанием содержания сухих веществ, редуцирующих сахаров и витамина С, которое позволит не только снизить энергоемкость процесса сушки, но и обеспечит высокие органолептические показатели и пищевую ценность сушеных кабачков.

Так, содержание сухих веществ в гибриде «Барбаро» и сорте «Золотой телец» варьирует в пределах от 7,0 до 8,5 %, что указывает на пониженное содержание влаги и, соответственно, потенциальную энергоэффективность процесса сушки. Содержание редуцирующих сахаров варьирует в пределах от 3,0 до 3,5 %, что благоприятно скажется на формировании привлекательного цвета сушеного продукта. Содержание витамина С в пределах от 20 до 26 мг% обеспечит повышенную пищевую ценность готового продукта.

В таблице 5 приведены санитарно-гигиенические и микробиологические показатели безопасности кабачков гибрида «Барбаро» и сорта «Золотой телец», а также требования к указанным показателям, предъявляемые ТР ТС 021/2011.

Анализ санитарно-гигиенических и микробиологических показателей безопасности кабачков гибрида «Барбаро» и сорта «Золотой телец», представленных в таблице 5, показал, что кабачки по показателям безопасности соответствуют требованиям ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» [141].

Таким образом, на основании проведенных исследований осуществлен выбор кабачков гибрида «Барбаро» и сорта «Золотой телец» в качестве исходного сырья для производства сушеных кабачков.

Таблица 5 – Санитарно-гигиенические и микробиологические показатели безопасности кабачков гибрида «Барбаро» и сорта «Золотой телец»

Показатели безопасности	Значение показателя		Требования ТР ТС 021/2011
	гибрид «Барбаро»	сорт «Золотой телец»	
Санитарно-гигиенические показатели безопасности			
Токсичные элементы, мг/кг:			
свинец	0,04	0,04	не более 0,5
мышьяк	0,008	0,01	не более 0,2
кадмий	0,001	0,001	не более 0,03
ртуть	Отсутствует	Отсутствует	не более 0,02
Пестициды, мг/кг:			
ГХЦГ (α, β, γ – изомеры)	0,02	0,03	не более 0,5
ДДТ и его метаболиты	0,007	0,006	не более 0,1
Микробиологические показатели безопасности			
Патогенные микроорганизмы, в т.ч. сальмонеллы, в 25 г продукта	Отсутствуют	Отсутствуют	Не допускаются

Учитывая, что кабачки свежие технической степени зрелости имеют ограниченные сроки хранения, актуальной задачей является увеличение сроков их хранения.

В связи с этим, на следующем этапе исследования изучали влияние предварительной обработки кабачков свежих ЭМП КНЧ на увеличение сроков их хранения.

3.2 Исследование влияния предварительной обработки кабачков свежих ЭМП КНЧ на сроки их хранения

Согласно ГОСТ Р 56565-2015 [148], кабачки, собранные в технической степени зрелости, характеризуются ограниченным сроком хранения от 10 до 15 суток при рекомендованных условиях (температура +8...+10 °С, относительная влажность 90-95%), что обусловлено рядом взаимосвязанных факторов. Во-первых, высокое содержание воды в тканях плодов создает благоприятную среду для развития микроорганизмов, вызывающих гниение и порчу. Во-вторых, тонкая легко повреждаемая кожура, создает риск проникновения патогенной микрофлоры. В-третьих, относительно низкая плотность мякоти повышает ее восприимчивость к механическим повреждениям и гниению. И, наконец, в отличие от плодов биологической степени зрелости, кабачки технической зрелости еще не обладают сформированными механизмами защиты от патогенных микроорганизмов, что ограничивает возможность их более длительного хранения.

В связи с этим, на данном этапе исследования изучали влияние предварительной обработки кабачков свежих ЭМП КНЧ на сроки их хранения. Для этого изучали влияние предварительной обработки кабачков свежих ЭМП КНЧ на микробиальную обсемененность их поверхности и физико-механические показатели качества.

3.2.1 Исследование влияния предварительной обработки кабачков свежих ЭМП КНЧ на микробиальную обсемененность их поверхности

Исследования, проведённые ранее в КНИИХП - филиале ФГБНУ СКФНЦСВВ, позволили установить, что значение электромагнитной индукции, которое обеспечивает наилучшие результаты по снижению степени микробиальной обсеменённости овощей, является 3 мТл. С учётом этого, при обработке кабачков ЭМП КНЧ варьировали такие параметры, как частота электромагнитного поля и время обработки. При этом частоту ЭМП изменяли в

диапазоне от 14 до 30 Гц, продолжительность обработки изменяли в диапазоне от 10 до 40 минут; электромагнитная индукция оставалась постоянной (3 мТл).

На рисунке 5 приведены данные по снижению количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов на поверхности кабачков гибрида «Барбаро» в зависимости от частоты ЭМП и продолжительности обработки, а на рисунке 5 - сорта «Золотой телец».

Установлено, что с увеличением частоты ЭМП КНЧ от 14 до 30 Гц растёт энергия воздействия на микробные клетки, вызывая антимикробный эффект, что подтверждается снижением количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов на поверхности кабачков. Максимальное снижение степени мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов на поверхности кабачков гибрида «Барбаро» (41 %) достигается при частоте 24 Гц, а сорта «Золотой телец» (36 %) - 22 Гц. Дальнейшее увеличение частоты не оказывает влияния на степень снижения мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов на поверхности кабачков.

Кроме этого, увеличение продолжительности предварительной обработки кабачков ЭМП КНЧ также приводит к снижению мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов на поверхности кабачков. При этом максимальное снижение степени микробиальной обсеменённости на поверхности кабачков гибрида «Барбаро» наблюдается при продолжительности обработки 30-40 минут, а сорта «Золотой телец» - наблюдается при продолжительности обработки 20-30-40 минут.

В связи с тем, что увеличение продолжительности обработки до 40 минут не приводит к существенному снижению степени мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, с точки зрения энергоэффективности процесса оптимальной продолжительностью обработки ЭМП КНЧ следует считать 30 минут - для гибрида «Барбаро» и 20 минут - для сорта «Золотой телец».

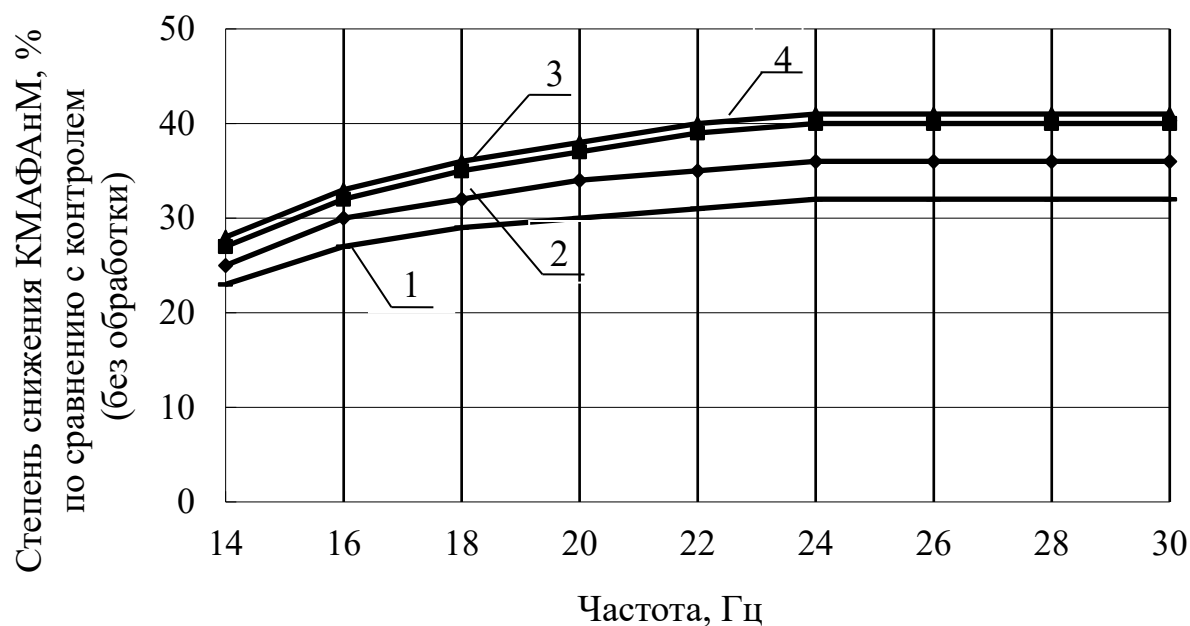


Рисунок 5 – Влияние предварительной обработки кабачков гибрида «Барбаро»

ЭМП КНЧ на снижение микробиальной обсеменённости их поверхности:

обработка в течение: 1 – 10 минут; 2 – 20 минут; 3 – 30 минут;

4 – 40 минут

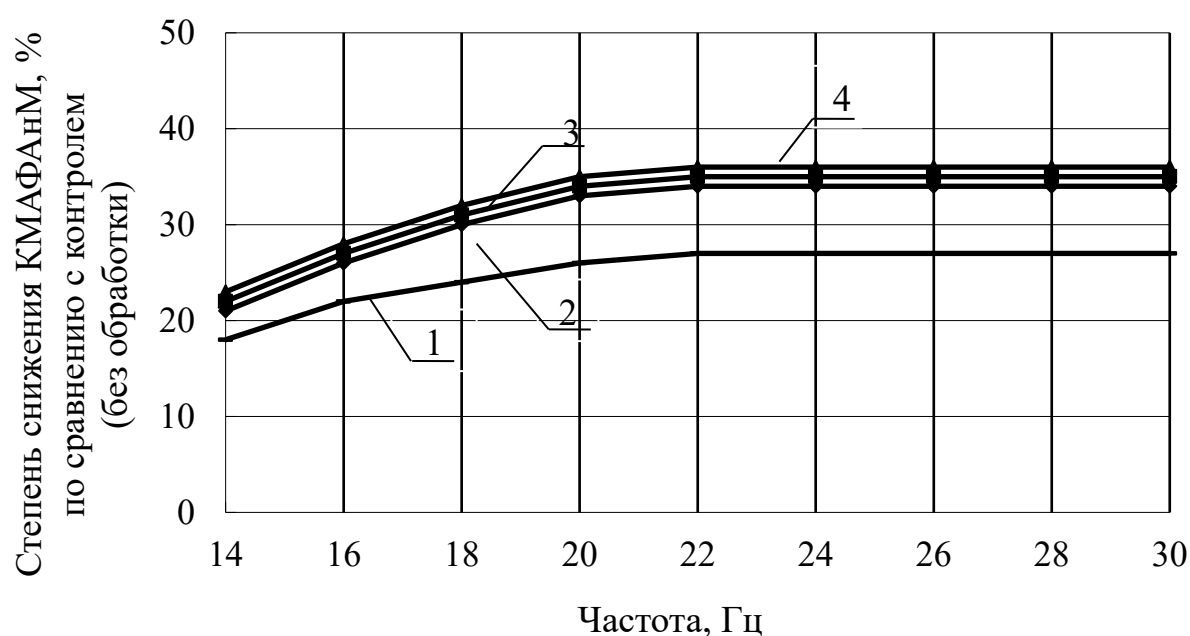


Рисунок 5– Влияние предварительной обработки кабачков сорта «Золотой телец»

ЭМП КНЧ на снижение микробиальной обсеменённости их поверхности:

обработка в течение: 1 – 10 минут; 2 – 20 минут; 3 – 30 минут;

4 – 40 минут

Различия в параметрах обработки ЭМП КНЧ (частоте и продолжительности) между гибридом «Барбаро» и сортом «Золотой телец», обусловлены различиями в структурно-механических свойствах поверхности плодов. Так как, гибрид «Барбаро» обладают более плотной, а значит устойчивой к внешним воздействиям поверхностью плода, по сравнению с сортом «Золотой телец», то для достижения сопоставимого антимикробного эффекта требуется более интенсивная обработка ЭМП КНЧ.

Учитывая полученные данные, в дальнейшем при исследовании влияния предварительной обработки кабачков гибрида «Барбаро» ЭМП КНЧ на изменение степени мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов на поверхности в процессе хранения обработку проводили при частоте поля 22 Гц, электромагнитной индукции 3 мТл и продолжительности обработки 30 минут, а сорта «Золотой телец» - при частоте поля 24 Гц, электромагнитной индукции 3 мТл и продолжительности обработки 20 минут. Контрольные образцы обработке не подвергали.

Кабачки гибрида «Барбаро» и сорта «Золотой телец» хранили при температуре $+8\pm 1$ °С и относительной влажности воздуха 90 ± 5 % в течение 20 суток. Отбор проб осуществляли через каждые 5 дней в течение всего срока хранения.

В таблице 6 приведены данные, характеризующие изменение количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов на поверхности кабачков гибрида «Барбаро» и сорта «Золотой телец» в процессе хранения.

Анализ динамики количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов [142-144], на поверхности кабачков гибрида «Барбаро» и сорта «Золотой телец» в процессе хранения выявил, что как в контрольных, так и в обработанных образцах в течение 20 суток хранения наблюдается прирост МАФАНМ. Однако, предварительная обработка ЭМП КНЧ оказала сдерживающее влияние на развитие микрофлоры. Динамика прироста

микроорганизмов в обработанных образцах была значительно ниже по сравнению с контрольными образцами.

Таблица 6 – Изменение микробиальной обсемененности поверхности кабачков в процессе хранения

Наименование показателя	Значение показателя для кабачков в процессе хранения, суток			
	0	10	15	20
Гибрид «Барбаро»				
Контроль (без обработки)				
КМАФАнМ, КОЕ/см ²	$3,8 \times 10^4$	$5,2 \times 10^4$	$5,8 \times 10^4$	$6,4 \times 10^4$
Обработанные образцы ЭМП КНЧ				
КМАФАнМ, КОЕ/см ²	$3,7 \times 10^4$	$4,4 \times 10^4$	$4,8 \times 10^4$	$5,1 \times 10^4$
Сорт «Золотой телец»				
Контроль (без обработки)				
КМАФАнМ, КОЕ/см ²	$4,1 \times 10^4$	$5,5 \times 10^4$	$6,3 \times 10^4$	$6,9 \times 10^4$
Обработанные образцы ЭМП КНЧ				
КМАФАнМ, КОЕ/см ²	$4,0 \times 10^4$	$4,6 \times 10^4$	$5,1 \times 10^4$	$5,5 \times 10^4$

Так, в контрольных образцах кабачков гибрида «Барбаро» прирост КМАФАнМ к 20-м суткам хранения составил 68,4 %, а в обработанных - 37,8 %.

В контрольных образцах кабачков сорта «Золотой телец» прирост КМАФАнМ к 20-м суткам хранения составил 68,3 %, а в обработанных – 37,5 %.

Установлено, что предварительная обработка кабачков гибрида «Барбаро» и сорта «Золотой телец» ЭМП КНЧ существенно снижает скорость развития количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов в процессе хранения, что свидетельствует о потенциальном увеличении сроков их хранения.

Следует отметить, что эффективность предварительной обработки ЭМП КНЧ несколько различается у гибрида «Барбаро» и сорта «Золотой телец». Это объясняется особенностями структуры клеточных стенок кожицы плодов кабачков (размером, формой, толщиной), а также интенсивностью метаболических процессов, протекающих в тканях в процессе хранения.

Электромагнитное поле, вызывая поляризацию клеточных мембран микроорганизмов, нарушает их проницаемость и ионный баланс, что приводит к дестабилизации метаболических процессов и к подавлению роста микрофлоры. Указанные различия обуславливают и разную эффективность воздействия ЭМП КНЧ на гибрид и сорт.

В таблице 7 приведены фотографии выросших колоний мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов на 20 сутки хранения, полученных в результате смывов с поверхности исследуемых образцов кабачков [142-144].

Таблица 7 - Колонии мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, полученных в результате смывов с поверхности кабачков, на 20 сутки хранения

Образец	Сорт/гибрид кабачков	
	гибрид «Барбаро»	сорт «Золотой телец»
Контрольный		
Обработанный		

Идентификация микроорганизмов на поверхности кабачков показала преобладание в их составе бактерий родов *Pseudomonas* и *Erwinia*. При этом, на поверхности кабачков как гибрида «Барбаро», так и сорта «Золотой телец», предварительно обработанных ЭМП КНЧ, количество бактерий значительно ниже, чем на поверхности контрольных образцов, что говорит об эффективности применения предварительной обработки кабачков ЭМП КНЧ.

3.2.2 Исследование влияния предварительной обработки кабачков свежих ЭМП КНЧ на их физико-механические показатели в процессе хранения

Для исследования влияния предварительной обработки кабачков ЭМП КНЧ на сроки их хранения было проведено исследование динамики изменения физико-механических показателей кабачков в процессе хранения. В частности, оценивались масса и твердость плодов.

В таблице 8 приведены данные по влиянию предварительной обработки кабачков ЭМП КНЧ на изменение их физико-механических показателей в процессе хранения.

Таблица 8 - Влияние предварительной обработки кабачков гибрида «Барбаро» и сорта «Золотой телец» ЭМП КНЧ на изменение их физико-механических показателей в процессе хранения

Наименование показателя	Значение показателя							
	контрольный				обработанный ЭМП КНЧ			
	срок хранения, сутки							
	0	10	15	20	0	10	15	20
гибрид «Барбаро»								
Масса плода, г	350,0	345,5	332,5	295,1	355,4	345,8	339,9	337,6
Убыль массы плода, %	-	1,3	5,0	15,7	-	2,7	4,4	5,0
Твердость плода, кг/см ²	4,4	4,9	5,4	6,2	4,4	4,8	5,2	5,4
Увеличение твердости плода, %	-	11,4	22,7	40,9	-	9,1	18,2	22,7
сорт «Золотой телец»								
Масса плода, г	400,0	385,5	372,0	337,6	422,0	411,2	400,5	392,5
Убыль массы плода, %	-	3,6	7,0	15,6	-	2,6	5,1	7,0
Твердость плода, кг/см ²	4,5	5,6	6,2	7,4	4,4	5,0	5,6	6,1
Увеличение твердости плода, %	-	24,4	37,8	64,4	-	13,6	27,3	38,6

Установлено, что в контрольных образцах кабачков в течение 15 суток хранения наблюдалась постепенная убыль массы плодов, которая составила 5 % для гибрида «Барбаро» и 7 % для сорта «Золотой телец». На 20-е сутки хранения убыль массы плодов резко увеличилась и составила 15,7 % (гибрид «Барбаро») и 15,6 % (сорт «Золотой телец»), что говорит о нецелесообразности хранения кабачков более 15 суток.

В обработанных образцах кабачков гибрида «Барбаро» и сорта «Золотой телец» ЭМП КНЧ убыль массы плодов происходила более равномерно в течение всего периода хранения и на 20-е сутки составила 5 % для гибрида «Барбаро» и 7 % для сорта «Золотой телец», что соответствует полученному значению убыли массы на 15 суток хранения для контрольных образцов.

Также установлено, что в процессе хранения кабачков как гибрида «Барбаро», так и сорта «Золотой телец» наблюдается увеличение твердости кожицы плодов, что отражает прогрессирующую дегидратацию тканей. Причем в контрольных образцах в течение 15 суток хранения увеличение составило 22,7 % для гибрида «Барбаро» и 37,8 % для сорта «Золотой телец». На 20-е сутки хранения плотность кожицы плодов резко увеличилась и составила 40,9 % (гибрид «Барбаро») и 64,4 % (сорт «Золотой телец»), что также подтверждает нецелесообразность хранения кабачков более 15 суток.

В обработанных образцах кабачков гибрида «Барбаро» и сорта «Золотой телец» ЭМП КНЧ увеличение твердости кожицы плодов происходило более равномерно в течение всего периода хранения и на 20-е сутки составило 22,7 % - гибрид «Барбаро» и 38,6 % - сорт «Золотой телец», что соответствует полученному значению увеличения твердости кожицы плодов на 15 суток хранения для контрольных образцов.

В таблице 9 приведены рекомендуемые режимы обработки ЭМП КНЧ кабачков свежих.

Таблица 9 - Рекомендуемые режимы обработки ЭМП КНЧ кабачков свежих

Сорт/гибрид	Частота поля, Гц	Электромагнитная индукция, мТл	Продолжительность обработки, мин	Срок хранения, дней
Гибрид «Барбаро»	22	3	30	20
Сорт «Золотой телец»	24	3	20	20

Таким образом, предварительная обработка кабачков гибрида «Барбаро» и сорта «Золотой телец» при установленных режимах ЭМП КНЧ обеспечивает снижение убыли массы и твердости плодов, что позволяет увеличить срок их хранения на 5 суток.

3.3 Исследование влияния различных методов сушки кабачков на показатели качества сушеных кабачков

Кабачки свежие – высоковлажное растительное сырье, характеризующееся ограниченным сроком хранения. Одним из перспективных способов переработки и консервирования кабачков, позволяющим в значительной степени продлить срок их хранения является сушка. Изменения, протекающие в процессе сушки, обусловлены увеличением концентрации сухих веществ по мере удаления влаги, что исключает возможность протекания микробиологических и биохимических процессов, обеспечивая сохранение их в течение длительного времени без порчи. В высушенном сырье, вследствие значительного повышения концентрации клеточного сока, все обменные процессы микроорганизмов нарушаются, они теряют способность использовать растворенные в соке сахара и другие вещества для поддержания своей жизнедеятельности [136].

Сушка является технологическим процессом, при проведении которого должны быть сохранены первоначальные свойства исходного сырья. При этом в кабачках сушеных важно сохранить содержащиеся в них витамины, а именно, витамин С, а также не допустить их потемнение, которое является следствием

реакции меланоидинообразования. Важно учитывать, что на интенсивность протекание реакций, обуславливающих потемнение кабачков при сушке, влияют температурный режим и длительность процесса сушки.

Учитывая технологические свойства кабачков, которые необходимо сохранить при сушке, важно подобрать такие методы сушки, воздействие которых обеспечит сохранение их пищевой ценности и органолептических показателей.

Для сохранения витамина С и цвета кабачков в процессе сушки предпочтительными методами являются конвективная и инфракрасная сушки.

Конвективная сушка, основанная на передаче тепла от нагретого воздуха к продукту, обеспечивает относительно равномерное удаление влаги, что снижает локальные перегревы и тем самым минимизирует разрушение термолабильного витамина С. Кроме того, контроль температуры и скорости воздушного потока позволяет регулировать интенсивность процесса, предотвращая нежелательные реакции потемнения, которые могут ухудшить цвет сушеных кабачков.

Инфракрасная сушка, в свою очередь, использует электромагнитное излучение для непосредственного нагрева продукта, что обеспечивает более быстрое и эффективное удаление влаги по сравнению с конвективной сушкой. Благодаря сокращению продолжительности сушки, инфракрасная сушка способствует лучшему сохранению содержания витамина С, поскольку сокращается продолжительность температурного воздействия на витамин С. Более того, инфракрасное излучение может способствовать фиксации цвета кабачков, предотвращая его потемнение, поскольку поверхностное высыхание происходит быстрее, что препятствует развитию ферментативных реакций, ответственных за изменение цвета.

К тому же, важным фактором при выборе методов сушки кабачков является минимизация энергетических затрат. Современные конвективные сушилки оснащаются системами рекуперации тепла, что позволяет значительно снизить энергопотребление. Инфракрасная сушка, в свою очередь, также характеризуется высокой энергоэффективностью, поскольку энергия излучения направляется непосредственно на продукт, минуя стадию нагрева промежуточного

теплоносителя. Это позволяет сократить продолжительность сушки и снизить общие энергетические затраты.

Таким образом, как конвективная, так и инфракрасная сушки, при правильно подобранных режимах сушки, позволяют сохранить биологически активные вещества в высушенном продукте и обеспечить его привлекательный внешний вид.

В связи с этим, на данном этапе исследования осуществляли сравнительный анализ влияния методов сушки (конвективной и инфракрасной) кабачков на продолжительность процесса сушки и качество сушеных кабачков.

3.3.1 Исследование влияния различных методов сушки на продолжительность процесса сушки

На энергоэффективность процесса сушки и качество сушеных кабачков непосредственное влияние оказывает скорость удаления влаги при сушке, которая зависит от ряда параметров: влажности исходного сырья, метода сушки, температуры сушильного агента и многих других. Поэтому важным этапом является определение продолжительности сушки, обеспечивающей требуемое количество влаги в конечном продукте, сохранение его показателей качества и предотвращение микробиологической порчи.

Помимо внешних факторов, определяющих скорость сушки, значение имеет и внутреннее состояние влаги в продукте. Для оптимизации процесса сушки необходимо понимать, в какой форме влага связана с тканями кабачка. В связи с этим, практический интерес представляет исследование форм связи влаги, содержащейся в кабачках, методом измерения ядерно-релаксационных характеристик.

Измерения ЯМ-релаксационных характеристик кабачков осуществляли на ЯМР-анализаторе при температуре 23 °С.

В таблице 10 приведены данные, характеризующие формы связи влаги в кабачках гибрида «Барбаро» и сорта «Золотой телец».

Таблица 10 – Формы связи влаги в кабачках свежих

Образец	Время спин-спиновой релаксации компонент протонов воды T_{2i} , мс		Амплитуда сигналов ЯМР компонент протонов воды A_i , % от суммы амплитуд	
	T_{21} (связанная влага)	T_{22} (свободная влага)	A_1 (связанная влага)	A_2 (свободная влага)
Гибрид «Барбаро»	84	902	10	90
Сорт «Золотой телец»	69	911	8	92

В результате обработки сигналов ЯМ-релаксации протонов воды, содержащейся в кабачках, установлено, что протоны воды содержат две компоненты, отличающиеся значением времени спин-спиновой релаксации T_{2i} – протонами воды, находящимися в кабачках в связанном состоянии, с временем спин-спиновой релаксации T_{21} , равном от 69 до 84 мс, и протонами воды, находящейся в кабачках в свободном состоянии с временем спин-спиновой релаксации T_{22} , равном от 902 до 911 мс.

Таким образом, влага в кабачках гибрида «Барбаро» и сорта «Золотой телец» содержится преимущественно в свободном состоянии. Учитывая влажность кабачков гибрида «Барбаро» и сорта «Золотой телец» - 92 % и 91,5 %, соответственно, установлено, что в гибриде «Барбаро» 82,8 % влаги находится в свободном состоянии, а остальная часть влаги (9,2 %) – в связанном состоянии, а в сорте «Золотой телец» - 84,2 % - в свободном состоянии, а 7,3 % - в связанном состоянии.

Таким образом, удалив полностью свободную влагу в кабачках гибрида «Барбаро» и сорта «Золотой телец», массовая доля влаги в сушеных кабачках будет соответствовать требованиям ГОСТ Р (не более 14 %).

Для исследования влияния различных методов сушки на продолжительность процесса сушки были выбраны два типа оборудования:

- конвективная сушилка (дегидратор) с принудительным горизонтальным обдувом и вращением поддонов;

- инфракрасная сушилка с регулируемой мощностью излучения и длиной волны, обеспечивающая бесконтактный нагрев материала.

Форма и размер нарезки овощей играют важную роль в оптимизации процесса сушки, поскольку оказывают непосредственное влияние на скорость влагоудаления, а также сохранение питательных веществ и привлекательного внешнего вида готового продукта. В связи с этим были рассмотрены широко используемые в пищевой промышленности формы нарезки: кружки, соломка, кубики и пластины. Причем кружки были рассмотрены толщиной 3, 5 и 7 мм; соломка с сечением 3×3 мм, 5×5 мм, 7×7 мм; кубики с ребром 5, 10 и 15 мм; пластины толщиной 2 мм 3 мм.

При выборе формы нарезки мы учитывали два параметра, которые являются определяющими в процессе сушки:

1) Отношение площади поверхности к объему (S/V). Данный параметр характеризует интенсивность испарения влаги с поверхности материала. Причем чем выше S/V , тем больше площадь поверхности, с которой происходит испарение, и тем быстрее происходит сушка.

2) Эффективное расстояние диффузии влаги (L). Данный параметр определяет протяженность пути, который влага должна преодолеть от центра к поверхности. Уменьшение размера нарезки приводит к сокращению пути диффузии влаги и, как следствие, к ускорению процесса сушки.

Расчетные значения отношения площади поверхности к объему (S/V) и ориентировочные значения эффективного расстояния диффузии влаги (L) для различных форм и размеров нарезки представлены в таблице 11.

Анализ формы нарезки кружочками, представленной в таблице 11, показал, что кружки толщиной 3 мм характеризуется наибольшим значением S/V ($0,78 \text{ мм}^{-1}$), что теоретически обуславливает максимальную скорость сушки. Однако, при такой толщине, существует повышенный риск деформации и слипания отдельных кружочков, что может негативно сказаться на качестве готового продукта.

Таблица 11 - Геометрические характеристики различных форм нарезки

Форма нарезки	Расчетная формула	Геометрические параметры, мм	Коэффициент S/V , мм^{-1}	L^* , мм
Кружки	$S/V = 2/h + 2/r$, где r – радиус кружка, h – толщина кружка	$h = 3$; $r = 17,5$	0,78	1,5
		$h = 5$; $r = 17,5$	0,51	2,5
		$h = 7$; $r = 17,5$	0,40	3,5
Соломка	$S/V = 2(1/a + 1/b)$, где a, b – стороны сечения	$a \times b = 3 \times 3$	1,33	1,5
		$a \times b = 5 \times 5$	0,80	2,5
		$a \times b = 7 \times 7$	0,57	3,5
Кубики	$S/V = 6/d$, где d – длина ребра	$d = 5$	1,20	2,5
		$d = 10$	0,60	5,0
		$d = 15$	0,40	7,5
Пластины	$S/V \approx 2/h$, где h – толщина пластины	$h = 2$	1,00	1,0
		$h = 1$	2,00	0,5

*значения являются ориентировочными, и представляют собой, половину толщины или ребра

Кружки толщиной 7 мм, напротив, демонстрируют наименьшее значение S/V (0,40 мм^{-1}), что предполагает наименьшую скорость сушки, а как следствие, наибольшую продолжительность процесса. При этом кабачки способны лучше сохранить форму, однако увеличивается риск неполного высушивания в геометрическом центре. Кружки толщиной 5 мм характеризуется средним значением S/V (0,51 мм^{-1}), что обеспечивает оптимальный баланс между скоростью процесса сушки и сохранением качества готового продукта. При этом, продолжительность сушки, по сравнению с кружочками толщиной 7 мм, сокращается примерно на 27,5 %.

Анализ формы нарезки «соломка», представленной в таблице 11, демонстрирует, что изменение размеров сечения ($a \times b$) оказывает существенное влияние на значения S/V и L . Соломка с сечением 3×3 мм характеризуется наибольшим значением S/V (1,33 мм^{-1}), что теоретически обуславливает максимальную скорость сушки. Однако, такая форма нарезки, в силу малых размеров, может быть подвержена деформации и слипанию в процессе сушки, что

негативно отразится на качестве конечного продукта. Кроме того, малые размеры поперечного сечения увеличивают риск пересушивания краев. Соломка с сечением 7×7 мм, напротив, характеризуется наименьшим значением S/V ($0,57 \text{ мм}^{-1}$), что предполагает наименьшую скорость сушки, но в то же время способствует лучшему сохранению формы. Тем не менее, существенное увеличение эффективного расстояния диффузии влаги ($L=3,5$ мм) может привести к увеличению продолжительности процесса и риску неполного высушивания в центральных областях. Соломка с сечением 5×5 мм, в свою очередь, представляет собой компромисс, характеризуясь умеренным значением S/V ($0,80 \text{ мм}^{-1}$) и L ($2,5$ мм), что, вероятно, обеспечивает оптимальное сочетание скорости сушки, сохранения формы и равномерности высушивания.

Анализ формы нарезки «кубики», представленной в таблице 11, показывает, что размер ребра d оказывает существенное влияние на параметры сушки. Кубики с ребром 5 мм характеризуются наибольшим значением S/V ($1,20 \text{ мм}^{-1}$), что теоретически обуславливает максимальную скорость сушки. Однако, при малом размере ребра повышается риск пересушивания поверхности и краев кубиков, что негативно скажется на органолептических свойствах готового продукта. Кубики с ребром 15 мм, напротив, демонстрируют наименьшее значение S/V ($0,40 \text{ мм}^{-1}$), что предполагает наименьшую скорость сушки и, как следствие, наибольшую продолжительность процесса. При этом, увеличение размера ребра увеличивает расстояние диффузии влаги (L), что повышает риск неполного высушивания внутренних слоев кубика. Кубики с ребром 10 мм характеризуются средним значением S/V ($0,60 \text{ мм}^{-1}$), обеспечивая, таким образом, оптимальный баланс между скоростью сушки, равномерностью высушивания и сохранением качества готового продукта.

Анализ формы нарезки «пластины», представленной в таблице 11, показывает, что изменение толщины h оказывает существенное влияние на параметры сушки. Пластины толщиной 1 мм характеризуются наибольшим значением S/V ($2,00 \text{ мм}^{-1}$), что теоретически обуславливает максимальную скорость сушки. Однако, такая форма нарезки, в силу минимальной толщины и,

следовательно, малого значения L , обладает повышенной хрупкостью и склонностью к деформации в процессе сушки. Также, значительное увеличение S/V приводит к быстрому пересыханию поверхности, что может негативно сказаться на качестве продукта. Пластины толщиной 2 мм, напротив, характеризуются меньшим значением S/V ($1,00 \text{ мм}^{-1}$), что снижает скорость сушки, но обеспечивает большую структурную целостность и меньшую склонность к деформации. Тем не менее, даже при толщине 2 мм, тонкие пластины остаются достаточно хрупкими и требуют особого внимания при проведении процесса сушки.

На основании анализа различных форм нарезки, представленных в таблице 11, в качестве основных объектов исследования были выбраны «кубики» и «кружки». Данный выбор обусловлен следующими соображениями: во-первых, «кубики» и «кружки» позволяют охватить широкий, но при этом сопоставимый диапазон значений отношения площади поверхности к объему (S/V) и эффективного расстояния диффузии влаги (L), что обеспечивает возможность проведения корректного сравнительного анализа влияния данных параметров на кинетику сушки; в частности, кубики с ребром 15 мм и кружки толщиной 7 мм характеризуются близкими значениями S/V ($0,40 \text{ мм}^{-1}$), но разными значениями L (7,5 мм и 3,5 мм, соответственно), что позволяет оценить вклад параметра L при сопоставимой интенсивности испарения с поверхности. Во-вторых, в отличие от «пластин», которые обладают повышенной хрупкостью и склонностью к деформации, «кубики» и «кружки» обеспечивают достаточную структурную целостность, что упрощает процесс сушки и снижает риск потери товарного вида продукта. В-третьих, в отличие от «соломки», которая имеет тенденцию к спутыванию и слипанию в процессе сушки, «кубики» и «кружки» сохраняют свою индивидуальную форму, что способствует более равномерному высушиванию и предотвращает образование комков. В-четвертых, минимизируется риск пересушивания, так как наибольшее значение S/V имеют «соломка» с размером $a \times b = 3 \times 3 \text{ мм}$ ($1,33 \text{ мм}^{-1}$) и «пластины» толщиной 1 мм ($2,00 \text{ мм}^{-1}$), в данном случае повышается риск пересушивания и затвердевания поверхностного слоя, а

внутренняя часть продукта не успевает отдать влагу, таким образом, продукт получается неравномерно высушенным. В-пятых, «кубики» и «кружки» являются распространенными формами нарезки в пищевой промышленности, что делает результаты исследований более применимыми на практике. Таким образом, выбор «кубиков» и «кружков» обусловлен стремлением обеспечить широкий диапазон варьирования ключевых параметров сушки (S/V и L) при сохранении технологической пригодности и обеспечении высокого качества готового продукта.

Была изучена кинетика конвективной и инфракрасной сушки кабачков, представленная в виде кривых сушки (зависимости массовой доли влаги от продолжительности сушки), нарезанных кружками толщиной 5 мм и кубиками размером $10 \times 10 \times 10$ мм. Температура воздуха при входе в рабочую камеру составляла 45, 50, 55, 60 °C.

На рисунке 7 приведены кривые сушки конвективным нагревом кабачков гибрида «Барбаро», нарезанных кубиками, а на рисунке 8 – нарезанных кружками.

Результаты показали, что в процессе конвективной сушки кабачки проходят два основных этапа. На первом этапе, в течение первых 60 минут, наблюдается незначительное снижение влажности (до 10 %). Это связано с тем, что энергия затрачивается преимущественно на нагрев продукта, а не на испарение влаги. Кривая сушки на этом участке имеет вид пологой кривой.

После прогрева начинается второй этап – активное удаление свободной влаги с поверхности кабачков. На данном этапе скорость сушки практически постоянна, а линия на графике близка к прямой. Удаление влаги продолжается до достижения критической влажности, соответствующей 9,2 % - для гибрида «Барбаро» и 7,3 % - для сорта «Золотой телец».

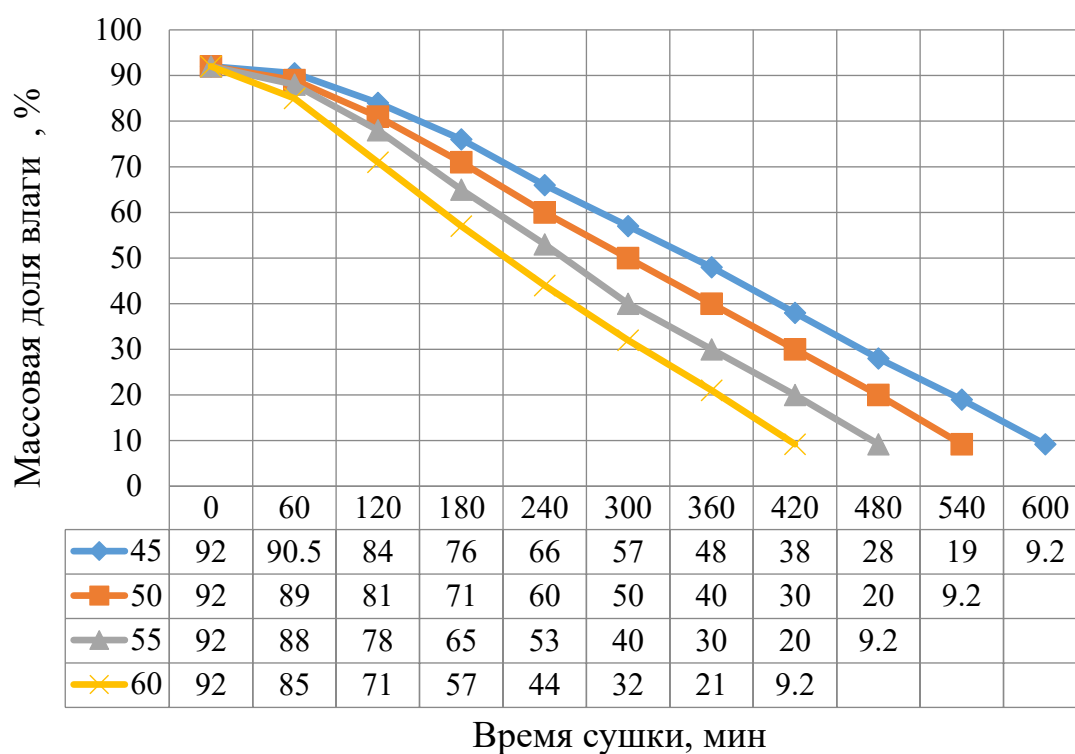


Рисунок 7 – Кривые сушки конвективным нагревом кабачков гибрида «Барбаро», нарезанных кубиками

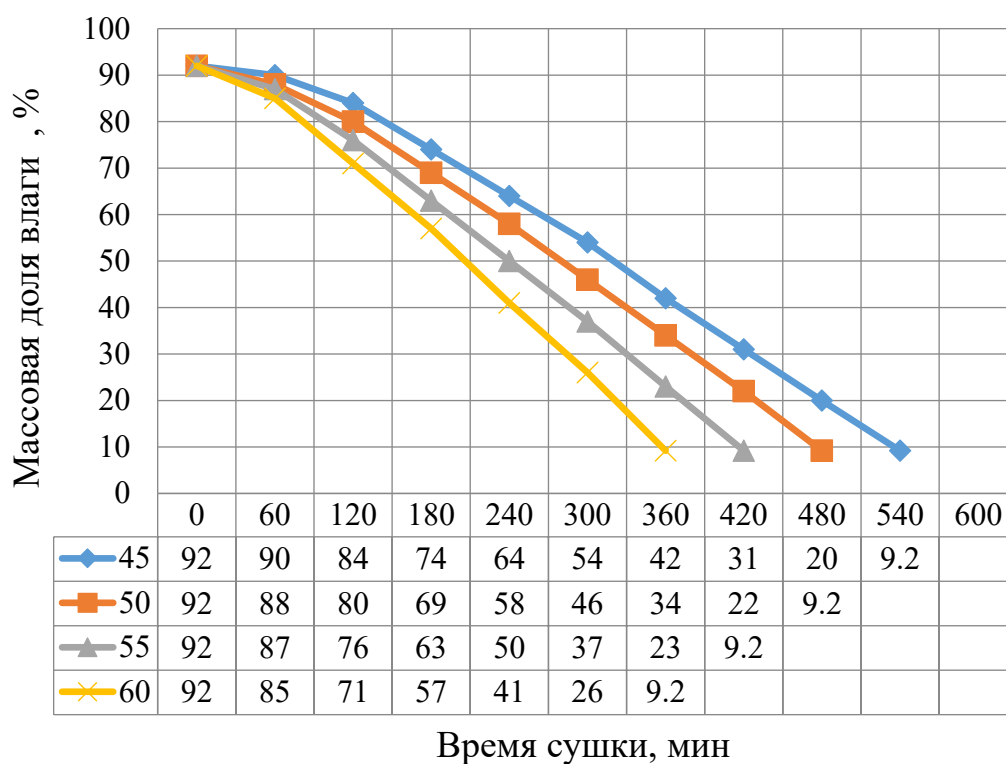


Рисунок 8 – Кривые сушки конвективным нагревом кабачков гибрида «Барбаро», нарезанных кружками

После достижения критической влажности дальнейшая сушка нецелесообразна из-за риска пересушивания и потемнения кабачков.

Анализ кривых сушки конвективным нагревом кабачков гибрида «Барбаро» показал, что повышение температуры воздуха при входе в рабочую камеру приводит к ускорению процесса сушки. Это проявляется в более крутом наклоне кривой на этапе постоянной скорости сушки и в более быстром достижении критической влажности.

Так, при температуре воздуха на входе в рабочую камеру равной 45 °С, время достижения критической влажности кабачками, нарезанных кубиками, составляет 600 мин, а нарезанных кружками - 540 мин, при температуре 50 °С - 540 мин (нарезанных кубиками) и 480 мин (нарезанных кружками), при температуре 55 °С - 480 мин (нарезанных кубиками) и 420 мин (нарезанных кружками), при температуре 60 °С - 420 мин (нарезанных кубиками) и 360 мин (нарезанных кружками).

Важно отметить, что на продолжительность процесса сушки влияет и форма нарезки кабачков. Так, кабачки, нарезанные кружками, достигают критической влажности на 1 час быстрее, чем, нарезанные кубиками, вследствие того, что площадь поверхности у них больше, соответственно обеспечивается более интенсивный контакт с сушильным агентом, что ускоряет испарение влаги.

Также, необходимо отметить, что в течение первых 180 минут сушки, независимо от формы нарезки кабачков, наблюдается самая высокая скорость сушки (значительное снижение влажности), которая позволяет быстро удалить основную часть влаги из продукта. Особенно этот процесс явно наблюдается при температуре 60 °С. Однако, при дальнейшем увеличении продолжительности сушки, скорость сушки замедляется и возрастает риск перегрева, подгорания или ухудшения качества продукта (изменение цвета).

При более низкой температуре (55 °С) скорость сушки на начальном этапе немного ниже, чем при 60 °С. Однако, скорость сушки более стабильна во времени, и продукт не подвергается такому интенсивному воздействию высокой

температуры. Это позволяет более равномерно удалить остаточную влагу и сохранить качество продукта.

На рисунке 9 приведены кривые сушки инфракрасным нагревом кабачков гибрида «Барбаро», нарезанных кубиками, а на рисунке 10 – нарезанных кружочками.

Установлено, что, в отличие от кривых сушки конвективным нагревом, у которых первый этап сушки занимает 60 мин, у кривых сушки инфракрасным нагревом первый этап сушки занимает до 15 минут, так как инфракрасные лучи напрямую нагревают продукт, минуя этап прогрева воздуха и энергия поглощается водой в поверхностных слоях кабачков. При этом наблюдается высокая скорость сушки. Кривая сушки резко падает, в отличие от полого участка при конвективной сушке. Влажность в этот период снижается уже на 15-20 %.

На втором этапе сушки ИК-лучи проникают вглубь кабачков, удаляя влагу из внутренних слоев. Скорость сушки постепенно снижается, но остается стабильной благодаря прямому воздействию на молекулы воды, происходит равномерное удаление оставшейся свободной влаги. Критическая влажность достигается быстрее на 30-40 %, чем при конвективной сушке. Это приводит к интенсивному испарению влаги и сокращению продолжительности процесса сушки.

Так, при температуре сушки 45 °С время достижения критической влажности кабачками, нарезанных кубиками, составляет 420 мин, а нарезанных кружочками - 360 мин, при температуре 50 °С - 360 мин (нарезанных кубиками) и 300 мин (нарезанных кружочками), при температуре 55 °С - 300 мин (нарезанных кубиками) и 240 мин (нарезанных кружочками), при температуре 60 °С - 240 мин (нарезанных кубиками) и 180 мин (нарезанными кружочками).

Таким образом, инфракрасная сушка обеспечивает более быстрое удаление влаги из кабачков гибрида «Барбаро» по сравнению с конвективной сушкой, что позволяет сократить продолжительность процесса сушки кабачков:

- нарезанных кубиками: с 420-600 мин (конвективная) до 240-420 мин (ИК);
- нарезанных кружками: с 360-540 мин (конвективная) до 180-360 мин (ИК).

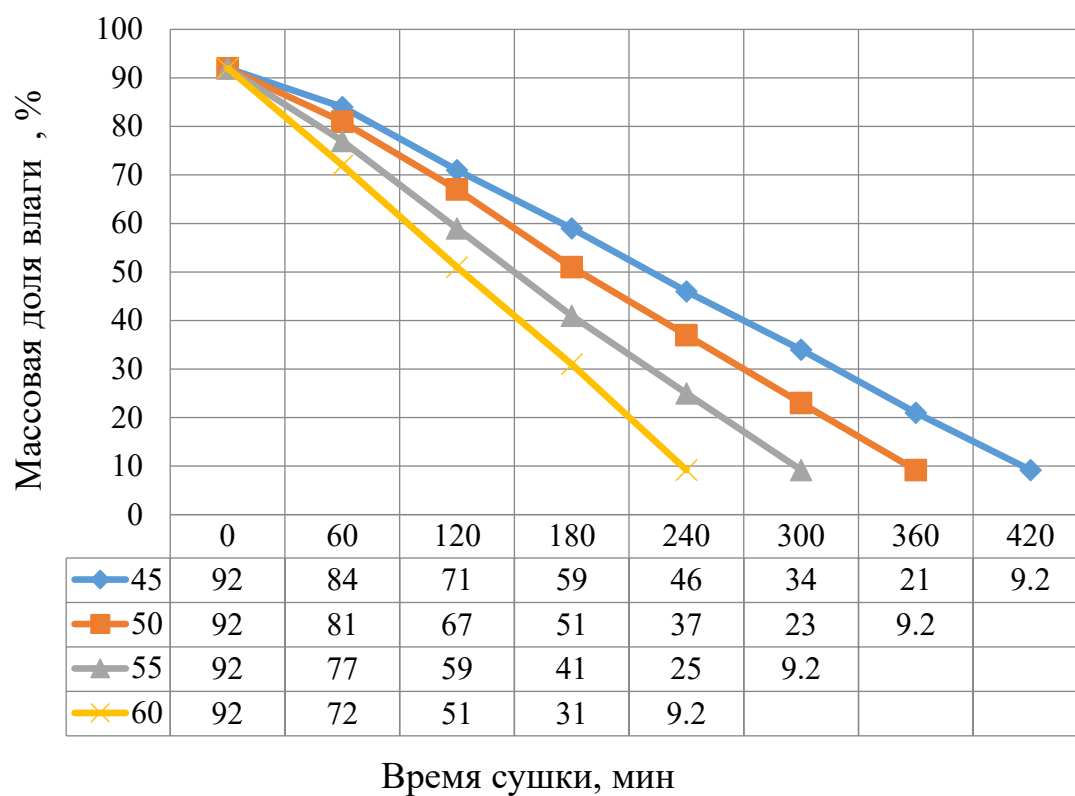


Рисунок 9 – Кривые сушки инфракрасным нагревом кабачков гибрида «Барбаро», нарезанных кубиками

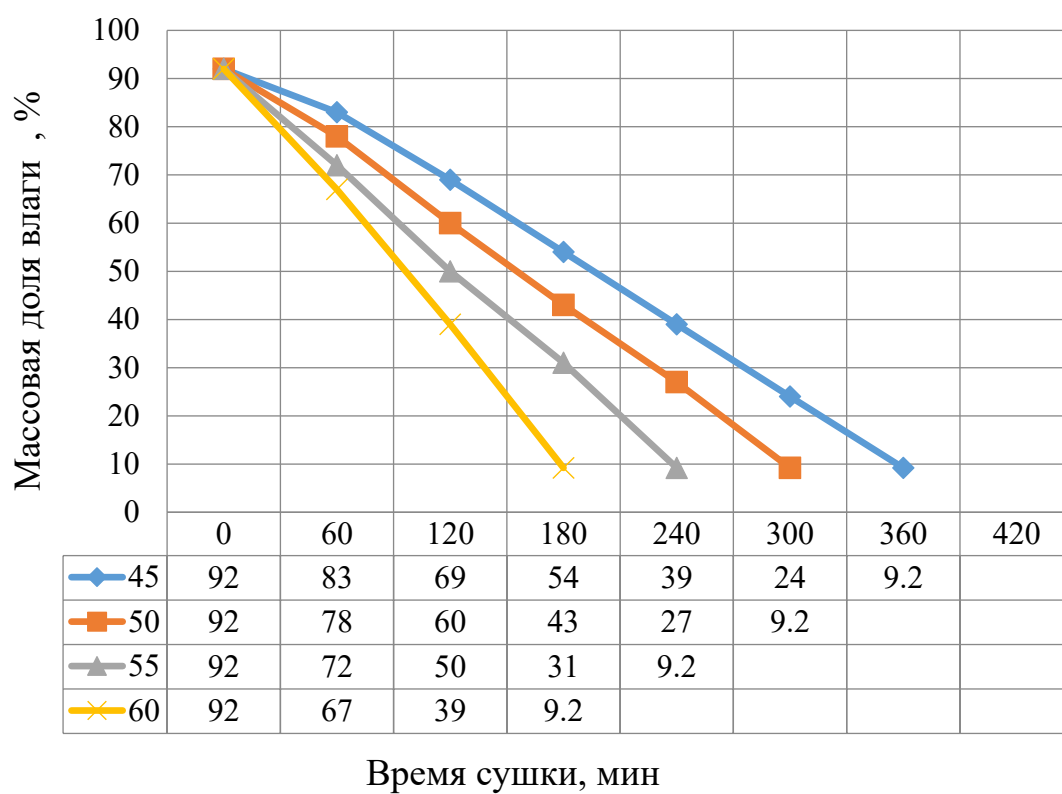


Рисунок 10 – Кривые сушки инфракрасным нагревом кабачков гибрида «Барбаро», нарезанных кружками

Также была изучена кинетика конвективной и инфракрасной сушки кабачков сорта «Золотой телец», нарезанных кружками толщиной 5 мм и кубиками размером $10 \times 10 \times 10$ мм. В отличие от гибрида «Барбаро» критическая влажность у сорта «Золотой телец» составляет 7,3 %, что соответствует количеству связанной влаги.

На рисунке 11 приведены кривые сушки конвективным нагревом кабачков сорта «Золотой телец», нарезанных кубиками, а на рисунке 12 – нарезанных кружками.

Установлены аналогичные гибриду «Барбаро» зависимости и прохождения процесса сушки в два этапа. Однако, необходимо заметить, что время достижения критической влажности у сорта «Золотой телец» происходит на 1 час быстрее, чем у гибрида «Барбаро» вследствие того, что начальная массовая доля влаги у сорта «Золотой телец» ниже.

Так, при температуре воздуха на входе в рабочую камеру равной 45 °С, время достижения критической влажности кабачками, нарезанных кубиками, составляет 540 мин, а нарезанных кружками - 480 мин, при температуре 50 °С - 480 мин (нарезанных кубиками) и 420 мин (нарезанных кружками), при температуре 55 °С - 420 мин (нарезанных кубиками) и 360 мин (нарезанных кружочками), при температуре 60 °С - 360 мин (нарезанных кубиками) и 300 мин (нарезанных кружками).

На рисунке 13 приведены кривые сушки инфракрасным нагревом кабачков сорта «Золотой телец», нарезанных кубиками, а на рисунке 14 – нарезанных кружочками.

Установлено, что кривые сушки инфракрасным нагревом кабачков сорта «Золотой телец» имеют аналогичные тенденции с гибридом «Барбаро». Однако, время достижения критической влажности у сорта «Золотой телец» происходит также на 1 час быстрее, чем у гибрида «Барбаро».

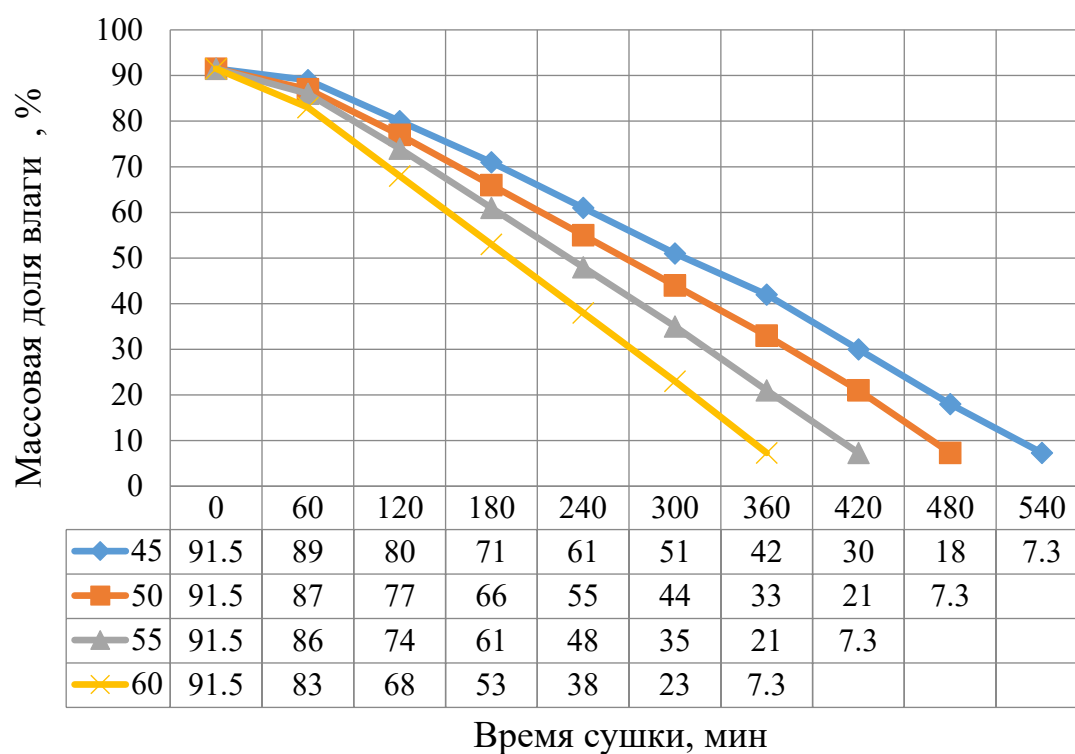


Рисунок 11 – Кривые сушки конвективным нагревом кабачков сорта «Золотой телец», нарезанных кубиками

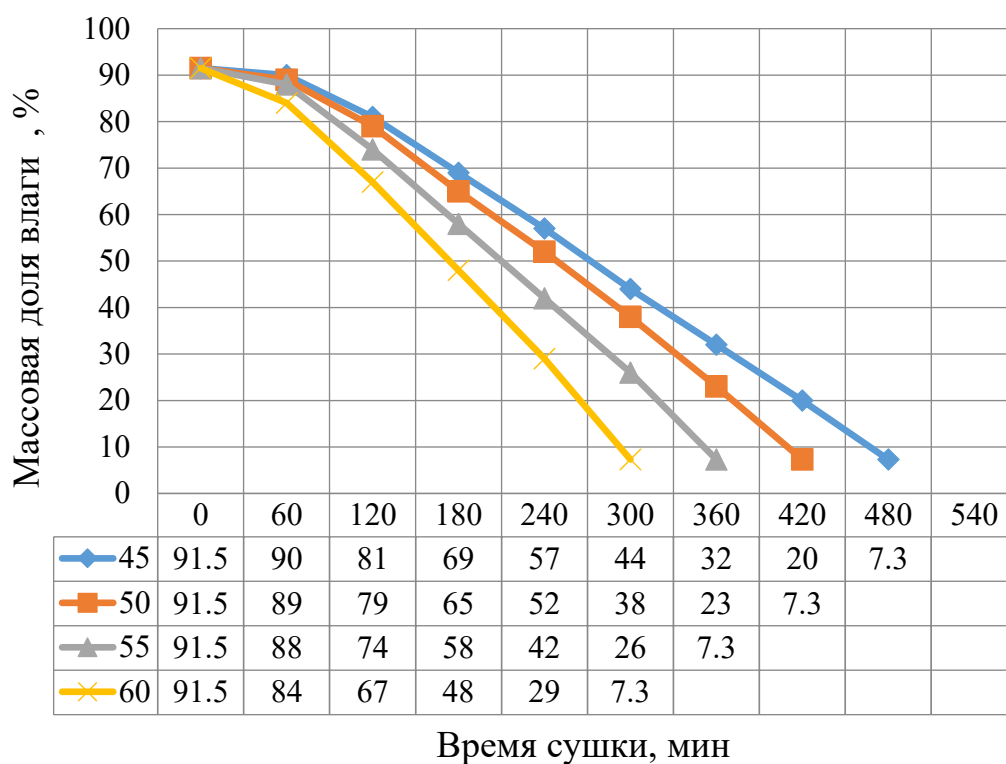


Рисунок 12 – Кривые сушки конвективным нагревом кабачков сорта «Золотой телец», нарезанных кружками

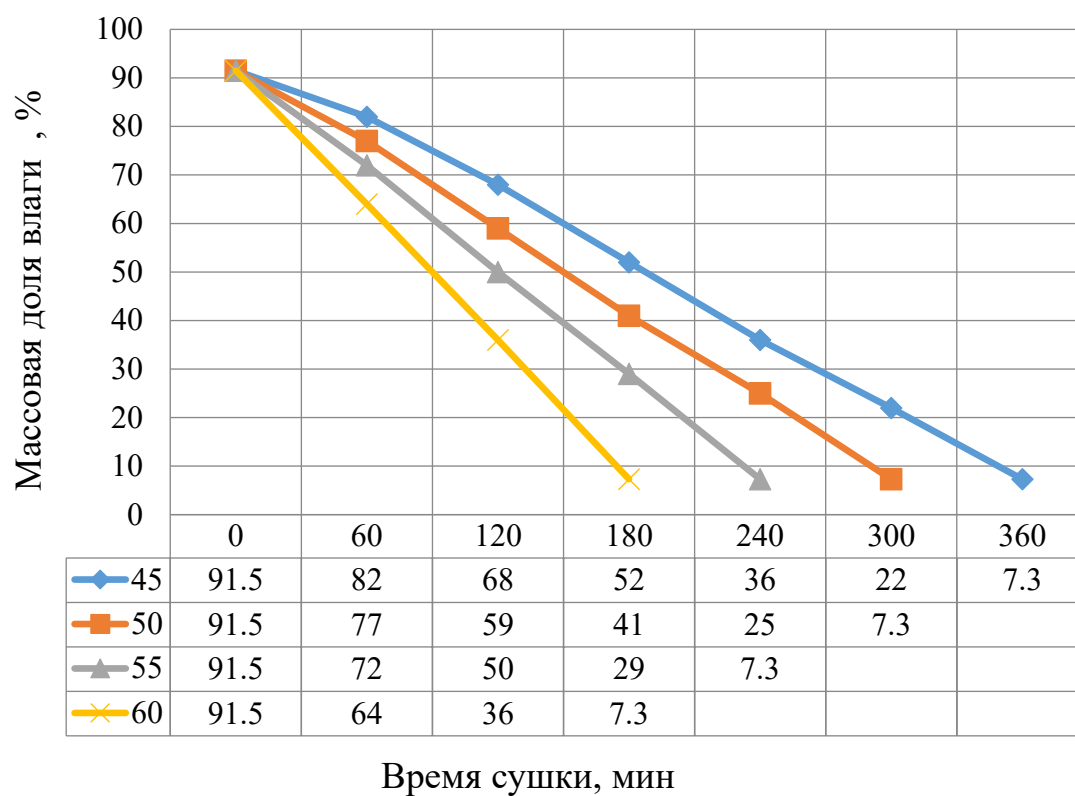


Рисунок 13 – Кривые сушки инфракрасным нагревом кабачков гибрида «Золотой телец», нарезанных кубиками

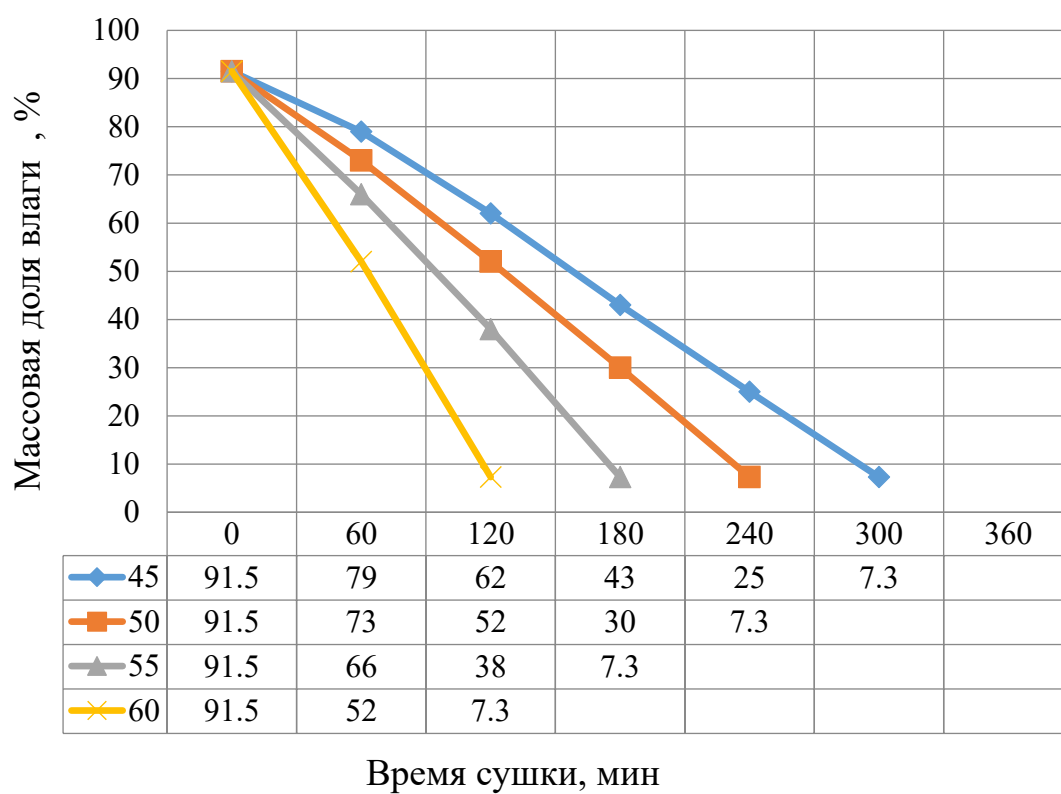


Рисунок 14 – Кривые сушки инфракрасным нагревом кабачков гибрида «Золотой телец», нарезанных кружками

Так, при температуре сушки 45 °С время достижения критической влажности кабачками, нарезанных кубиками, составляет 360 мин, а нарезанных кружочками - 300 мин, при температуре 50 °С - 300 мин (нарезанных кубиками) и 240 мин (нарезанных кружочками), при температуре 55 °С - 240 мин (нарезанных кубиками) и 180 мин (нарезанных кружочками), при температуре 60 °С - 180 мин (нарезанных кубиками) и 120 мин (нарезанными кружочками).

Таким образом, инфракрасная сушка обеспечивает более быстрое удаление влаги из кабачков сорта «Золотой телец» по сравнению с конвективной сушкой, что позволяет сократить продолжительность процесса сушки кабачков:

- нарезанных кубиками: с 360-540 мин (конвективная) до 180-360 мин (ИК);
- нарезанных кружочками: с 300-480 мин (конвективная) до 120-300 мин (ИК).

Таким образом, инфракрасный нагрев существенно ускоряет процесс сушки кабачков, независимо от формы нарезки, за счет прямого поглощения энергии молекулами воды в продукте. Установлено, что применение инфракрасного нагрева сокращает продолжительность сушки на 180 минут, что соответствует снижению времени обработки на 30 %. Данный эффект обусловлен отсутствием этапа предварительного прогрева воздуха: ИК-излучение непосредственно воздействует на влагу в поверхностных слоях, инициируя интенсивное испарение с первых минут процесса.

3.3.2 Исследование влияния различных методов сушки на содержание витамина С и органолептические показатели сушеных кабачков

Так как в процессе сушки аскорбиновая кислота (витамин С) [139]. подвергается разрушению под воздействием температуры и кислорода, изучение динамики её содержания позволит оценить эффективность метода (конвективного и инфракрасного) сушки, температуры сушки и продолжительности сушки.

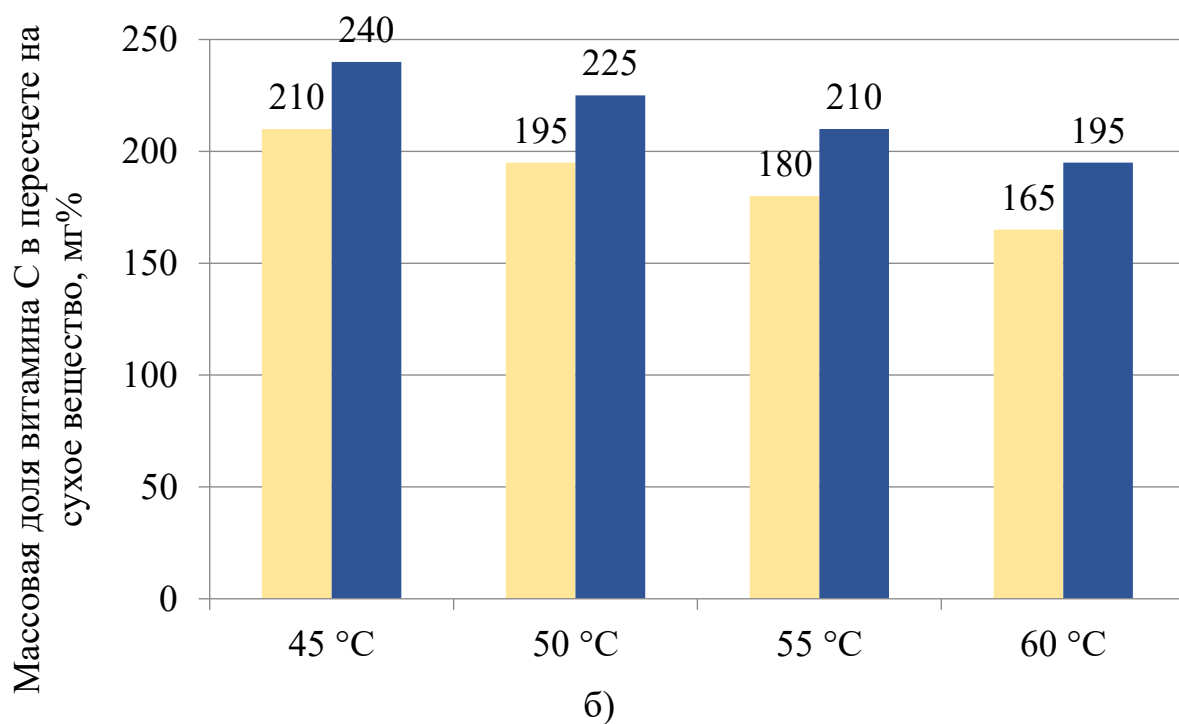
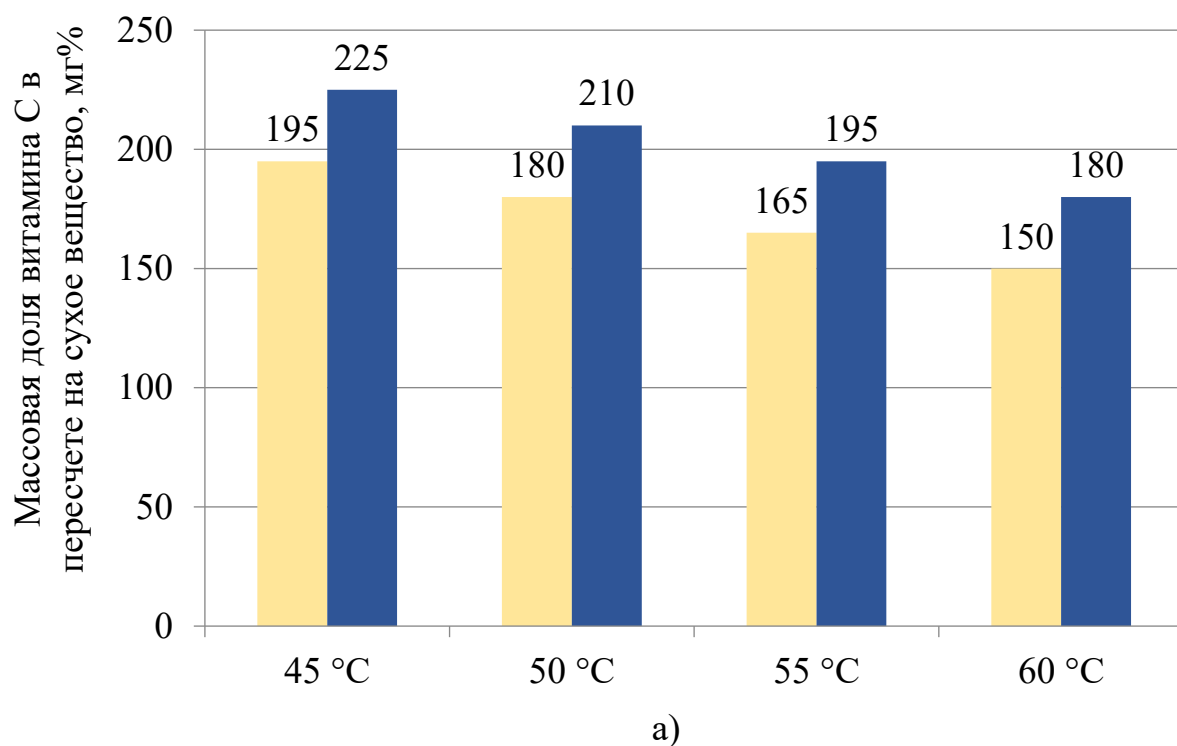
На рисунке 15 представлено влияние температуры на изменение содержания витамина С в сушеных кабачках гибрида «Барбаро», нарезанных кубиками и кружками и высушенных до критической влажности 9,2 %.

Установлено, что между температурой и содержанием витамина С наблюдается отрицательная корреляция. Независимо от метода сушки (конвективная или инфракрасная) и способа нарезки (кубиками или кружками), с повышением температуры происходит снижение содержания витамина С в высушенном продукте.

При использовании ИК-сушки во всех случаях наблюдается более высокое содержание витамина С по сравнению с конвективной сушкой при одинаковых температурах. Это свидетельствует о большей щадящей обработке ИК-сушки, что позволяет сохранить больше витамина С.

Так, при температуре 45 °С, содержание витамина С в кабачках, высушенных конвективным способом, составило 195 мг% (кубики) и 210 мг% (кружочки), в то время, как при ИК-сушке - 225 мг% (кубики) и 240 мг% (кружки). При повышении температуры до 60 °С наблюдается снижение содержания витамина С [139]: при конвективном нагреве - до 150 мг% (кубики) и 165 мг% (кружки), при инфракрасном нагреве - до 180 мг% (кубики) и 195 мг% (кружки).

Также установлено, что способ нарезки влияет на содержание витамина С [139]. Различия в содержании витамина С между образцами, нарезанными кубиками и кружками, незначительны, однако для образцов, нарезанных кружочками, значения несколько выше, что может быть связано с меньшей удельной площадью поверхности на единицу массы по сравнению с кубиками, подверженной воздействию кислорода и света, которые являются основными факторами, способствующими разрушению витамина С в процессе подготовки образцов к сушке.



■ Конвективная сушка ■ Инфракрасная сушка

Рисунок 15 - Влияние температуры на изменение содержания витамина С в сушеных кабачках гибрида «Барбаро»:

а) нарезанные кубиками; б) нарезанные кружками

На рисунке 16 представлено влияние температуры на изменение содержания витамина С в сушеных кабачках сорта «Золотой телец», нарезанных кубиками и кружками и высушенных до критической влажности 7,3 %.

Установлена аналогичная гибриду «Барабара» отрицательная корреляция между температурой и содержанием витамина С [139].

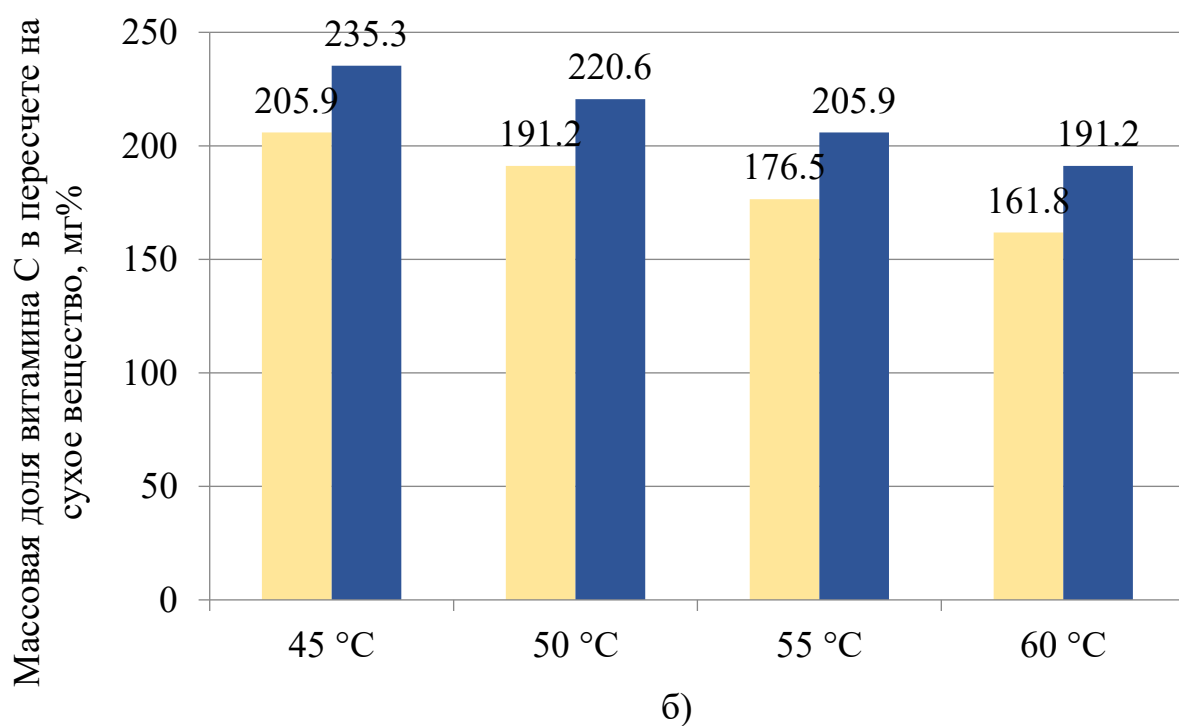
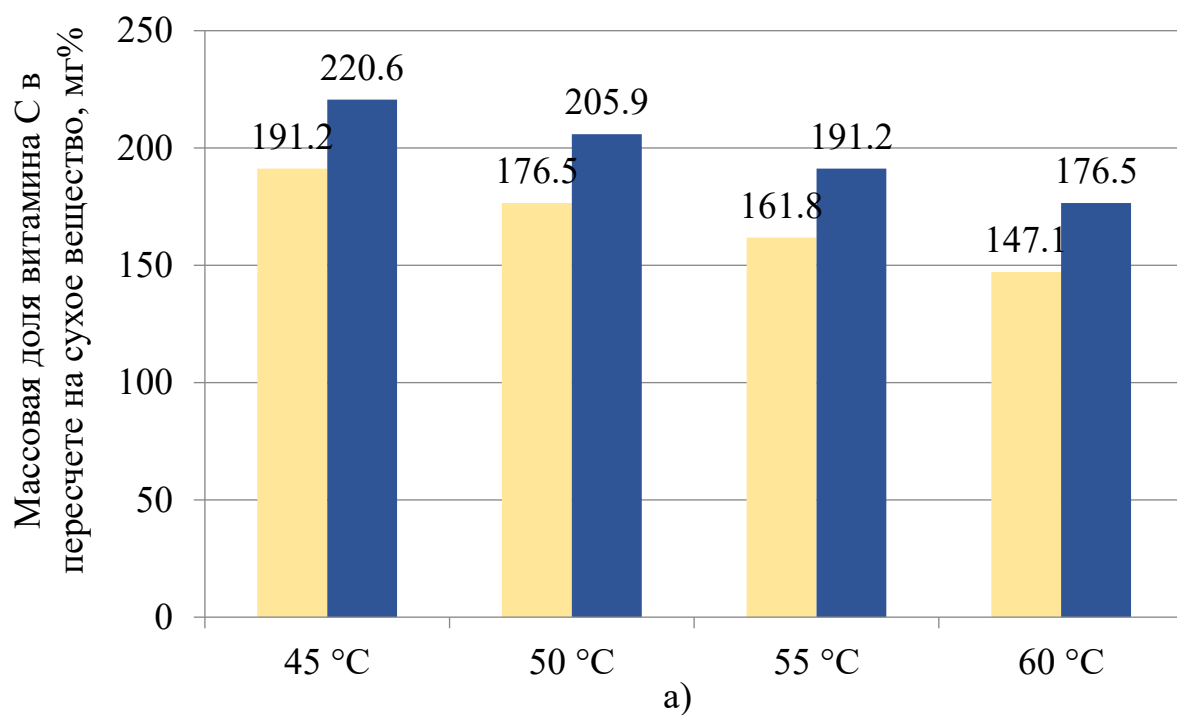
При использовании ИК-сушки также во всех случаях наблюдается более высокое содержание витамина С по сравнению с конвективной сушкой при одинаковых температурах. Так, при температуре 45 °С, содержание витамина С в кабачках, высушенных конвективным способом, составило 191,2 мг% (кубики) и 205,9 мг% (кружки), в то время как при ИК-сушке - 220,6 мг% (кубики) и 235,3 мг% (кружки).

При повышении температуры до 60 °С наблюдается снижение содержания витамина С: при конвективном нагреве - до 147,1 мг% (кубики) и 161,8 мг% (кружочки), при инфракрасном нагреве - до 176,5 мг% (кубики) и 191,2 мг% (кружочки).

На рисунке 17 приведены потери содержания витамина С в процессе сушки кабачков гибрида «Барбаро» и сорта «Золотой телец», нарезанных кубиками и кружочками.

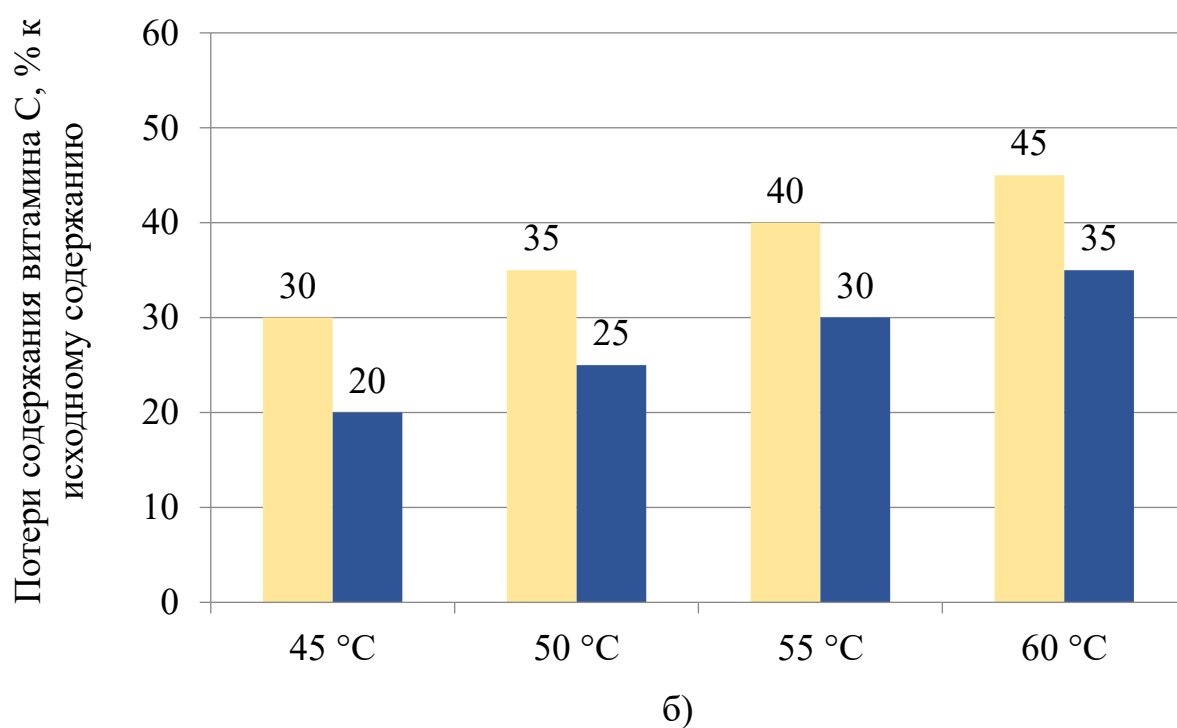
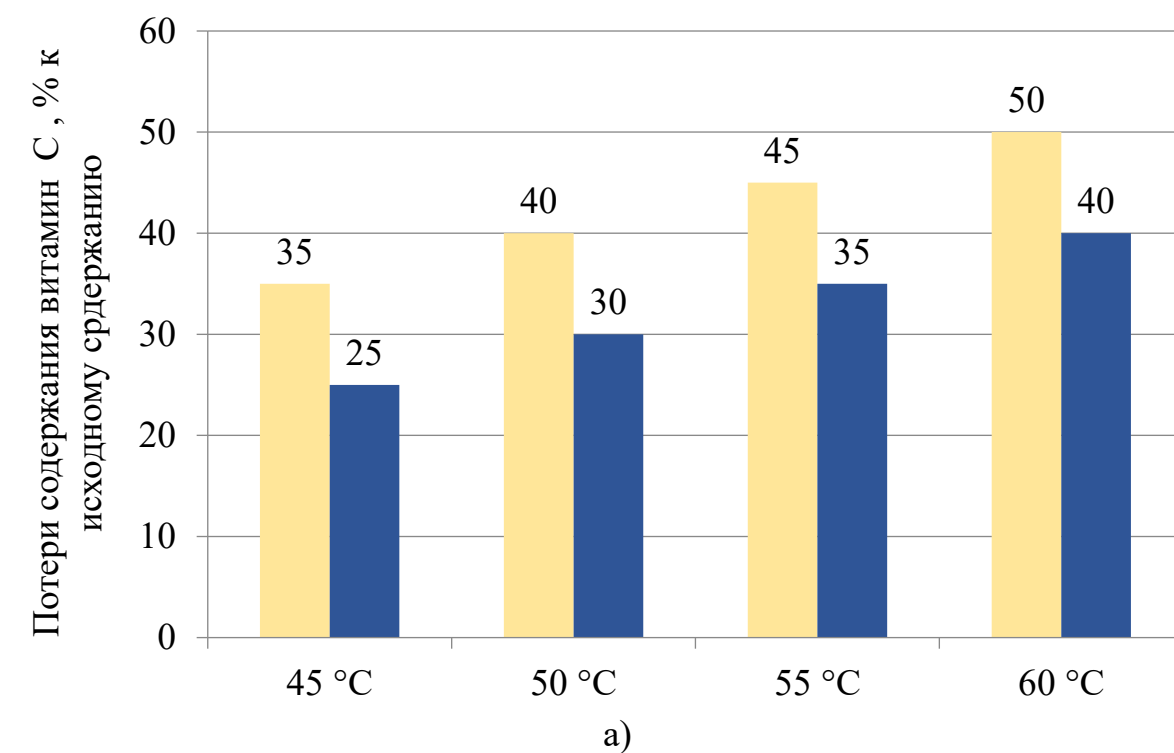
Установлено, что повышение температуры сушки приводит к большим потерям витамина С. Так, в процессе конвективной сушки при температурах 45, 50, 55 и 60 °С потери витамина С в кабачках, нарезанных кубиками, составляют от 35 до 50 %, соответственно. В процессе инфракрасной сушки потери меньше и составляют от 25 до 40 %, соответственно для тех же температур.

Аналогичная тенденция наблюдается и при сушке кабачков, нарезанных кружками. В процессе конвективной сушки потери витамина С составляют от 30 до 45 % при температурах 45, 50, 55 и 60 °С соответственно. При инфракрасной сушке наблюдаются меньшие потери от 20 до 35 % для соответствующих температур.



■ Конвективная сушка ■ Инфракрасная сушка

Рисунок 16 - Влияние температуры на изменение содержания витамина С в сушеных кабачках сорта «Золотой телец»:
а) нарезанные кубиками; б) нарезанные кружками



■ Конвективная сушка ■ Инфракрасная сушка

Рисунок 17 - Потери содержания витамина С в процессе сушки кабачков гибрида «Барбаро» и сорта «Золотой телец»:
а) нарезанные кубиками; б) нарезанные кружками

Таким образом, потери витамина С несколько ниже при сушке кружками по сравнению с сушкой кубиками при одинаковых условиях (температура и метод сушки).

Таким образом, установлено, что метод сушки оказывает существенное влияние на сохранность витамина С в процессе сушки кабачков, вне зависимости от формы нарезки (кубики или кружки). Инфракрасный нагрев обеспечивает наименьшие потери витамина С по сравнению с конвективным нагревом. Это может быть связано с более быстрым и равномерным прогревом продукта при инфракрасном нагреве, что сокращает время воздействия высоких температур на витамин С. Таким образом, ИК-сушка сохраняет на 20 % больше витамина С, чем конвективная, что подтверждает её эффективность

На основе выявленных закономерностей установлено, что с целью обеспечения энергоэффективности и максимального сохранения витамина С в кабачках высушенных конвективным нагревом, необходимо проводить сушку в два этапа:

- на первом этапе сушки использовать более интенсивный температурный режим (60 °С), что позволит быстро удалить свободную влагу из кабачков с целью интенсивного снижения влажности продукта до определенного уровня (60-70%) и сократить время сушки на 30-40 %;

- на втором этапе необходимо снизить температуру до 50 °С для равномерного удаления остаточной влаги и сохранения качества с целью медленного и равномерного удаления остаточной влаги до достижения необходимой конечной влажности кабачков (9,2 и 7,3 %). Более низкая температура позволит избежать перегрева, подгорания и других нежелательных изменений качества кабачков, минимизирует разрушение витамина С, сохранит цвет сушеных кабачков.

В таблице 12 приведены режимы двухэтапной конвективной сушки кабачков в зависимости от формы нарезки.

Таблица 12 - Режимы двухэтапной конвективной сушки кабачков в зависимости от формы нарезки

Сорт/гибрид	Форма нарезки	Режимы сушки
Гибрид «Барбаро»	- кубики (10×10×10 мм)	1 этап: 60 °С; 180 мин 2 этап: 55 °С; 300 мин
	- кружки (толщина 5 мм)	1 этап: 60 °С; 180 мин 2 этап: 55 °С; 240 мин
Сорт «Золотой телец»	- кубики (10×10×10 мм)	1 этап: 60 °С; 180 мин 2 этап: 55 °С; 240 мин
	- кружки (толщина 5 мм)	1 этап: 60 °С; 180 мин 2 этап: 55 °С; 180 мин

Однако, переход между этапами требует дополнительных энергозатрат на изменение температуры в сушильной камере, тем самым усложняется процесс контроля и управления. Необходимо точно определять момент перехода между этапами, что требует дополнительного оборудования или датчиков, увеличивая стоимость процесса.

В отличие от конвективной сушки, при использовании инфракрасного метода двухэтапный режим не является необходимым. Инфракрасная сушка позволяет достичь оптимального сочетания скорости сушки и сохранения качества продукта при использовании одноступенчатого режима.

Установлено, что оптимальная температура инфракрасной сушки для гибрида «Барбаро» составляет 50 °С, при этом продолжительность процесса варьируется в зависимости от формы нарезки: 360 минут для кубиков и 300 минут для кружков. Для сорта «Золотой телец» также используется температура 50 °С, однако время сушки сокращается: 300 минут для кубиков и 240 минут для кружков. Таким образом, инфракрасная сушка позволяет упростить технологический процесс и снизить энергозатраты без ущерба для качества конечного продукта.

Таким образом, использование инфракрасного метода нагрева для сушки кабачков представляется целесообразным, поскольку данный метод обеспечивает ряд преимуществ. Во-первых, он способствует более эффективному сохранению

витамина С по сравнению с конвективной сушкой, благодаря применению более низких температур в диапазоне 45-50 °С. Во-вторых, за счет прямого нагрева продукта происходит сокращение времени теплового воздействия. Это, в свою очередь, позволяет уменьшить общую продолжительность процесса сушки на 30–40 % и, как следствие, снизить совокупное тепловое воздействие на продукт, что положительно сказывается на сохранении его показателей качества.

Важным критерием оценки качества сушеных кабачков являются органолептические показатели, определяющие потребительскую привлекательность продукта. В процессе сушки происходит ряд сложных биохимических изменений, оказывающих влияние на цвет, консистенцию, вкус и запах сушеных овощей. При этом, главным органолептическим показателем, по которому определяется качество сушеных кабачков – это цвет, который должен оставаться идентичным исходному сырью.

В связи с этим, определяли влияние температуры и продолжительности сушки на изменение органолептических показателей сушеных кабачков. В частности, была поставлена задача установить количественную связь между температурой и продолжительностью сушки для оптимизации процесса с целью получения продукта, обладающего наилучшими потребительскими свойствами.

В качестве независимых переменных (факторов) были приняты:

- x_1 : температура сушки (°С) с четырьмя уровнями варьирования: 45, 50, 55 и 60 °С;
- x_2 : продолжительность сушки (мин), представленная 4-мя уровнями: для гибрида «Барбаро», нарезанных кубиками - от 240 до 420 мин, нарезанных кружками - от 180 до 360 мин; для сорта «Золотой телец», нарезанных кубиками - от 180 до 360 мин, нарезанных кружками - от 120 до 300 мин.

В качестве зависимых переменных (откликов) были проанализированы следующие показатели:

- y_1 : цвет (балл).
- y_2 : консистенция (балл).
- y_3 : вкус и запах (балл).

- у: итоговая органолептическая оценка, представляющая сумму баллов по отдельным органолептическим показателям.

Экспериментальные данные, отражающие влияние варьируемых факторов (температуры и продолжительности инфракрасной сушки) на органолептические показатели сушеных кабачков гибрида «Барбаро», нарезанных кубиками, представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Экспериментальные данные, отражающие влияние варьируемых факторов (температуры и продолжительности инфракрасной сушки) на органолептические показатели кабачков сушеных гибрида «Барбаро», нарезанных кубиками

№ опыта	Температура сушки, °С	Продолжительность сушки, мин	Цвет	Консистенция	Вкус и запах	Итого
	x ₁	x ₂	y ₁	y ₂	y ₃	y
1.	45	420	4	5	5	14
2.	45	360	4	4	5	13
3.	45	300	4	3	3	10
4.	45	240	4	2	2	8
5.	50	420	4	4	4	12
6.	50	360	5	5	5	15
7.	50	300	5	4	4	13
8.	50	240	5	3	3	11
9.	55	420	2	3	3	8
10.	55	360	3	3	4	9
11.	55	300	4	4	4	12
12.	55	240	5	3	3	11
13.	60	420	2	1	2	5
14.	60	360	2	2	2	6
15.	60	300	2	3	3	8
16.	60	240	3	3	3	9

Матрица эксперимента (полнофакторный эксперимент) состоит из 16 опытов, каждому из которых соответствует уникальная совокупность факторов и зависимых переменных. Для подтверждения достоверности результатов использовались статистические методы, а именно множественная регрессия.

Рисунок 18 отражает зависимости значений органолептических показателей от тех же исходных данных.

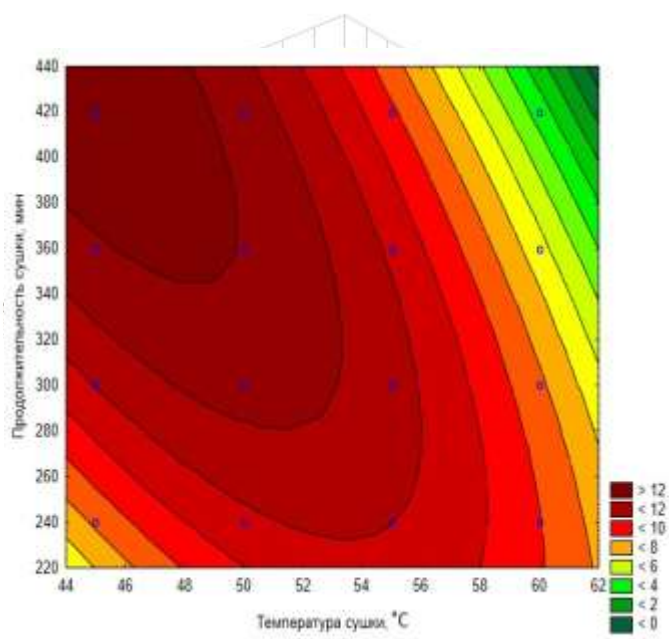


Рисунок 18 – График и сечение поверхности, описывающих зависимость итогового показателя органолептической оценки от температуры и продолжительности инфракрасной сушки кабачков гибрида «Барбаро», нарезанных кубиками

Для выходного показателя y_i получено уравнение зависимостей $y_i(x_1, x_2)$ – уравнение кривой, аппроксимирующей исходные данные:

$$y(x_1, x_2) = -181,055 + 5,757x_1 + 0,3052x_2 - 0,045x_1^2 - 0,0041x_1x_2 - 0,0001x_2^2 \quad (1)$$

Для определения того, насколько достоверно приведенное уравнение, был рассчитан коэффициент детерминации r^2 . Коэффициент детерминации $r^2 = 0,89032520$. Значение коэффициента детерминации свидетельствует о высокой адекватности модели и ее хорошей объясняющей способности.

Установлено, что при температуре 45 °С максимальное значение итогового показателя органолептической оценки (14 баллов) достигается при продолжительности сушки 420 минут, при температуре 50 °С максимальное значение итогового показателя органолептической оценки (15 баллов) достигается при продолжительности сушки 360 минут, при температуре 55 °С максимальное значение итогового показателя органолептической оценки (12 баллов) достигается при продолжительности сушки 300 минут, при температуре 60 °С максимальное значение итогового показателя органолептической оценки (9 баллов) достигается при продолжительности сушки 240 минут.

Таким образом, максимальное значение итогового показателя органолептической оценки (15 баллов) достигается при продолжительности сушки 360 минут при температуре 50 °С.

Экспериментальные данные, отражающие влияние варьируемых факторов (температуры и продолжительности инфракрасной сушки) на органолептические показатели сушеных кабачков гибрида «Барбаро», нарезанных кружками, представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Экспериментальные данные, отражающие влияние варьируемых факторов (температуры и продолжительности инфракрасной сушки) на органолептические показатели кабачков сушеных гибрида «Барбаро», нарезанных кружками

№ опыта	Температура сушки, °С	Продолжительность сушки, мин	Цвет	Консистенция	Вкус и запах	Итого
	x ₁	x ₂	y ₁	y ₂	y ₃	y
1	2	3	4	5	6	7
1.	45	360	4	5	5	14
2.	45	300	4	4	5	13
3.	45	240	4	3	3	10
4.	45	180	4	2	2	8
5.	50	360	4	4	4	12
6.	50	300	5	5	5	15
7.	50	240	5	4	4	13
8.	50	180	5	3	3	11
9.	55	360	2	3	3	8
10.	55	300	3	3	4	9
11.	55	240	4	4	4	12
12.	55	180	5	3	3	11
13.	60	360	2	1	2	5

Продолжение таблицы 14

1	2	3	4	5	6	7
14.	60	300	2	2	2	6
15.	60	240	2	3	3	8
16.	60	180	3	3	3	9

Рисунок 19 отражает зависимости значений органолептических показателей от тех же исходных данных.

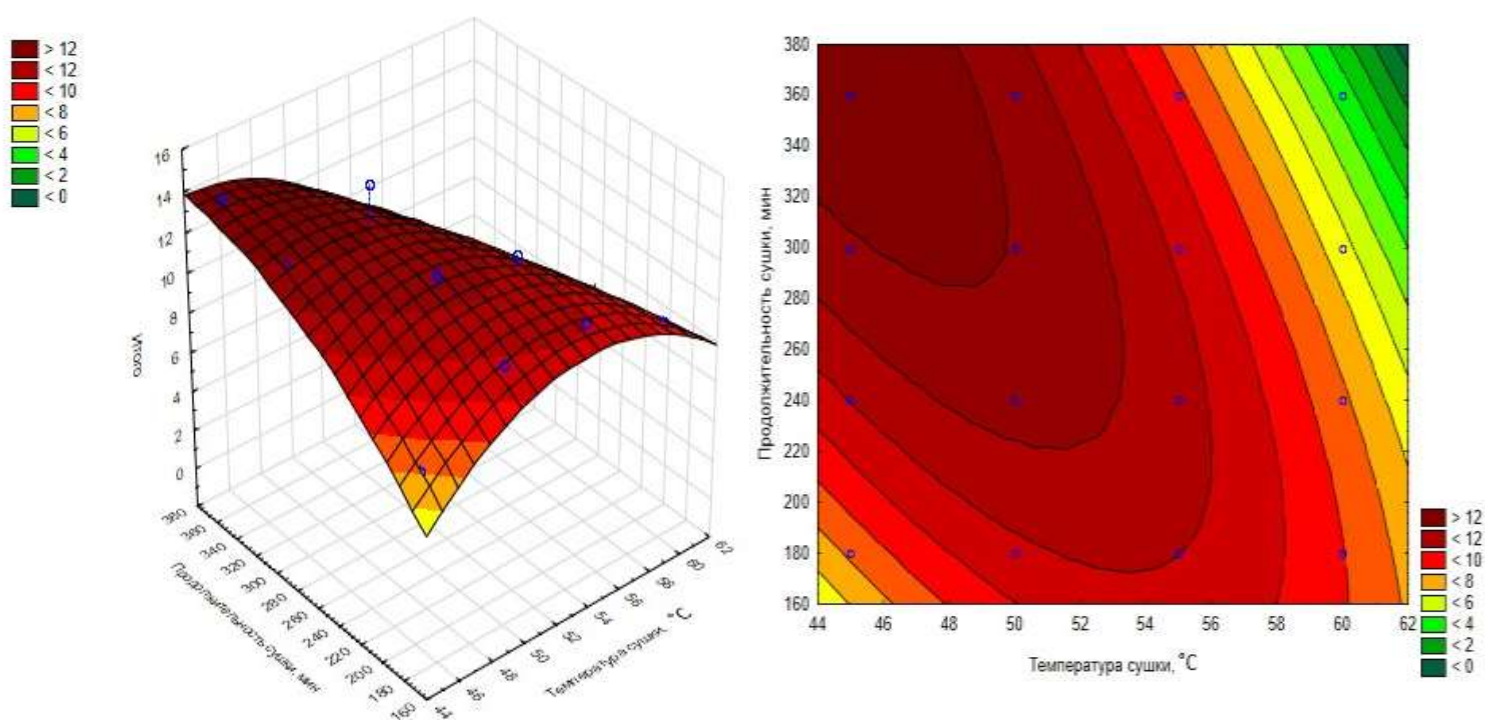


Рисунок 19 – График и сечение поверхности, описывающей зависимость итогового показателя органолептической оценки от температуры и продолжительности инфракрасной сушки кабачков гибрида «Барбаро», нарезанных кружками

Для каждого выходного показателя y_i получено уравнение зависимостей $y_i(x_1, x_2)$ – уравнение кривой, аппроксимирующей исходные данные:

$$y(x_1, x_2) = -163,245 + 5,513x_1 + 0,2885x_2 - 0,045x_1^2 - 0,0041x_1x_2 - 0,0001x_2^2 \quad (2)$$

Коэффициент детерминации $r^2=0,91937609$. Значение коэффициента детерминации свидетельствует о высокой адекватности модели и ее хорошей объясняющей способности.

Установлено, что при температуре 45 °С максимальное значение итогового показателя органолептической оценки (14 баллов) достигается при продолжительности сушки 360 минут, при температуре 50 °С максимальное значение итогового показателя органолептической оценки (15 баллов) достигается при продолжительности сушки 300 минут, при температуре 55 °С максимальное значение итогового показателя органолептической оценки (12 баллов) достигается при продолжительности сушки 240 минут, при температуре 60 °С максимальное значение итогового показателя органолептической оценки (9 баллов) достигается при продолжительности сушки 180 минут.

Таким образом, максимальное значение итогового показателя органолептической оценки (15 баллов) достигается при продолжительности сушки 300 минут при температуре 50 °С.

Экспериментальные данные, отражающие влияние варьируемых факторов (температуры и продолжительности инфракрасной сушки) на органолептические показатели сушеных кабачков сорта «Золотой телец», нарезанных кубиками, представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Экспериментальные данные, отражающие влияние варьируемых факторов (температуры и продолжительности инфракрасной сушки) на органолептические показатели кабачков сушеных сорта «Золотой телец», нарезанных кубиками

№ опыта	Температура сушки, °С	Продолжительность сушки, мин	Цвет	Консистенция	Вкус и запах	Итого
	x ₁	x ₂	y ₁	y ₂	y ₃	y
1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7
1.	45	360	4	5	5	14
2.	45	300	4	4	5	13
3.	45	240	4	3	3	10
4.	45	180	4	2	2	8

Продолжение таблицы 15

1	2	3	4	5	6	7
5.	50	360	4	4	4	12
6.	50	300	5	5	5	15
7.	50	240	5	4	4	13

8.	50	180	5	3	3	11
9.	55	360	2	3	3	8
10.	55	300	3	3	4	9
11.	55	240	4	4	4	12
12.	55	180	5	3	3	11
13.	60	360	2	1	2	5
14.	60	300	2	2	2	6
15.	60	240	2	3	3	8
16.	60	180	3	3	3	9

Рисунок 20 отражает зависимости значений органолептических показателей от тех же исходных данных.

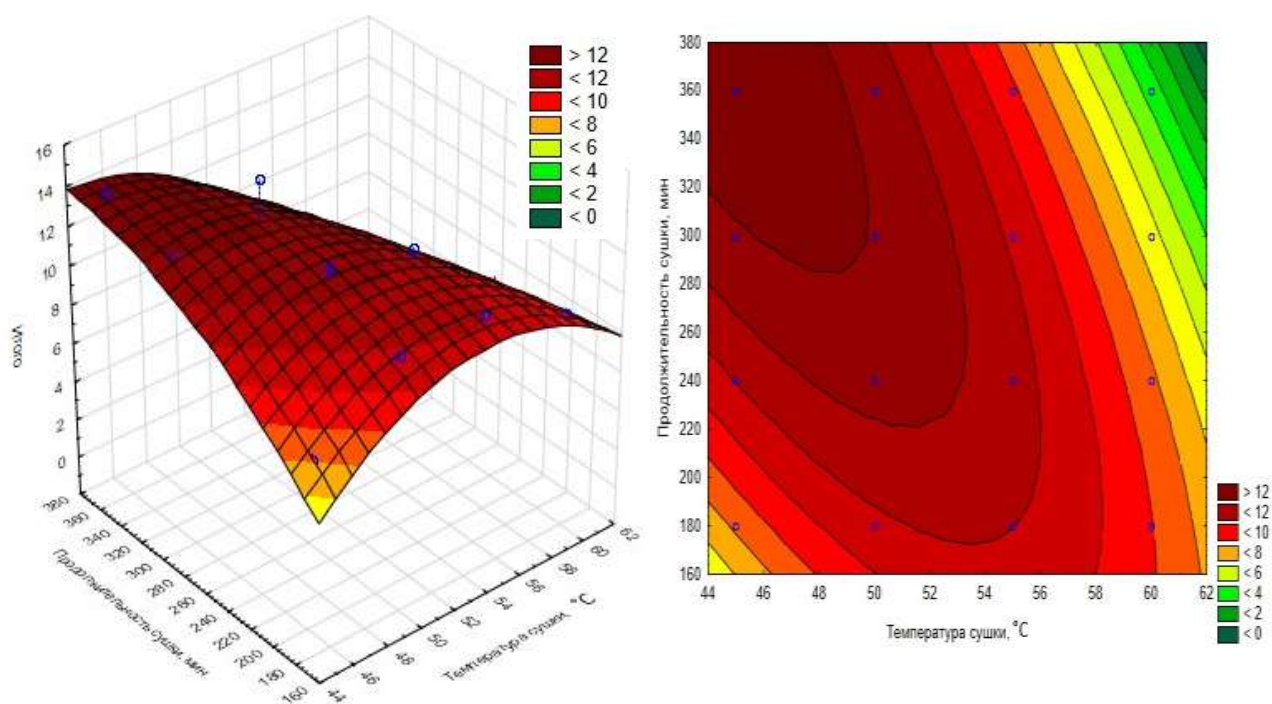


Рисунок 20 – График и сечение поверхности, описывающей зависимость итогового показателя органолептической оценки от температуры и продолжительности инфракрасной сушки кабачков сорта «Золотой телец», нарезанных кубиками

Для каждого выходного показателя y_i получено уравнение зависимостей $y_i(x_1, x_2)$ – уравнение кривой, аппроксимирующей исходные данные:

$$y(x_1, x_2) = -163,245 + 5,513x_1 + 0,2885x_2 - 0,045x_1^2 - 0,0041x_1x_2 - 0,0001x_2^2 \quad (3)$$

Коэффициент детерминации $r^2=0,89032520$. Значение коэффициента детерминации свидетельствует о высокой адекватности модели и ее хорошей объясняющей способности.

Установлено, что при температуре 45 °С максимальное значение итогового показателя органолептической оценки (14 баллов) достигается при продолжительности сушки 360 минут, при температуре 50 °С максимальное значение итогового показателя органолептической оценки (15 баллов) достигается при продолжительности сушки 300 минут, при температуре 55 °С максимальное значение итогового показателя органолептической оценки (12 баллов) достигается при продолжительности сушки 240 минут, при температуре 60 °С максимальное значение итогового показателя органолептической оценки (9 баллов) достигается при продолжительности сушки 180 минут.

Таким образом, максимальное значение итогового показателя органолептической оценки (15 баллов) достигается при продолжительности сушки 300 минут при температуре 50 °С.

Экспериментальные данные, отражающие влияние варьируемых факторов (температуры и продолжительности инфракрасной сушки) на органолептические показатели сушеных кабачков сорта «Золотой телец», нарезанных кружочками, представлены в таблице 16.

Рисунок 21 отражает зависимости значений органолептических показателей от тех же исходных данных.

Для каждого выходного показателя y_i получено уравнение зависимостей $y_i(x_1, x_2)$ – уравнение кривой, аппроксимирующей исходные данные:

$$y(x_1, x_2) = -163,245 + 5,513x_1 + 0,2885x_2 - 0,045x_1^2 - 0,0041x_1x_2 - 0,0001x_2^2 \quad (4)$$

Таблица 16 – Экспериментальные данные, отражающие влияние варьируемых факторов (температуры и продолжительности инфракрасной сушки) на

органолептические показатели кабачков сушеных сорта «Золотой телец», нарезанных кружками

№ опыта	Температура сушки, °С	Продолжительность сушки, мин	Цвет	Консистенция	Вкус и запах	Итого
	x ₁	x ₂	y ₁	y ₂	y ₃	y
1.	45	300	4	5	5	14
2.	45	240	4	4	5	13
3.	45	180	4	3	3	10
4.	45	120	4	2	2	8
5.	50	300	4	4	4	12
6.	50	240	5	5	5	15
7.	50	180	5	4	4	13
8.	50	120	5	3	3	11
9.	55	300	2	3	3	8
10.	55	240	3	3	4	9
11.	55	180	4	4	4	12
12.	55	120	5	3	3	11
13.	60	300	2	1	2	5
14.	60	240	2	2	2	6
15.	60	180	2	3	3	8
16.	60	120	3	3	3	9

Коэффициент детерминации $r^2=0,89032520$. Значение коэффициента детерминации свидетельствует о высокой адекватности модели и ее хорошей объясняющей способности.

Установлено, что при температуре 45 °С максимальное значение итогового показателя органолептической оценки (14 баллов) достигается при продолжительности сушки 300 минут, при температуре 50 °С максимальное значение итогового показателя органолептической оценки (15 баллов) достигается при продолжительности сушки 240 минут, при температуре 55 °С максимальное значение итогового показателя органолептической оценки (12 баллов) достигается при продолжительности сушки 180 минут, при температуре 60 °С максимальное значение итогового показателя органолептической оценки (9 баллов) достигается при продолжительности сушки 120 минут.

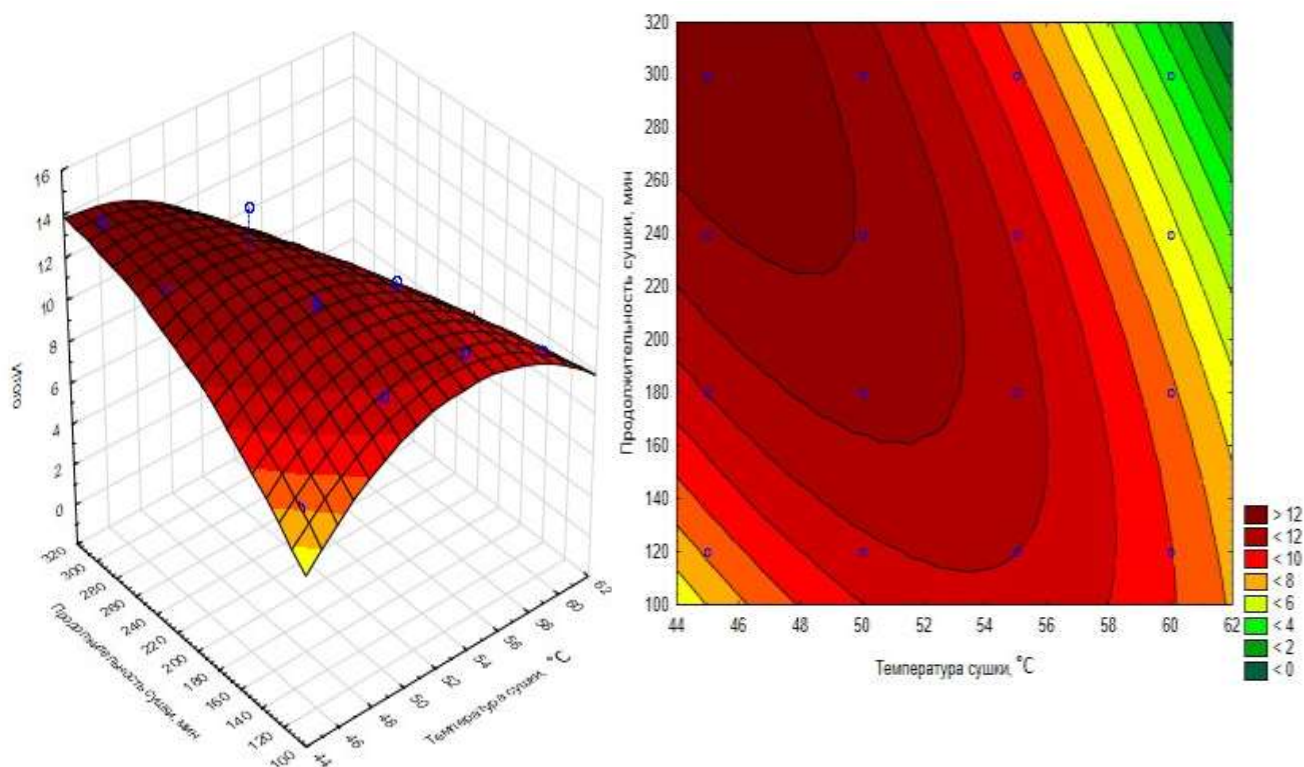


Рисунок 21 – График и сечение поверхности, описывающей зависимость итогового показателя органолептической оценки от температуры и продолжительности инфракрасной сушки кабачков сорта «Золотой телец», нарезанных кружками

Таким образом, максимальное значение итогового показателя органолептической оценки (15 баллов) достигается при продолжительности сушки 240 минут при температуре 50 °C.

Установлено, что максимальное значение итогового показателя органолептической оценки достигается при температуре 50 °C для всех исследуемых образцов. Оптимальная продолжительность сушки при данной температуре составила для гибрида «Барбаро»: 360 минут (кубики) и 300 мин (кружки), для сорта «Золотой телец» - 300 мин (кубики) и 240 мин (кружки).

3.4 Кластерный анализ результатов исследований

Для выявления скрытых закономерностей и систематизации многомерных данных, полученных в ходе экспериментальных исследований влияния различных технологических режимов на качество и сохранность кабачков, был применен иерархический кластерный анализ. Использование данного метода позволило сгруппировать режимы обработки, обладающие схожими характеристиками, и выделить факторы, оказывающие наибольшее влияние на результаты.

Объектами кластеризации стали различные технологические режимы обработки, каждый из которых определялся комбинацией следующих входных параметров: вид сырья (гибрид «Барбаро», сорт «Золотой телец»), предварительная обработка ЭМП КНЧ (гибрид «Барбаро» - 24 Гц, 3 мТл, 30 мин, сорт «Золотой телец» - 22 Гц, 3 мТл, 20 мин); метод сушки (конвективный, инфракрасный); температура сушки (40, 45, 50, 55 °С); форма нарезки (кубики, кружки). Оценка каждого технологического режима осуществлялась по следующим выходным параметрам: потери витамина С, снижение микробиальной обсемененности и срок хранения.

Для определения степени сходства между технологическими режимами использовалось евклидово расстояние – наиболее распространенная метрика, характеризующая геометрическое расстояние между точками в многомерном пространстве признаков.

Процесс кластеризации осуществлялся с использованием метода Уорда (Ward's method) [150], который минимизирует внутрикластерную дисперсию. Данный метод позволяет объединять объекты в кластеры таким образом, чтобы суммарная дисперсия внутри каждого кластера была минимальной, что обеспечивает формирование наиболее однородных групп.

Полученные дендрограммы позволили визуализировать иерархическую структуру кластеров и выделить группы технологических режимов, обладающих схожими характеристиками по выбранным параметрам. Анализ данных кластеров позволил сделать выводы о влиянии различных факторов на эффективность сушки и сохранность качественных характеристик кабачков.

В Приложении 1 приведены исходные данные для проведения кластеризации.

На рисунке 22 приведен пример дендограммы, иллюстрирующий кластеризацию режимов для гибрида «Барбаро».

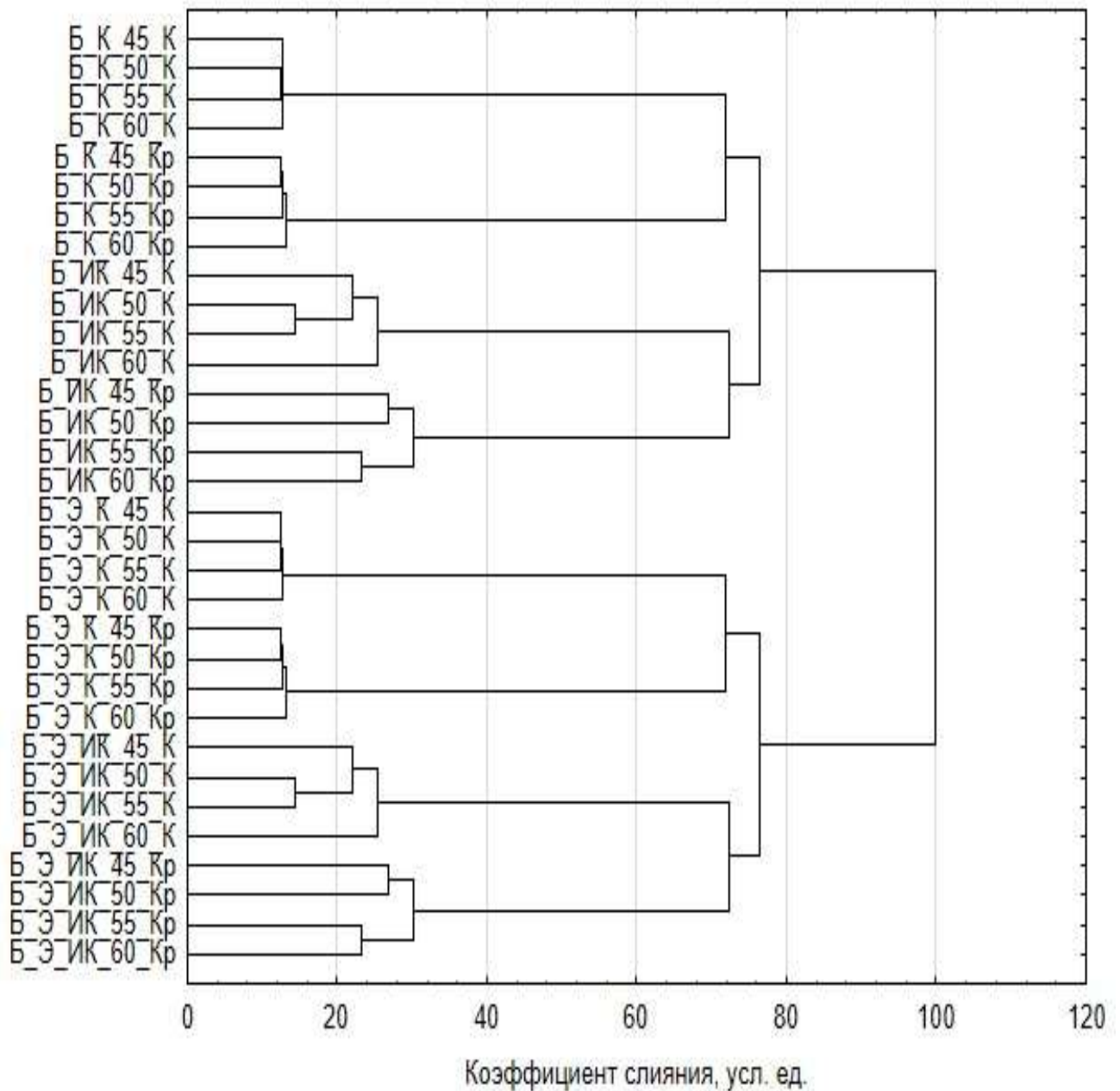


Рисунок 22 – Дендограмма технологических режимов кабачков гибрида «Барбаро»

Анализ дендрограммы позволил выделить 4 статистически обоснованных кластера на уровне слияния 74 усл. ед

Кластер 1 - «Критические режимы», включает режимы высокотемпературной конвективной сушки (выше 55°C), приводящие к максимальным потерям витамина С (45–50 %), ухудшению органолептических свойств и минимальной общей эффективности.

Кластер 2 - «Приемлемые режимы», объединяет комбинации ЭМП КНЧ с конвективной сушкой или ИК-сушкой при температуре выше 50 °С, характеризуясь средними потерями витамина С (25–35 %) и частичным улучшением микробиологических показателей.

Кластер 3 - «Эффективные режимы без ЭМП», включает режимы ИК-сушки при 45–50 °С без предварительной обработки ЭМП КНЧ, демонстрируя умеренные потери витамина С (20–25 %) и сокращение времени сушки на 30 %, однако не оказывая влияния на улучшение сроков хранения.

Кластер 4 - «Оптимальные режимы», характеризуется использованием предобработки ЭМП КНЧ (22 Гц/30' для гибрида «Барбаро», 24 Гц/20' для сорта «Золотой телец») в сочетании с ИК-сушкой при 50 °С и любой формой нарезки, обеспечивая минимальные потери витамина С (15,5–18,0 %), сокращение времени сушки на 40 % (240–360 мин), максимальное снижение микробиальной обсемененности (36–41 %) и увеличение срока хранения на 5 дней.

При этом наиболее перспективным оказался четвертый кластер, показавший наилучшие результаты: максимальное снижение микробиальной обсемененности и наименьшие потери витамина С. В этот кластер вошли технологические режимы, включающие предварительную обработку кабачков ЭМП КНЧ в сочетании с ИК-сушкой при температуре 50 °С. Именно эта температура была идентифицирована как температурный оптимум, минимизирующий деградацию нутриентов при ИК-сушке.

Таким образом, для достижения оптимального качества сушеных кабачков рекомендуется использовать ЭМП КНЧ (24 Гц/30 мин для гибрида «Барбаро» и 22 Гц/20 мин для сорта «Золотой телец») в сочетании с ИК-сушкой при 50 °С. В ходе исследования были определены оптимальные формы нарезки (кубики и кружочки),

обеспечивающие хороший баланс между скоростью сушки и сохранением качества продукта.

Данная методика может применяться для оптимизации процессов сушки и других видов переработки различных видов растительного сырья, позволяя адаптировать технологические режимы под конкретные характеристики сырья и требуемые показатели качества готовой продукции.

4 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И ОЦЕНКА ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ СУШЕНЫХ КАБАЧКОВ

4.1 Разработка технологии сушеных кабачков

На основании комплекса проведенных исследований разработана структурная схема производства сушеных кабачков (рисунок 23).

В таблице 17 приведены технологические режимы производства сушеных кабачков, которые представлены

Таблица 17 - Разработанные технологические режимы производства сушеных кабачков

№ п/п	Наименование технологической стадии и технологического режима	Значение технологического режима для кабачков	
		гибрид «Барбаро»	сорт «Золотой телец»
I	Сортировка	Плоды технической степени зрелости, цилиндрической формы	
II	Калибровка: масса, г	от 200 до 400	
	наибольший поперечный диаметр, мм	от 40 до 60	
III	Мойка и ополаскивание: температура воды, °C	Двухкратная мойка водой с последующим ополаскиванием под душем 20-25	
IV	Нарезка: кубиками, мм	10×10×10	
	кружочками, мм	толщина 5	
V	ИК-сушка: температура, °C	50	
	продолжительность, минут:		
	кубиков	360	300
	кружочков	300	240
VI	Охлаждение: до температуры, °C	20-25	
VII	Фасование и герметичное упаковывание: массой, г	50 или 100	

Свежие кабачки



Сортировка по качеству

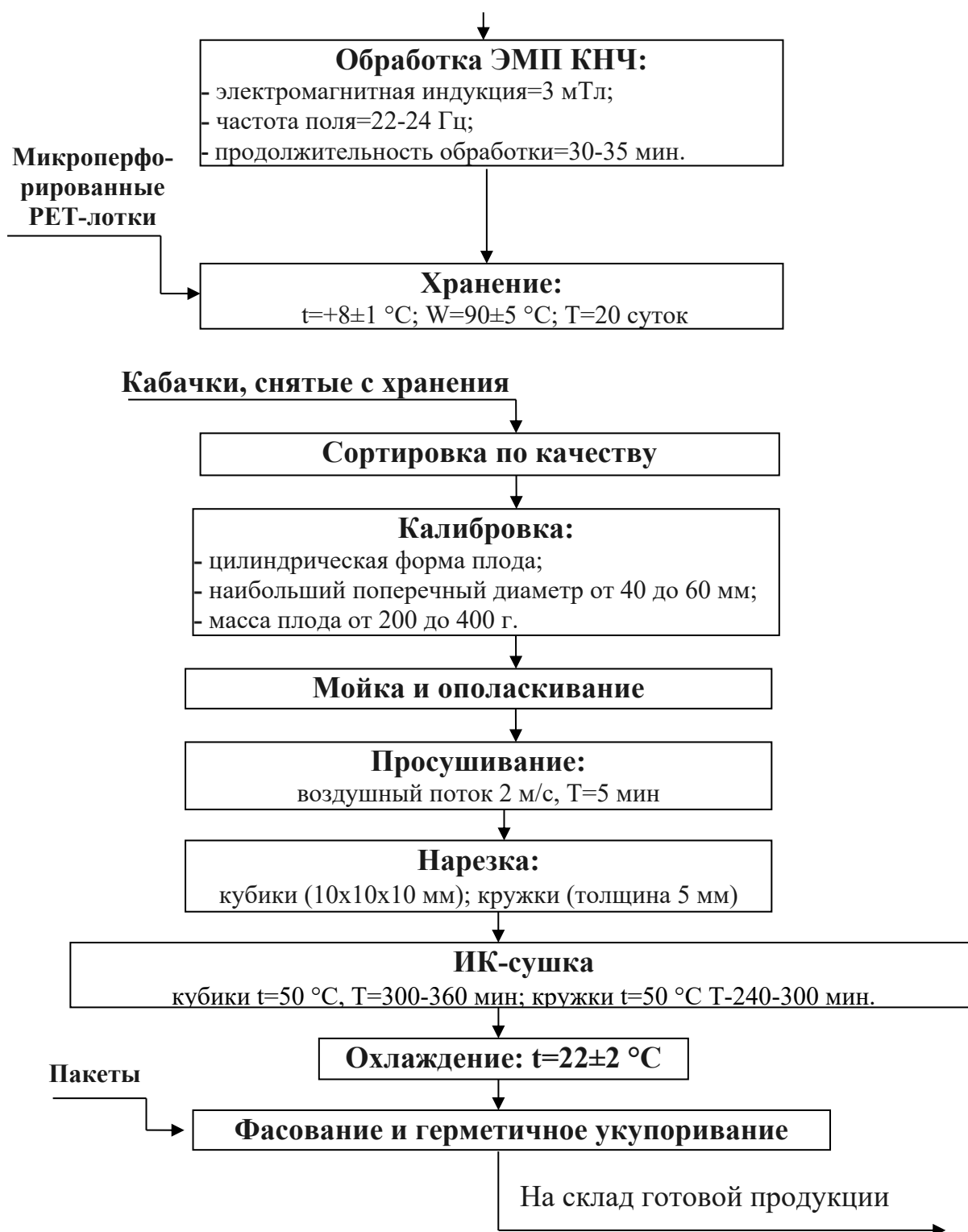


Рисунок 23 – Структурная схема производства сушеных кабачков

Процесс производства сушеных кабачков состоит из нескольких этапов: сортировка, калибровка, мойка и ополаскивание, нарезка, ИК-сушка, охлаждение, фасование и герметичное укупоривание.

Сортировку по качеству осуществляют на роликовых конвейерах, удаляя экземпляры плодов со следующими дефектами:

- неправильная форма, отсутствие плодоножки;
- потертость, царапины и потемнение от нажимов на поверхности плода;
- увядшие, заплесневевшие, загнившие, запаренные, с грубой пожелтевшей кожицей, с повреждением мякоти;
- перезревшие, с пустотами и трещинами.

Кабачки свежие, предназначенные для сушки, должны быть технической степени зрелости, цилиндрической формы, целые, чистые, здоровые, не увядшие с неогрубевшей кожицей, с плодоножкой, без излишней внешней влажности, механических повреждений, повреждений сельскохозяйственными вредителями и болезнями.

Калибровка: производится по массе плода и его наибольшему поперечному диаметру.

Кабачки свежие, предназначенные для сушки, должны быть массой от 200 до 400 г, с размером наибольшего поперечного диаметра от 40 до 60 мм.

Мойка и ополаскивание: отобранные плоды подвергают двухкратной мойке водой с температурой от 20 до 25 °С, с последующим ополаскиванием под душем до полного удаления механических загрязнений.

Далее кабачки очищают от плодоножки с прилегающей частью плода не более 10 мм и остатков завязи и направляют на резку.

Резка: кабачки нарезают кубиками 10×10×10 мм или кружочками толщиной 5 мм.

ИК-сушка: нарезанные кабачки равномерно распределяют на противнях и отправляют на сушку в инфракрасную сушилку.

Кабачки необходимо сушить при температуре 50 °С в течении:

- 360 мин (гибрид «Барбаро», нарезанный кубиками);
- 300 мин (гибрид «Барбаро», нарезанный кружочками);
- 300 мин (сорт «Золотой телец», нарезанный кубиками);
- 240 мин (сорт «Золотой телец», нарезанный кружочками).

Охлаждение: по окончании процесса сушки высушенный продукт выгружают из сушильной установки на лотки для охлаждения до температуры 22 ± 2 °С.

Фасование и герметичное укупоривание: сушеные кабачки фасуют массой нетто 50 г или 100 г в пакеты из полимерных или комбинированных материалов по ГОСТ 13342, ГОСТ 12302. Пакеты с продукцией должны быть герметично укупорены. Укупоривание производят термосвариванием.

На рисунке 24 приведена аппаратурно-технологическая схема производства сушеных кабачков.

Поступившие контейнеры с кабачками загружаются в контейнероопрокидыватель (поз. 1), из которого кабачки подают на роликовый конвейер (поз. 2), где осуществляется их сортировка по качеству. Кабачки, прошедшие сортировку по качеству, поступают в калиброватель (поз. 3), где калибруются по массе и наибольшему поперечному диаметру. Откалиброванные кабачки направляют в барботажную моечную машину (поз. 4), где они подвергаются двухкратной мойке водой с последующим ополаскиванием под душем до полного удаления механических загрязнений. После мойки и ополаскивания у кабачков обрезают плодоножки с прилегающей частью плода не более 10 мм и остатков завязи на машине для обрезки кабачков (поз. 5), а затем их направляют на инспекционный конвейер (поз. 6) для повторной инспекции. После инспекции плоды режут на овощерезке (поз. 7) на кубики с размером стороны 10 мм или кружочки толщиной 5 мм. Подготовленные к сушке кабачки направляют в инфракрасную сушилку (поз. 8). Высушенные кабачки, не убирая с противней, выкладывают на столы для охлаждения (поз. 9). После этого готовый продукт ковшовым транспортером подается в упаковочную машину (поз. 10), где фасуется и упаковывается в пакеты флоу-пак, которые в дальнейшем на столе для упаковки (поз. 11) упаковываются в гофрокороба.

На основании комплекса проведенных исследований разработана технологическая инструкция ТИ 10.39.13.000–85–17021101–2025 по производству сушеных кабачков.

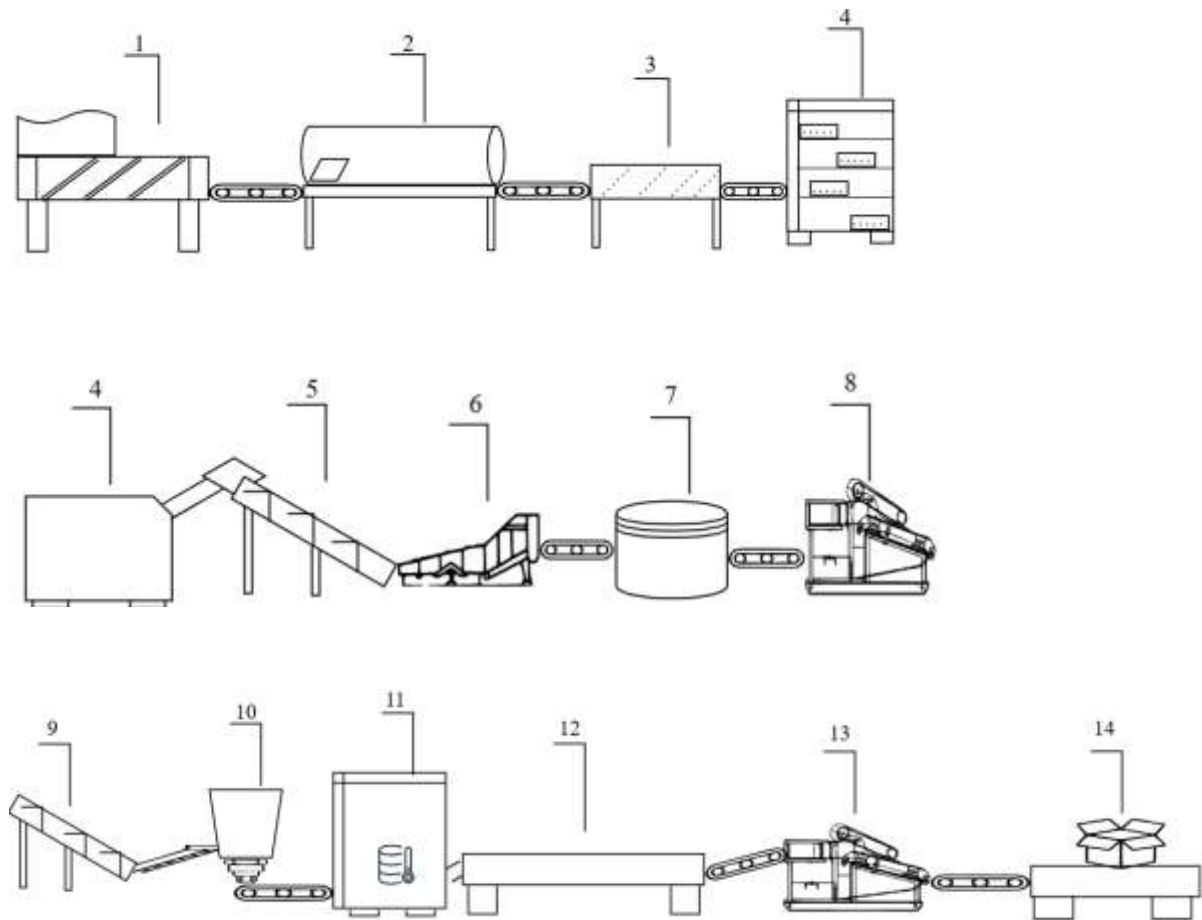


Рисунок 24 - Аппаратурно-технологическая схема производства
сушеных кабачков

1-сортировка по качеству; 2 – обработка ЭМП КНЧ; 3 – охлаждение; 4-
хранение; 5 - контейнероопрокидыватель; 6 - инспекционный конвейер; 7 -
калиброватель; 8 - барботажная моечная машина; 9 - машина для обрезки
кабачков; 10 - инспекционный конвейер; 11- овощерезка, 12 - инфракрасная
сушилка; 13 - стол для охлаждения; 14 - упаковочная машина; 15 - стол для
упаковки

4.2 Исследование потребительских свойств сушеных кабачков

Для оценки потребительских свойств по разработанным технологическим режимам были выработаны опытные партии сушеных кабачков гибрида «Барбаро» и сорта «Золотой телец», нарезанных кубиками и кружочками.

В таблице 18 приведены органолептические показатели качества сушеных кабачков.

Таблица 18 – Органолептические показатели качества сушеных кабачков

Наименование показателя	Характеристика показателя			
	гибрид «Барбаро»		сорта «Золотой телец»	
	нарезанные кубиками	нарезанные кружками	нарезанные кубиками	нарезанные кружками
Внешний вид	Правильной формы с ровной поверхностью, равномерные по толщине, целые, без обломанных граней, сохраняющие свою форму при фасовании			
Консистенция	твердые	хрупкие	твердые	хрупкие
Запах и вкус	Свойственные кабачкам без постороннего привкуса и запаха			
Цвет	Свойственный цвету свежих кабачков			
Размеры	Равномерно нарезанные			
	размером стороны 10 мм	толщиной 5 мм	размером стороны 10 мм	толщиной 5 мм

Установлено, что опытные партии сушеных кабачков характеризовались высокими органолептическими показателями: кубики и кружочки имели правильную форму, равномерную нарезку и приятный запах и вкус, свойственные свежим кабачкам, цвет был близок к цвету исходного сырья.

В таблице 19 приведены физико-химические показатели качества сушеных кабачков.

Таблица 19 - Физико-химические показатели качества сушеных кабачков

Наименование показателя	Значение показателя
-------------------------	---------------------

	гибрид «Барбаро» (кубики, кружочки)	сорт «Золотой телец» (кубики, кружочки)
Массовая доля влаги, %	9,2	7,3
Массовая доля металлических примесей (частиц не более 0,3 мм в наибольшем линейном измерении), %	отсутствуют	
Массовая доля минеральных примесей (песка), %	отсутствуют	
Посторонние примеси	отсутствуют	

По физико-химическим показателям сушеные кабачки соответствовали требованиям, предъявляемым к данному виду продукции. Отсутствие металлических, минеральных и посторонних примесей свидетельствует о соблюдении санитарно-гигиенических норм в процессе производства.

На следующем этапе изучали микробиологические и санитарно-гигиенические показатели безопасности сушеных кабачков.

В таблице 20 приведены микробиологические показатели безопасности сушеных кабачков и предъявляемые требования в соответствии с ТР ТС 021/2011.

Таблица 20 - Микробиологические показатели безопасности сушеных кабачков

Наименование показателя	Значение показателя		Требования ТР ТС 021/2011
	гибрид «Барбаро» (кубики, кружочки)	сорт «Золотой телец» (кубики, кружочки)	
1	2	3	4
Количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных			

Продолжение таблицы 20

1	2	3	4
---	---	---	---

микроорганизмов, КОЕ/г Плесени, КОЕ/г	$3,5 \times 10^4$ 105	$3,7 \times 10^4$ 90	не более 5×10^5 не более 500
Бактерии группы кишечных палочек (колиформы) в 0,01 г продукта	отсутствуют	отсутствуют	не допускаются
Неспорообразующие микроорганизмы B.cereus в 10^3 г продукта	отсутствуют	отсутствуют	не допускаются

Установлено, что опытные партии сушеных кабачков соответствуют требованиям безопасности, установленным ТР ТС 021/2011.

В таблице 21 приведены санитарно-гигиенические показатели безопасности сушеных кабачков и предъявляемые требования в соответствии с ТР ТС 021/2011.

Таблица 21 - Санитарно-гигиенические показатели безопасности сушеных кабачков

Наименование показателя	Значение показателя		Требования ТР ТС 021/2011, не более
	гибрид «Барбаро» (кубики, кружочки)	сорт «Золотой телец» (кубики, кружочки)	
Токсичные элементы, мг/кг:			
свинец	0,454	0,436	0,5
мышьяк	0,091	0,093	0,2
кадмий	0,011	0,011	0,0,3
Пестициды, мг/кг			
ГХЦГ (альфа, бета, гамма- изомеры)	0,227	0,327	0,5
ДДТ и его метаболиты	0,079	0,065	0,1

Установлено, что опытные партии сушеных кабачков соответствуют санитарно-гигиеническим показателям безопасности установленным ТР ТС 021/2011 .

В таблице 22 приведена пищевая ценность сушеных кабачков.

Таблица 22 - Состав нутриентов, содержащихся в сушеных кабачках

Показатель	Значение показателя			
	гибрид «Барбаро»		сорт «Золотой телец»	
	кубики	кружки	кубики	кружки
Массовая доля углеводов, %, в том числе:	70,2	72,5	76,1	79,5
сахаров	21,3±0,3	22,3±0,3	21,4±0,3	22,3±0,3
пищевых волокон	44,9±0,3	45,8±0,3	45,5±0,3	46,6±0,3
Массовая доля белков, %	10,1±0,2	9,6±0,2	10,7±0,2	10,1±0,2
Массовая доля липидов, %	2,4	2,4	2,1	2,1
Массовая доля органических кислот, в пересчете на яблочную кислоту, %	0,72±0,03	0,72±0,02	0,68±0,03	0,68±0,02
Массовая доля, витамина С, мг%	210	225	206	221
Энергетическая ценность, ккал/100 г	322	330	340	348

Анализ данных, представленных в таблице 22, позволяет заключить, что форма нарезки оказывает существенное влияние на сохранность витамина С в сушеных кабачках. В частности, нарезка кружочками обеспечивает более высокую сохранность витамина С по сравнению с нарезкой кубиками, что, вероятно, объясняется уменьшением площади поверхности, подвергающейся воздействию кислорода, и, как следствие, снижением скорости окисления. Кроме того, гибрид «Барбаро» демонстрирует несколько более высокое содержание витамина С в сушеном продукте по сравнению с сортом «Золотой телец», что подтверждает его исходные биохимические характеристики и более высокое содержание витамина С в свежем виде. Содержание углеводов в сушеных кабачках варьируется незначительно между гибридом «Барбаро» (12,5-13,0 %) и сортом «Золотой телец» (11,8-12,3 %), равно как и между различными формами нарезки. Содержание белков и липидов относительно невелико и практически не зависит от сорта или формы нарезки. Массовая доля органических кислот, в пересчете на яблочную

кислоту, несколько выше в гибриде «Барбаро» по сравнению с сортом «Золотой телец», однако практически не зависит от формы нарезки.

Таким образом, сушеные кабачки являются ценным источником углеводов, пищевых волокон и витамина С. Для максимального сохранения витамина С рекомендуется использовать нарезку кружочками, а гибрид «Барбаро» представляется более предпочтительным по сравнению с сортом «Золотой телец» с точки зрения содержания витамина С в сушеном продукте.

На следующем этапе изучали динамику развития микробной обсемененности на поверхности сушеных кабачков в процессе хранения. Для этого были подготовлены следующие образцы:

- образец №1 (гибрид «Барбаро», нарезанный кубиками);
- образец №2 (гибрид «Барбаро», нарезанный кружочками);
- образец №3 (сорт «Золотой телец», нарезанный кубиками);
- образец №4 (сорт «Золотой телец», нарезанный кружочками).

Подготовленные образцы расфасовали массой нетто 50 г в пакеты из полимерных материалов, герметично укупорили и хранили при температуре 18 ± 2 °С и относительной влажности воздуха 75 % в течение 180 суток в чистом, сухом хорошо вентилируемом помещении (в лабораторных условиях). Каждые 15 суток хранения исследовали динамику развития мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов

На рисунке 25 приведена динамика развития КМАФАнМ на поверхности кабачков гибрида «Барбаро» и сорта «Золотой телец» в процессе хранения, а на рисунке 26 - динамика развития плесеней.

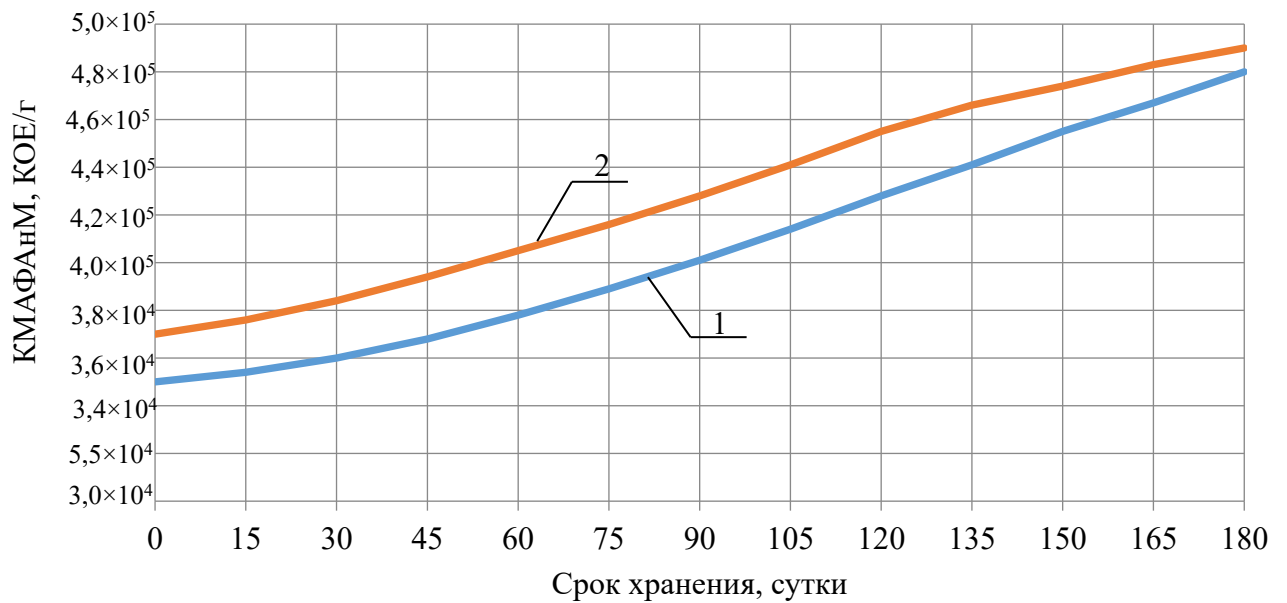


Рисунок 25 - Динамика развития КМАФАнМ на поверхности кабачков
в процессе хранения:

- 1 - гибрид «Барбаро», нарезанный кубиками, кружочками
- 2 - сорт «Золотой телец», нарезанный кубиками, кружочками

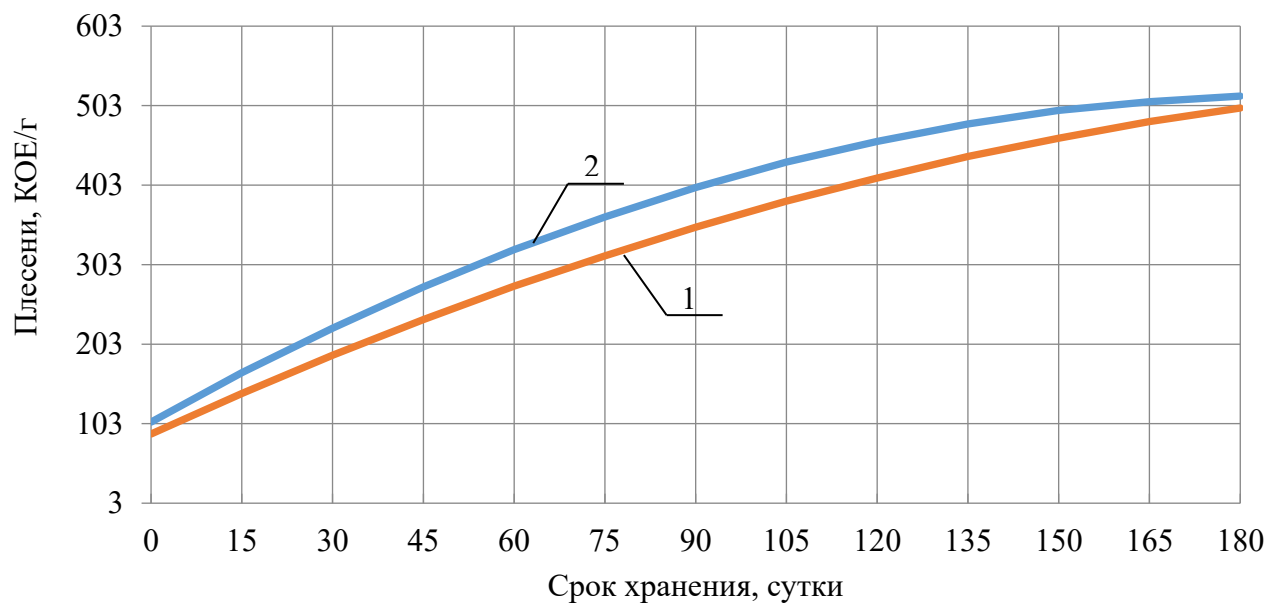


Рисунок 26 - Динамика развития плесеней на поверхности кабачков
в процессе хранения:

- 1 - гибрид «Барбаро», нарезанный кубиками, кружочками
- 2 - сорт «Золотой телец», нарезанный кубиками, кружочками

Установлено, что на 180 сутки хранения количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов приблизилось к значению 5×10^5 КОЕ/г, а количество плесеней стало выше 500 КОЕ/г. Данные значения является критическим в соответствии с ТР ТС 021/2011.

Таким образом, установлен срок хранения сушеных кабачков: не зависимо от формы нарезки срок хранения составляет 150 суток при температуре 18 ± 2 °С и относительной влажности воздуха - не более 75 %.

5 ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ АПРОБАЦИЯ И ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Апробация разработанной технологии сушеных кабачков была проведена в производственных условиях КФХ Бардин А.А. (г. Темрюк, Краснодарский край) (акт внедрения представлен в Приложении Е). Целью апробации являлась оценка эффективности применения электромагнитных полей крайне низких частот (ЭМП КНЧ) в качестве предварительной обработки кабачков свежих гибрида «Барбаро» и сорта «Золотой телец» для увеличения сроков хранения, а также оценка эффективности установленных режимов инфракрасной сушки.

Апробация проводилась следующим образом: сформировано две партии кабачков массой по 20 кг каждая (общий объем – 600 кг). Первая партия (контрольная) не подвергалась какой-либо предварительной обработке, вторая партия была обработана ЭМП КНЧ с использованием разработанной в КНИИХП установке (частота 22 Гц, электромагнитная индукция 3 мТл, экспозиция 30 минут). Обе партии (контрольная и обработанная) были подвергнуты идентичной подготовке к процессу сушки: нарезаны на кружочки толщиной 5 мм. Обе партии были высушены в ИК-сушилке: 300 мин при температуре 50 °С.

Расчет экономического эффекта от внедрения разработанной технологии сушки кабачков предварительно обработанных электромагнитными полями крайне низких частот, приведен в таблице 23.

Таблица 23 – Расчет экономического эффекта 1 кг сушеных кабачков

Статья затрат	ИК-сушка кабачков		Экономический эффект
	с предварительной обработкой ЭМП КНЧ	без обработки ЭМП КНЧ (контроль)	
1	2	3	4
1. Предварительная обработка ЭМП КНЧ:			
- время работы установки по обработке ЭМП КНЧ, ч	0,50	-	-

Продолжение таблицы 23

1	2	3	4
- потребление энергии установки по обработке ЭМП КНЧ, кВт (0,3 кВт/ч)	0,15	-	-
- стоимость энергии ЭМП КНЧ, руб. (8 руб./кВт·ч)	1,20	-	-1,20
- амортизация установки ЭМП КНЧ, руб.	5,00	-	-5,00
Итого затрат на предварительную обработку ЭМП КНЧ, руб.	6,20	-	-6,20
2. Затраты на сырье:			
- требуемое сырье на 1 кг сушеного продукта, кг	10,00	10,00	-
- потери при хранении, %	5,00	15,7	10,70
- фактически закуплено сырья, кг	10,53	11,86	1,33
- стоимость сырья, руб. (30 руб/кг)	315,90	355,8	39,90
3. Затраты на хранение:			
- длительность хранения, сут.	20	20	-
- затраты на хранение 1 кг сырья/сут, руб. (0,25 руб/кг/сут)	52,65	59,30	6,65
4. Затраты на ИК-сушку (после хранения):			
- время сушки, ч	6,00	6,00	-
- потребление энергии ИК-сушка, кВт (3,13 кВт/ч)	18,78	18,78	-
- стоимость энергии (8 руб./кВт·ч)	150,24	150,24	-
- амортизация ИК-оборудования, руб.	12,00	12,00	-
Итого затрат на сушку	162,24	162,24	-
Общие затраты на 1 кг готового продукта, руб.	536,99	577,34	40,35

Проведенный экономический анализ, результаты которого представлены в таблице 23, свидетельствует о высокой экономической эффективности разработанной технологии сушки кабачков с предварительной обработкой электромагнитными полями крайне низких частот (ЭМП КНЧ).

В ходе анализа установлено, что применение ЭМП КНЧ позволяет существенно снизить затраты на производство сушеных кабачков на 40,35 руб. на каждый килограмм готовой продукции. Основным фактором, обуславливающим экономическую выгоду, является снижение потерь сырья при хранении, которое достигается благодаря стабилизации физико-механических показателей кабачков и замедлению развития микробной контаминации. В результате, объем закупаемого сырья для производства 1 кг сушеного продукта сокращается, что приводит к существенной экономии на его закупке и хранении. Данная экономия перекрывает затраты, связанные с проведением предварительной обработки ЭМП КНЧ.

При планируемом объеме производства в 1 тонн сушеных кабачков в год, ожидаемый экономический эффект составит 40 350 рублей. Данный расчет учитывает только прямую экономию затрат на сырье и хранение. Следует также отметить, что внедрение технологии может привести к дополнительным экономическим эффектам, таким как повышение конкурентоспособности продукции за счет снижения себестоимости, сокращение производственных потерь и снижение риска порчи продукта.

Разработанная технология производства кабачков сушеных прошла опытную апробацию в реальных производственных условиях КФХ Бардин и признана эффективной и перспективной. Полученные результаты обосновывают целесообразность и экономическую эффективность внедрения данной технологии в практику сельскохозяйственного производства. Дальнейшие исследования могут быть направлены на оптимизацию параметров обработки ЭМП КНЧ и расширение ассортимента функциональных продуктов на основе растительного сырья.

Полученные результаты позволяют рекомендовать внедрение разработанной технологии на предприятиях агропромышленного комплекса как экономически эффективное решение, обеспечивающее конкурентоспособность продукции при сохранении её пищевой ценности.

Рекомендации и предложения производству

На основании проведенной апробации в условиях производства КФХ Бардин А.А. были получены положительные результаты, свидетельствующие об эффективности применения электромагнитных полей крайне низких частот (ЭМП КНЧ) в качестве предварительной обработки кабачков с целью увеличения сроков их хранения. Внедрение данной технологии позволит потенциально повысить эффективность производства и улучшить качество готовой продукции.

В связи с этим результаты исследований могут быть рекомендованы для использования на других предприятиях, занимающихся хранением и переработкой кабачков. Для успешного внедрения технологии на постоянной основе рекомендуется:

- осуществлять постепенное внедрение технологии, начиная с пилотной партии, для адаптации к конкретным условиям производства и отработки оптимальных параметров;
- использовать установленные режимы предварительной обработки кабачков свежих электромагнитными полями крайне низких частот (ЭМП КНЧ) в зависимости от сортовой принадлежности;
- использовать установленные режимы инфракрасной сушки, обеспечивающие оптимальное соотношение скорости сушки и сохранение высоких органолептических показателей;
- проводить регулярный контроль качества используемого сырья (влажность, содержание сахаров, отсутствие повреждений) для обеспечения стабильности технологического процесса и качества готовой продукции;

Для успешной реализации технологии необходимо:

- провести обучение персонала, задействованного в процессе сушки, по вопросам использования оборудования для обработки ЭМП КНЧ, соблюдения технологических режимов и контроля качества продукции;
- регулярно проводить органолептический анализ сушеных кабачков (цвет, вкус, ломкость) и оценивать их физико-химические показатели (влажность, содержание питательных веществ) для мониторинга качества и эффективности технологии;

- продолжать отслеживать экономическую эффективность внедренной технологии, включая затраты на электроэнергию, эксплуатацию оборудования и влияние на выход готовой продукции;

- обеспечить соблюдение всех норм и правил техники безопасности при работе с электрооборудованием, включая регулярный инструктаж персонала и проверку состояния оборудования;

- рассмотреть возможность адаптации режимов обработки ЭМП КНЧ и сушки к конкретным условиям производства (тип сушильного оборудования, производительность линии) для достижения максимальной эффективности.

В качестве перспективных направлений дальнейшего развития технологии предлагается:

- рассмотреть возможность применения разработанной технологии для сушки других овощей и фруктов (например, моркови, свеклы, яблок), что позволит расширить ассортимент производимой продукции;

- провести дополнительные исследования по оптимизации режимов обработки ЭМП КНЧ (частота, индукция, время) для других сортов/гибридов кабачков, а также для других видов овощей и фруктов;

- рассмотреть возможность автоматизации процесса обработки ЭМП КНЧ для повышения производительности и снижения трудозатрат и минимизации человеческого фактора;

- акцентировать внимание на преимуществах продукта, полученного с использованием данной технологии, в маркетинговых материалах (например, более высокое качество и сохранение питательных свойств).

Перспективы дальнейшей разработки темы

Перспективы дальнейшей разработки темы включают создание компактных и экономичных установок ЭМП КНЧ для фермерских хозяйств с оптимизацией режимов обработки для различных сортов и гибридов кабачков. Важным направлением является автоматизация и цифровизация процесса, разработка IoT-решений для удаленного мониторинга и управления. Также перспективна адаптация технологии для других культур, изучение её влияния на

микробиологическую безопасность и комбинирования с другими технологиями хранения. Необходимо провести экономическую оценку целесообразности внедрения и разработать бизнес-план для производства установок. Фундаментальные исследования должны быть направлены на разработку математических моделей и изучение механизмов действия ЭМП КНЧ на клеточном и молекулярном уровнях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ научно-технической литературы и патентной информации показал, что несмотря на растущую динамику рынка сушеных овощей в России, производство которых увеличилось с 18,1 до 29,4 тыс. тонн за последние пять лет, доля сушеных кабачков остается относительно невысокой (12 % в структуре рынка), а также наиболее перспективным и эффективным способом повышения безопасности растительного сырья является применение электромагнитных полей крайне низких частот.

2. Экспериментально обоснован выбор кабачков гибрида «Барбаро» и сорта «Золотой телец», соответствующих дополнительно сформулированным требованиям к качеству кабачков (цилиндрическая форма, диаметр 40-60 мм, масса 200-400 г, длина около 15 см), в качестве исходного сырья для производства сушеных кабачков с высокими органолептическими и пищевыми свойствами за счет высокого содержания сухих веществ, редуцирующих сахаров и витамина С.

3. Установлено положительное влияние предварительной обработки кабачков свежих электромагнитными полями крайне низких частот на снижение количества МАФАНМ на их поверхности и стабилизацию массы и твердости плодов в процессе хранения, что позволило увеличить срок хранения кабачков на 5 суток.

4. На основании измерения ядерно-релаксационных характеристик кабачков свежих установлено количество свободной и связанной влаги. Критическими параметрами для контроля процесса сушки кабачков сорта «Барбаро» является достижение влажности 9,2 %, сорта «Золотой телец» - 7,3 %, определены оптимальные формы нарезки - «кружки» толщиной 5 мм и «кубики» с ребром 10 мм. Установлено, что применение инфракрасного нагрева сокращает продолжительность сушки на 25-30 % по сравнению с конвективной сушкой при идентичных параметрах температуры (45-60 °С), скорости воздуха (2 м/с) и влажности (15-20 %).

5. Установлено, применение инфракрасной сушки является энергоэффективным методом в сравнении с конвективной сушкой, исключая необходимость сложного двухэтапного режима, поскольку позволяет сократить

время процесса сушки на 25-30 %, в зависимости от формы нарезки кабачков, обеспечивая при этом снижение потери витамина С на 10% и высокие органолептические показатели готового продукта. Установлены зависимости итогового показателя органолептической оценки от температуры и продолжительности инфракрасной сушки.

6. На основании проведённого кластерного анализа установлено что оптимальное качество сушеных кабачков достигается при обработке ЭМП КНЧ с параметрами 24 Гц/30 мин для гибрида «Барбаро» и 22 Гц/20 мин для сорта «Золотой телец» в сочетании с ИК-сушкой при 50 °С.; форма нарезки кубики и кружочки.

7. Разработана научно-обоснованная технология производства сушеных кабачков, при этом установлено, что сушеные кабачки, произведенные по разработанной технологии, характеризуются высокими потребительскими свойствами, включая органолептические и физико-химические свойства, безопасность, сохраняемость и пищевую ценность. На основании исследования нутриентного состава сушеных кабачков установлено, что содержание витамина С сохранилось на уровне 70-75 % от исходного значения.

8. Разработан комплект технической документации: технические условия на кабачки сушеные и технологическая инструкция по производству сушеных кабачков. Проведена производственная апробация разработанной технологии и оценка экономической эффективности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации // Собрание законодательства РФ. – 2020. – №4. – С. 464. – URL: <https://publication.pravo.gov.ru> (Дата обращения 18.07.2024)
2. Usall, J., Ippolito A., Sisquella M., Neri F. Physical treatments to control postharvest diseases of fresh fruits and vegetables // *Postharvest Biology and Technology*. – 2016. – №122. – P. 30–40.
3. Nigro F., Ippolito A., Lattanzio V., Di Venere D., Salerno M. Effect of ultraviolet-C light on postharvest decay of strawberry // *Journal of Plant Pathology*. – 2000. – 82(1). – P. 29–37.
4. El Ghaouth A., Wilson C. L., Callahan A. M. Induction of chitinase, β -1, 3-glucanase, and phenylalanine ammonia lyase in peach fruit by UV-C treatment // *Phytopathology*. – 2003. – 93(3). – P. 349–355.
5. Cantos E., García-Viguera C., de Pascual-Teresa S., Tomás-Barberán F. A. Effect of Postharvest Ultraviolet Irradiation on Resveratrol and Other Phenolics of Cv. Napoleon Table Grapes // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2000. – № 48(10). – P. 4606–4612.
6. Romanazzi G., Gabler F.M., Smilanick J.L. Preharvest Chitosan and Postharvest UV Irradiation Treatments Suppress Gray Mold of Table Grapes // *Plant disease*. – 2006. – № 90(4). – P. 445–450.
7. Ojaghian M. R., Zhang J., Xie G., Wang Q. Efficacy of UV-C radiation in inducing systemic acquired resistance against storage carrot rot caused by *Sclerotinia sclerotiorum* // *Postharvest Biology and Technology*. – 2017. № 130. – P. 94–102.
8. Romanazzi G., Nigro F., Ippolito A., Salerno M. Effect of Short Hypobaric Treatments on Postharvest Rots of Sweet Cherries, Strawberries and Table Grapes // *Postharvest Biology and Technology*. – 2001. – № 22 (1). – P. 1–6.
9. Hashmi M.S., East A.R., Palmer J.S., Heyes J.A. Pre-Storage Hypobaric Treatments Delay Fungal Decay of Strawberries // *Postharvest Biology and Technology*. – 2013. – № 77. – P. 75–79.

10. Spadoni A, Guidarelli M, Mari M, Sanzani SM, Ippolito A. Heat treatment to control brown rot and preserve the fruit quality of peaches // *Acta horticulturae*. – 2014. – № 1053. – P. 157–162.

11. Terao D., Nechet K., Ponte M. [et. al.] Physical postharvest treatments combined with antagonistic yeast on the control of orange green mold // *Scientia Horticulturae*. – 2017. – № 224. – P. 317–323.

12. Casals C., Teixidó N., Viñas I., Silvera E., Lamarca N., Usall, J. Combination of hot water, *Bacillus subtilis* CPA–8 and sodium bicarbonate treatments to control postharvest brown rot on peaches and nectarines // *European Journal of Plant Pathology*. – 2010. – № 128(1). – P. 51–63.

13. Zotarelli M.F. Almeida Porciuncula B. D., Laurindo J. B. A convective multi-flash drying process for producing dehydrated crispy fruits // *Journal of Food Engineering*. – 2012. – № 108 (4). – P. 523–531.

14. Назарько М.Д., Лобанов В.Г., Касьянов Г.И., Усатилов С. В., Иночкина Е.В., Кириченко А.В. Разработка физико–биологических методов защиты для повышения сохранности и качества яблок // *Известия ВУЗов. Пищевая технология*. – 2019. – № 5–6 (371–372). – с. 53–57.

15. Першакова Т.В., Купин Г.А., Тягушева А.А., Алёшин В.Н. Влияние обработки электромагнитными полями на активность пероксидазы и содержание полифенолов в капусте при хранении // *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. – 2021. – № 5–6 (383–384). – С. 21–25.

16. Першакова Т.В., Купин Г.А., Горлов С.М., Тягушева А.А., Алёшин В.Н. Влияние электромагнитных полей крайне низкой частоты на содержание воды, клетчатки, растворимых углеводов, белка и витамина С в цветной капусте при хранении // *Плодоводство и виноградарство Юга России*. – 2021. – № 68 (2). – С. 287–296.

17. United Nations Environment Programme : report of the Governing Council on the work of its 14th session, 8–19 June 1987 [Электронный ресурс] URL: <https://digitallibrary.un.org/record/145408?v=pdf>

18. Bernhardt J. H. Non-ionizing radiation safety: radiofrequency radiation, electric and magnetic fields // *Environmental Science, Medicine, Physics*. – 1992. № 37, 4.

19. Tenforde T. Biological interaction of extremely-low-frequency electromagnetic fields // *Biological Effects of Magnetic and Electromagnetic Fields*. – 1996. – P.23–35.

20. Goodman R, Shirley-Henderson A. Transcription and translation in cells exposed to extremely low frequency electromagnetic fields // *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*. – 1991. – № 25(3). – P.335–355.

21. Sienkiewicz Z.J., Saunders R.D., Kowalczyk C.I. Biological Effects of Exposure to Non-Ionising Electromagnetic Fields and Radiation // *National Radiological Protection Board edition*. – 1991. P. 101.

22. Sienkiewicz Z. J., Saunders R. D., Kowalczyk C. I. The biological effects of exposure to non-ionising electromagnetic fields and radiation: II Extremely low frequency electric and magnetic fields. – 1993. – P. 32.

23. Baureus Koch C. L, Sommarin M., Persson B.R., Salford L.G., Eberhardt J.L. Interaction between weak low frequency magnetic fields and cell membranes // *Bioelectromagnetics*. – 2003. – № 6. – P. 395–402.

24. Pall M.L. Electromagnetic fields act via activation of voltage-gated calcium channels to produce beneficial or adverse effects // *Journal of Cellular and Molecular Medicine*. – 2013. – № 17. – P. 958–965.

25. Falone S., Grossi M.R., Cinque B., D'Angelo B., Tettamanti E., Cimini A., Di Ilio C., Amicarelli F. Fifty hertz extremely low-frequency electromagnetic field causes changes in redox and differentiative status in neuroblastoma cells // *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*. – 2007. – № 39. – P. 2093–2106.

26. Warille A.A., Altun G., Elamin A.A., Kaplan A.A., Mohamed H., Yurt K.K., El Elhaj A. Skeptical approaches concerning the effect of exposure to electromagnetic fields on brain hormones and enzyme activities // *Journal of Microscopy and Ultrastructure*. – 2017. – № 5(4). – P.177–184.

27. Strašák L., Vetteri V., Smarda J. The effect of low-frequency electromagnetic fields on living organisms // Sbornik Lekarsky. – 1998. – № 99(4). – P. – 455–64.

28. Fojt L., Strasak L., Vetterl V., Smarda, J. Comparison of the Low-Frequency Magnetic Field Effects on Bacteria *Escherichia coli*, *Leclercia adecarboxylata* and *Staphylococcus aureus* // *Bioelectrochemistry*. – 2004. – № 63. – P. 337–341.

29. EL-Sayed A. G., Magda S. H., Eman Y.T., Mona H.I. The effect of electromagnetic field on protein molecular structure of *E. coli* and its pathogenesis // *Romanian J. Biophys.* – 2008. – № 18 (2). – P. 145–169.

30. Karaguler T., Kahraman H., Tuter M. Analyzing effects of ELF electromagnetic fields on removing bacterial biofilm // *Journal of Applied Biomedicine*. – 2017. – № 37. – P. 336–340.

31. Патент № 182572 Российская Федерация, МПК A23B 7/00(2006.01). Установка для обработки фруктов или овощей перед закладкой на хранение: № 2018115940: заявл. 2018.04.26: опубл. 2018.08.23 / Купин Г.А., Першакова Т.В., Алешин В.Н., Панасенко Е. Ю., Горлов С.М.; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия" (ФГБНУ СКФНЦСВВ). – 5 с.

32. Купин Г. А., Викторова Е. П., Алёшин В.Н., Михайлюта Л.В. Исследование влияния электромагнитного поля на изменение микробиальной обсеменности корнеплодов моркови в процессе хранения // *Аграрный вестник Северного Кавказа*. – 2015. – №4 (20). – С. 231–236.

33. Лисовой В.В., Першакова Т.В., Викторова Е.П., Купин Г.А., Алёшин В.Н., Михайлюта Л.В. Исследование влияния электромагнитных полей на изменение микробиальной обсеменности фруктов в процессе хранения // *Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ*. – 2017. – №126. – С. 843–854.

34. Pershakova T.V., Kupin G.A., Mihaylyuta L.V., Babakina M.V., Gorlov S.M., Lisovoy V.V. Investigation of the influence of an extremely low-frequency

electromagnetic field on carrot phytopathogens in–vivo and in–vitro // Journal of Pharmaceutical Sciences and Research. – 2018. – № 8. –P. 1897–1901.

35.Pershakova T.V., Gorlov S.M., Lisovoy V.V., Mikhaylyuta L.V., Babakina M.V., Aleshin V.N. Influence of electromagnetic fields and microbial pesticide Vitaplan on stability of apples during storage // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – №. 640. – С. 022053.

36.Патент № 2577398 Российская Федерация, МПК A01F 25/00(2006.01). Способ хранения моркови: № 2014151297/13: заявл. 2014.12.17: опубл. 2016.03.20 / Лисовой В.В., Купин Г.А., Викторова Е. П., Слис Э.В., Михайлюта Л. В.; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Краснодарский научно–исследовательский институт хранения и переработки сельскохозяйственной продукции» (ФГБНУ КНИИХП). – 4 с.

37.Патент № 2591719 Российская Федерация, МПК A01F 25/00(2006.01). Способ хранения столовой свеклы: № 2015115453/13, заявл. 2015.04.23: опубл. 2016.07.20 / Лисовой В.В., Купин Г.А., Викторова Е. П., Великанова Е. В., Гораш Е. Ю., Федосеева О.В.; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Краснодарский научно–исследовательский институт хранения и переработки сельскохозяйственной продукции» (ФГБНУ КНИИХП). – 4 с.

38.Патент № 2624953 Российская Федерация, МПК A01F 25/00(2006.01). Способ хранения яблок и груш: № 2016120482, заявл. 2016.05.25: опубл. 2017.07.11 / Лисовой В.В., Викторова Е.П., Купин Г.А., Бабакина М.В., Михайлюта Л.В., Алешин В.Н., Першакова Т.В., Ачмиз А.Д.; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Краснодарский научно–исследовательский институт хранения и переработки сельскохозяйственной продукции» (ФГБНУ КНИИХП). – 4 с.

39.Патент № 2660251 Российская Федерация, МПК A01F 25/00(2006.01). Способ хранения яблок и груш: № 2017139356, заявл. 2017.11.13: опубл. 2018.07.05 / Купин Г.А., Першакова Т.В., Алешин В.Н., Панасенко Е.Ю, Михайлюта Л.В., Бабакина М.В.; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное

учреждение «Краснодарский научно–исследовательский институт хранения и переработки сельскохозяйственной продукции» (ФГБНУ КНИИХП). – 5 с.

40.Jia Y., Khalifa I., Hu L., Zhu W., Li J., Li K., Li C. Influence of three different drying techniques on persimmon chips' characteristics: A comparison study among hot–air, combined hot–air–microwave, and vacuum–freeze drying techniques // Food and Bioproducts Processing. – 2019. – № 118. – P. 67–76.

41.Reis F.R., Marques C., Moraes F., Masson M. Trends in quality assessment and drying methods used for fruits and vegetables // Food Control. – 2022. – № 142. – 109254.

42.Bozkir H., Ergün A., Serdar E., Metin G., Baysal T. Influence of ultrasound and osmotic dehydration pretreatments on drying and quality properties of persimmon fruit // Ultrasonics Sonochemistry. – 2019. – № 54. – P. 135–141.

43.Fauster T., Giancaterino M., Pittia P., Jaeger H. Effect of pulsed electric field pretreatment on shrinkage, rehydration capacity and texture of freeze–dried plant materials // LWT. – 2020. – № 121. – 108937.

44.Salehi F. Recent advances in the ultrasound–assisted osmotic dehydration of agricultural products: A review // Food Bioscience. – 2023. – № 51. – 102307.

45.Zotarelli M.F., Porciuncula B., Laurindo J. A convective multi–flash drying process for producing dehydrated crispy fruits // Journal of Food Engineering. – 2012. – № 108 (4). – P.523–531.

46.Sun Y., Zhang M., Mujumdar A. Berry drying: Mechanism, pretreatment, drying technology, nutrient preservation, and mathematical models // Food Engineering Reviews. – 2019. – № 11 (2). – P. 61–77.

47.Nistor O.–V., Seremet (Ceclu) L., Andronoiu D. G., Rudi L., Botez E. Influence of different drying methods on the physicochemical properties of red beetroot (*Beta vulgaris* L. var. *Cylindra*) // Food Chemistry. – 2017. – № 236. – P. 59–67.

48.Kumar A., Begum A., Hoque M., Hussain S., Srivastava B. Textural degradation, drying and rehydration behaviour of ohmically treated pineapple cubes // LWT. – 2021. – № 142. – 110988.

49.Oshima T., Kato K., Imaizumi T. Effects of blanching on drying characteristics, quality, and pectin nanostructures of dried cut-persimmons // LWT. – 2021. – № 143. – 111094.

50.Waghmare R., Munekata P. S., Kumar M., Moharir S. R., Yadav R., Dhama K., Lorenzo J. M. Instant controlled pressure drop drying: A review on preservation of quality characteristics in fresh produce // Food Chemistry. – 2023. – № 419.–136039.

51.Seremet L., Botez E., Nistor O–V., Andronoiu D. G., Mocanu G–B. Effect of different drying methods on moisture ratio and rehydration of pumpkin slices // Food Chemistry. – 2016. – № 195. – P. 104–109.

52.Kumar C., Karim M.A. Microwave–convective drying of food materials: A critical review // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 2019. – № 59 (3). – P. 379–394.

53.Pateiro M., Vargas–Ramella M., Franco D., Gomes da Cruz A., Zengin G., Kumar M., Dhama K., Lorenzo J.The role of emerging technologies in the dehydration of berries: Quality, bioactive compounds, and shelf life // Food Chemistry: X. – 2022. – № 16. – 100465.

54.Назарько М.Д., Лобанов В.Г., Касьянов Г.И., Усатилов С.В., Иночкина Е.В., Кириченко А.В. Разработка физико–биологических методов защиты для повышения сохранности и качества яблок // Известия ВУЗов. Пищевая технология. – 2019. – № 5–6 (371–372). – С. 53–57.

55.Першакова Т.В., Купин Г.А., Тягушева А.А., Алёшин В.Н. Влияние обработки электромагнитными полями на активность пероксидазы и содержание полифенолов в капусте при хранении // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2021а. – № 5–6 (383–384). – С. 21–25.

56.Першакова Т.В., Купин Г.А., Горлов С.М., Тягушева А.А., Алёшин В.Н. Влияние электромагнитных полей крайне низкой частоты на содержание воды, клетчатки, растворимых углеводов, белка и витамина С в цветной капусте при хранении // Плодоводство и виноградарство Юга России. – 2021. – № 68 (2). – С. 287–296.

- 57.Першакова Т.В., Купин Г.А., Бабакина М.В., Горлов С.М., Алёшин В.Н. Влияние вида обработки на показатели товарного качества и срок хранения ягод земляники // Известия ВУЗов. Пищевая технология. – 2022. – №: 4 (388). – С. 51–62.
- 58.Zare D., Ranjbaran M. Simulation and validation of microwave-assisted fluidized bed drying of soybeans // *Drying Technology*. – 2012. – Vol. 30, No. 3. – P. 236 – 247.
- 59.Abdoli B., Zare D., Jafari A., Chen G. Evaluation of the air-borne ultrasound on fluidized bed drying of shelled corn: effectiveness, grain quality, and energy consumption // *Drying Technology*. – 2018. – Vol. 36, No. 14. – P. 1749 – 1766.
- 60.Aghbashlo M., Kianmehr M.H., Hassan-Beygi S.R. Drying and rehydration characteristics of sour cherry (*Prunus cerasus* L.) // *Journal of Food Process Engineering*. – 2010. – Vol. 34, No. 2. – P. 351 – 365.
- 61.Salehi F. Recent applications and potential of infrared dryer systems for drying various agricultural products: a review // *International Journal of Fruit Science*. – 2020. – Vol. 20, Suppl. 1. – P. 586 – 602.
- 62.Doymaz İ. Drying of black carrot pomace in an infrared dryer: kinetics, modelling and energy efficiency // *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences — Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*. – 2019. – Vol. 37, No. 1. – P. 71 – 84.
- 63.Zhongcai W., Chuanzhu S., Lili Z., Guoliang S., Dongyue S. Progress of infrared drying technology applied in processing of fruits and vegetables and grain // *Food Machinery*. – 2016. – Vol. 32. – P. 217 – 220.
- 64.Nachaisin M., Jamradloedluk J., Niamnuy C. Application of combined far infrared radiation and air convection for drying of instant germinated brown rice // *Journal of Food Process Engineering*. – 2016. – Vol. 39, No. 4. – P. 306 – 318.
- 65.Wilson S., Okeyo A., Olatunde G., Atungulu G. Radiant heat treatments for corn drying and decontamination // *Journal of Food Process Engineering*. – 2017. – Vol. 41, No. 1. – Article e13193.
- 66.Du Y.J., Yan J.C., Wei H., Xie H.X., Wu Y.H., Zhou J.E. Drying kinetics of paddy drying with graphene far-infrared drying equipment at different IR temperatures,

radiation distances, grain flow, and dehumidifying velocities // *Case Studies in Thermal Engineering*. – 2023. – Vol. 43. – Article 102780.

67.Jibril A.N., Zhang X., Wang S., Bello Z.A., Henry I.I., Chen K. Far-infrared drying influence on machine learning algorithms in improving corn drying process with graphene irradiation heating plates // *Journal of Food Process Engineering*. – 2024. – Vol. 47, No. 1. – Article e14603.

68.Alshehri A.A., Tolba N.M., Salama M.A., Saleh M., Kamel R.M. Energy analysis and quality characteristics of flaxseed oil by using an infrared rotary dryer // *Case Studies in Thermal Engineering*. – 2024. – Vol. 54. – Article 103988.

69.El-Mesery H.S., Kamel R.M., Emara R.Z. Influence of infrared intensity and air temperature on energy consumption and physical quality of dried apple using hybrid dryer // *Case Studies in Thermal Engineering*. – 2021. – Vol. 27. – Article 101365.

70.Dolgun G.K., Aktaş M., Dolgun E.C. Infrared convective drying of walnut with energy-exergy perspective // *Journal of Food Engineering*. – 2021. – Vol. 306. – Article 110638.

71.Doymaz İ., Tunçkal C., Göksel Z. Comparison of drying kinetics, energy efficiency and color of dried eggplant slices with two different configurations of a heat pump dryer // *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*. – 2023. – Vol. 45, No. 3. – P. 690 – 707.

72.Nurmawati T., Hadiyanto H., Cahyadi C., Fachrizal N., Sutopo S. Efficiency and energy consumption analysis of infrared-assisted drying of oyster mushrooms // *International Journal of Heat and Technology*. – 2023. – Vol. 41, No. 4. – P. 1035 – 1042.

73.İsmail O., Kocabay Ö. Evaluation of the drying methods and conditions with respect to drying kinetics, colour quality and specific energy consumption of thin layer pumpkins // *Bulgarian Chemical Communications*. – 2016. – Vol. 48, No. 3. – P. 480 – 491.

74.Onwude D.I., Hashim N., Chen G. Recent advances of novel thermal combined hot air drying of agricultural crops // *Trends in Food Science & Technology*. – 2016. – Vol. 57. – P. 132 – 145.

75.Li B., Li C., Li T., Zeng Z., Ou W., Li C. Exergetic, energetic, and quality performance evaluation of paddy drying in a novel industrial multi-field synergistic dryer // *Energies*. – 2019. – Vol. 12, No. 23. – P. 4588.

76.Zare D., Naderi H., Ranjbaran M. Energy and quality attributes of combined hot-air/infrared drying of paddy // *Drying Technology*. – 2015. – Vol. 33, No. 5. – P. 570 – 582.

77.Barzegar M., Zare D., Stroshine R.L. An integrated energy and quality approach to optimization of green peas drying in a hot air infrared-assisted vibratory bed dryer // *Journal of Food Engineering*. – 2015. – Vol. 166. – P. 302 – 315.

78.Onwude D.I., Hashim N., Abdan K., Janius R., Chen G. The effectiveness of combined infrared and hot-air drying strategies for sweet potato // *Journal of Food Engineering*. – 2019. – Vol. 241. – P. 75 – 87.

79.El-Mesery H.S., Mwithiga G. Performance of a convective, infrared and combined infrared-convective heated conveyor-belt dryer // *Journal of Food Science and Technology*. – 2015. – Vol. 52, No. 5. – P. 2721–2730.

80.Teymori-Omran M., Askari Asli-Ardeh E., Taghinezhad E., Motevali A., Szumny A., Nowacka M. Enhancing energy efficiency and retention of bioactive compounds in apple drying: comparative analysis of combined hot air–infrared drying strategies // *Applied Sciences*. – 2023. – Vol. 13, No. 13. – P. 7612.

81.Taghinezhad E., Kaveh M., Khalife E., Chen G. Drying of organic blackberry in combined hot air-infrared dryer with ultrasound pretreatment // *Drying Technology*. – 2021. – Vol. 39, No. 12. – P. 2075 – 2091.

82.Taghinezhad E., Kaveh M., Szumny A. Thermodynamic and quality performance studies for drying kiwi in hybrid hot air-infrared drying with ultrasound pretreatment // *Applied Sciences*. – 2021. – Vol. 11, No. 3. – P. 1297.

83.Abbaspour-Gilandeh Y., Kaveh M., Fatemi H., Aziz M. Combined hot air, microwave, and infrared drying of hawthorn fruit: effects of ultrasonic pretreatment on drying time, energy, qualitative, and bioactive compounds' properties // *Foods*. – 2021. – Vol. 10, No. 5. – P. 1006.

84.Geng Z., Wang H., Torki M., Beigi M., Zhu L., Huang X., Yang X., Hu B. Thermodynamically analysis and optimization of potato drying in a combined infrared/convective dryer // *Case Studies in Thermal Engineering*. – 2023. – Vol. 42. – Article 102671.

85.El-Mesery H.S., Abomohra A.E.-F., Kang C.-U., Cheon J.-K., Basak B., Jeon B.-H. Evaluation of infrared radiation combined with hot air convection for energy-efficient drying of biomass // *Energies*. – 2019. – Vol. 12, No. 15. – P. 2818.

86.Aghbashlo M., Mobli H., Rafiee S., Madadlou A. A review on exergy analysis of drying processes and systems // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2013. – Vol. 22. – P. 1 – 22.

87.Akhtaruzzaman M., Mondal M.H.T., Sarker M.S.H., Biswas M., Shanta S.A., Sheikh M.A.M. Evaluation of drying characteristics, energy consumption and quality of parboiled paddy: two stage drying // *Journal of Agriculture and Food Research*. – 2022. – Vol. 8. – Article 100284.

88.El-Mesery H.S., Sarpong F., Xu W., Elabd M.A. Design of low-energy consumption hybrid dryer: a case study of garlic (*Allium sativum*) drying process // *Case Studies in Thermal Engineering*. – 2022. – Vol. 33. – Article 101929.

89.Aktaş M., Khanlari A., Amini A., Şevik S. Performance analysis of heat pump and infrared–heat pump drying of grated carrot using energy-exergy methodology // *Energy Conversion and Management*. – 2017. – Vol. 132. – P. 327 – 338.

90.An J., Du Y., Yan J., Xie H., Liao X., Wei H. Study on the characteristics and kinetics of microwave hot air combined drying of peanut pods // *Case Studies in Thermal Engineering*. – 2024. – Vol. 60. – Article 104640.

91.Thonglit W., Suanjan S., Chupawa P., Inchuen S., Duangkhamchan W. Enhanced quick-cooking red beans: an energy-efficient drying method with hot air and stepwise microwave techniques // *Foods*. – 2024. – Vol. 13, No. 5. – P. 763.

92.Jindarat W., Sungsoontorn S., Rattanadecho P. Analysis of energy consumption in a combined microwave-hot air spouted bed drying of biomaterial: coffee beans // *Experimental Heat Transfer*. – 2015. – Vol. 28, No. 2. – P. 107 – 124.

- 93.Varith J., Dijkanarukkul P., Achariyaviriya A., Achariyaviriya S. Combined microwave-hot air drying of peeled longan // *Journal of Food Engineering*. –2007. – Vol. 81, No. 2. – P. 459–468.
- 94.Darvishi H., Khodaei J., Behrooz-Khazaei N., Salami P., Akhijahani H.S. Greenhouse gas emission reduction potential, energy and exergy analysis of combined microwave-convective dryer // *Energy*. – 2023. – Vol. 285. –Article 128772.
- 95.El-Mesery H.S., El-Khawaga S. Drying process on biomass: evaluation of the drying performance and energy analysis of different dryers // *Case Studies in Thermal Engineering*. – 2022. – Vol. 33. – Article 101953.
- 96.Poogungploy P., Poomsa-ad N., Wiset L. Control of microwave assisted macadamia drying // *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*. – 2018. – Vol. 52, No. 1. – P. 60 – 72.
- 97.Tian Y., Wu S., Zhao Y., Zhang Q., Huang J., Zheng B. Drying characteristics and processing parameters for microwave-vacuum drying of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) slices // *Journal of Food Processing and Preservation*. –2015. – Vol. 39, No. 6. – P. 2620–2629.
- 98.Calín-Sanchez A., Figiel A., Szarycz M., Lech K., Nuncio-Jáuregui N., Carbonell-Barrachina A.A. Drying kinetics and energy consumption in the dehydration of pomegranate (*Punica granatum* L.) arils and rind // *Food and Bioprocess Technology*. – 2014. – Vol. 7, No. 7. – P. 2071 – 2083.
- 99.Dai J., Yang S., Xie Y., Wang J., Wen M., Ren L. Design and experiments of rotating tray microwave vacuum dryer // *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery*. – 2020. – Vol. 51, No. 9. – P. 370–376.
- 100.Krulis M., Kühnert S., Leiker M., Rohm H. Influence of energy input and initial moisture on physical properties of microwave-vacuum dried strawberries // *European Food Research and Technology*. – 2005. – Vol. 221, No. 6. – P. 803–808.
- 101.Das P.C., Baik O.-D., Tabil L.G. Microwave-infrared drying of cannabis (*Cannabis sativa* L.): effect on drying characteristics, energy consumption and quality // *Industrial Crops and Products*. – 2024. – Vol. 211. – Article 118215.

102.Nanvakenari S., Movagharnejad K., Latifi A. Modelling and experimental analysis of rice drying in new fluidized bed assisted hybrid infrared-microwave dryer // Food Research International. – 2022. – Vol. 159. – Article 111617.

103.Shi Q., Zheng Y., Zhao Y. Thermal transition and state diagram of yacon dried by combined heat pump and microwave method // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. – 2015. – Vol. 119, No. 1. – P. 727 – 735.

104.Salehi F., Kashaninejad M. Mass transfer and color changes kinetics of infrared-vacuum drying of grapefruit slices // International Journal of Fruit Science. – 2018. – Vol. 18, No. 4. – P. 394 – 409.

105.Chauhan O.P., Unni L.E. Pulsed electric field (PEF) processing of foods and its combination with electron beam processing // Electron Beam Pasteurization and Complementary Food Processing Technologies / Ed. by S.D. Pillai, S. Shayanfar. – Woodhead Publishing, 2015. – P. 157 – 184.

106.Gavahian M., Cullen P.J. Cold plasma as an emerging technique for mycotoxin-free food: efficacy, mechanisms, and trends // Food Reviews International. – 2020. – Vol. 36, No. 2. – P. 193 – 214.

107.Lacombe A., Niemira B.A., Gurtler J.B., Fan X., Sites J., Boyd G., Chen H. Atmospheric cold plasma inactivation of aerobic microorganisms on blueberries and effects on quality attributes // Food Microbiology. – 2015. – Vol. 46. – P. 479 – 484.

108.Zhang M., Oh J.K., Cisneros-Zevallos L., Akbulut M. Bactericidal effects of nonthermal low-pressure oxygen plasma on *S. typhimurium* LT2 attached to fresh produce surfaces // Journal of Food Engineering. – 2013. – Vol. 119, No. 3. – P. 425 – 432.

109.Zhang X.-L., Zhong C.-S., Mujumdar A.S., Yang X.-H., Deng L.-Z., Wang J., Xiao H.-W. Cold plasma pretreatment enhances drying kinetics and quality attributes of chili pepper (*Capsicum annuum* L.) // Journal of Food Engineering. – 2019. – Vol. 241. – P. 51 – 57.

110.Parniakov O., Wiktor A., Toepfl S. Application Concepts for PEF in Food and Biotechnology // Pulsed Electric Fields in Food Processing: Fundamental Principles and Applications. – 2021. – P. 160 – 172.

111. Nowak M., Lewicki P. Infrared drying of apple slices // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. – 2020. – Vol. 64. – Article 101484.

112. Nowak D., Pankiewicz U., Fijałkowski K. Innovative drying techniques for fruits and vegetables: Energy efficiency and quality aspects // *Food and Bioprocess Technology*. – 2022. – Vol. 15. – P. 1 – 12.

113. Agnihotri S., Moreira R. Pulsed electric fields: A promising technology for improving drying kinetics of fruits and vegetables // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. – 2021. – Vol. 67. – Article 101754.

114. Barba F.J., Parniakov O., Wiktor A. и др. Pulsed electric fields (PEF) application in food: Challenges and opportunities // *Trends in Food Science & Technology*. – 2020. – Vol. 102. – P. 113 – 123.

115. Li B., Li C., Li T., Zeng Z., Ou W., Li C. Exergetic, energetic, and quality performance evaluation of paddy drying in a novel industrial multi-field synergistic dryer // *Energies*. – 2019. – Vol. 12, No. 23. – P. 4588.

116. Программа фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021–2030 гг.): утв. распоряжением Правительства РФ от 31.12.2020 № 3684-р. Официальный интернет-портал правовой информации. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://publication.pravo.gov.ru/document/0001202012310017> (Дата обращения: 05.04.2024).

117. Росстат. Официальные данные по производству и потреблению овощей в РФ. 2023. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru> (Дата обращения: 05.04.2023).

118. Министерство здравоохранения РФ. Национальные рекомендации по питанию для населения Российской Федерации. 2024. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://minzdrav.gov.ru> (Дата обращения: 07.03.2024).

119. Краснодарстат. Отчёт по производству овощей в Краснодарском крае в 2023 – 2024 годах. 2024. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://krasnodarstat.gks.ru> (Дата обращения: 11.02.2024).

120. Росстат. Агросектор России: данные по формам хозяйствования. 2024. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru> (Дата обращения: 15.05.2024).

121. Краснодарстат. Отчёт по урожайности и реализации овощей в Краснодарском крае за 2023–2024 гг. 2024. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://krasnodarstat.gks.ru> (Дата обращения: 20.06.2024).

122. ФГБНУ «Кубанский научно-исследовательский институт сельского хозяйства». Климатические условия и их влияние на овощеводство Краснодарского края. 2024. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://kniish.krasnodar.pf> (Дата обращения: 16.06.2024).

123. Баранов А.А., Иванова Е.В., Смирнов А.Н. Микробиологические аспекты хранения свежих и свежемороженых овощей // Вестник микробиологии и биотехнологии. – 2023. – № 4. – С. 102 – 110.

134. ФГБНУ «Всероссийский НИИ овощеводства». Овощеводство в условиях температурного стресса: адаптация и хранение. 2024. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://vniio.ru> (Дата обращения: 16.06.2024).

125. Иванов А.А., Петров С.Н. Физиологические изменения при хранении тыквенных культур // Вестник сельскохозяйственной науки. – 2022. – № 10. – С. 45–51.

126. ФГБНУ «Всероссийский НИИ овощеводства». Рекомендации по хранению тыквенных культур. 2024. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://vniio.ru> (Дата обращения: 21.06.2024).

127. ФГБНУ «Краснодарский НИИ хранения и переработки сельскохозяйственной продукции». Современные технологии хранения и переработки овощей Краснодарского края. 2023. // [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://kniish.krasnodar.pf> (Дата обращения: 04.06.2024).

128. Mittler R., Vanderauwera S., Gollery M., Van Breusegem F. Reactive oxygen gene network of plants // Trends in Plant Science. – 2020. – Vol. 9, Issue 10. – P. 490 – 498.

129.Liu Z.-L., Zielinska M., Yang X.-H., Yu X.-L., Chen C., Wang H., Wang J., Pan Z., Xiao H.-W. Moisturizing strategy for enhanced convective drying of mushroom slices // *Renewable Energy*. – 2021. – Vol. 172. – P. 728 – 739.

130.ФГБНУ «Кубанский НИИ сельского хозяйства». Календарь полевых работ по овощеводству в Краснодарском крае. 2024. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://kniish.krasnodar.pf> (Дата обращения: 25.04.2024).

131.ФГБНУ «Всероссийский НИИ овощеводства». Методы хранения свежих овощей: эффективность и ограничения. 2024. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://vniio.ru> (Дата обращения: 17.06.2024).

132.EL-Mesery H.S., El-Khawaga S. Design of low-energy consumption hybrid dryer: a case study of garlic (*Allium sativum*) drying process // *Case Studies in Thermal Engineering*. – 2022. – Vol. 33. – Article 101929.

133.ФГБНУ «Кубанский НИИ сельского хозяйства». Оптимальные условия хранения и переработки овощей Краснодарского края. 2024. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://kniish.krasnodar.ru> (Дата обращения: 18.05.2024).

134.Институт аграрных исследований и консалтинга. Состояние и перспективы развития крестьянских (фермерских) хозяйств в Южном федеральном округе. 2024. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://agro-expert.ru> (Дата обращения: 18.05.2024).

135.Аналитический центр при Правительстве РФ. Импортзамещение в овощеводстве: итоги и перспективы. Аналитический отчёт. 2023. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://ac.gov.ru> (Дата обращения: 20.05.2024).

136.Zhang M., Chen H., Mujumdar A.S., Tang J., Wang S., Bhandari B. Recent developments in drying of food products // *Drying Technology*. – 2020. –Vol. 38, No. 1–2. – P. 1 – 15.

137.ГОСТ 26313-2014. Продукты переработки фруктов и овощей. Правила приемки и методы отбора проб. – Введ. 01.01.2016 – М.: Стандартинформ, 2019. – 8 с.

138.ГОСТ 28561-90 Продукты переработки плозов и овощей. Методы определения сухих веществ или влаги. – Введ. 01.07.1991 – М.: Стандартиформ. 2011. – 6 с.

139.Бурштейн А.И. Определение витамина С (метод Прокошева) // Методы исследования пищевых продуктов / под ред. А.И. Бурштейна. –К.: Государственное медицинское издательство УССР, 1963. – С. 372.

140.Бурштейн А.И. Феррицианидный метод определения сахаров (стандартный метод) // Методы исследования пищевых продуктов / под ред. А.И. Бурштейна. – К.: Государственное медицинское издательство УССР, 1963. – С. 351.

141.ТР ТС 021/2011. Технический регламент Таможенного союза "О безопасности пищевой продукции". – Введ. 01.07.2013. – М.: Стандартиформ, 2013. – 288 с.

142.ГОСТ 10444.15-94. Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов. – Введ. 01.01.1996 – М.: Стандартиформ, 2010. – 7 с.

143.ГОСТ 26669-85. Продукты пищевые и вкусовые. Подготовка проб для микробиологических анализов. – Введ. 01.01.1987 – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 9 с.

144.ГОСТ 31904-2012. Продукты пищевые. Методы отбора проб для микробиологических испытаний. – Введ. 01.01.2014 – М.: Стандартиформ, 2014. – 8 с.

145.ГОСТ 34130-2017. Фрукты и овощи сушёные. Методы испытаний. – Введ.01.01.2019 – М.: Стандартиформ, 2017. – 2 с.

146.ГОСТ 32065-2013. Овощи сушёные. Общие технические условия. – Введ.01.01.2014 – М.: Стандартиформ, 2013. – 5 с.

147.ГОСТ 34130-2017. Сухофрукты и овощи. Методы испытаний. – Введ.01.01.2018 – М.: Стандартиформ, 2017. – 7 с.

148.ГОСТ Р 56565-2015. Кабачки свежие для промышленной переработки. Технические условия. –Введ.01.01.2016 – М.: Стандартиформ, 2016. – 8 с.

149.Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию в Российской Федерации. – М.: Федеральный государственный бюджетный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова» (ФГБНУ ВНИИР), 2024. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://reestr.gossort.com> (Дата обращения: 02.02.2023).

150.Метод Уорда (Ward's method) // Multivariate Data Analysis / J.F. Hair, W.C. Black, B.J. Babin, R.E. Anderson. – 7th ed. – Pearson Education, 2010. – P. 685–688.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Матрица исходных данных для кластерного анализа

Таблица А.1 - Полный набор экспериментальных режимов и их параметры

Образец	Сорт/гибр ид	Форма нарезки	ЭМП КНЧ обработка	Метод сушки	Температура сушки, °С	Время сушки, мин	Потери витамина С, %	Органоле птическая оценка	Снижение микробиальной обсемененности поверхности, %	Срок хранения
Б К 45 К	Барбаро	кубик	нет	Конвективная	45	600	35	12	0	145
Б К 50 К	Барбаро	кубик	нет	Конвективная	50	540	40	10	0	145
Б К 55 К	Барбаро	кубик	нет	Конвективная	55	480	45	9	0	145
Б К 60 К	Барбаро	кубик	нет	Конвективная	60	420	50	6	0	145
Б ИК 45 К	Барбаро	кубик	нет	ИК	45	420	25	14	0	145
Б ИК 50 К	Барбаро	кубик	нет	ИК	50	360	30	15	0	145
Б ИК 55 К	Барбаро	кубик	нет	ИК	55	300	35	12	0	145
Б ИК 60 К	Барбаро	кубик	нет	ИК	60	240	40	9	0	145
Б Э К 45 К	Барбаро	кубик	24 Гц/30 мин	Конвективная	45	600	35	12	41	150
Б Э К 50 К	Барбаро	кубик	24 Гц/30 мин	Конвективная	50	540	40	10	41	150
Б Э К 55 К	Барбаро	кубик	24 Гц/30 мин	Конвективная	55	480	45	9	41	150
Б Э К 60 К	Барбаро	кубик	24 Гц/30 мин	Конвективная	60	420	50	6	41	150
Б Э ИК 45 К	Барбаро	кубик	24 Гц/30 мин	ИК	45	420	25	14	41	150
Б Э ИК 50 К	Барбаро	кубик	24 Гц/30 мин	ИК	50	360	30	15	41	150
Б Э ИК 55 К	Барбаро	кубик	24 Гц/30 мин	ИК	55	300	35	12	41	150
Б Э ИК 60 К	Барбаро	кубик	24 Гц/30 мин	ИК	60	240	40	9	41	150
Б К 45 Кр	Барбаро	кружок	нет	Конвективная	45	540	30	12	0	145
Б К 50 Кр	Барбаро	кружок	нет	Конвективная	50	480	35	13	0	145
Б К 55 Кр	Барбаро	кружок	нет	Конвективная	55	420	40	10	0	145
Б К 60 Кр	Барбаро	кружок	нет	Конвективная	60	360	45	7	0	145
Б ИК 45 Кр	Барбаро	кружок	нет	ИК	45	360	20	14	0	145
Б ИК 50 Кр	Барбаро	кружок	нет	ИК	50	300	25	15	0	145

Б ИК 55 Кр	Барбаро	кружок	нет	ИК	55	240	30	12	0	145
Б ИК 60 Кр	Барбаро	кружок	нет	ИК	60	180	35	9	0	145
Б Э К 45 Кр	Барбаро	кружок	24 Гц/30 мин	Конвективная	45	540	30	12	41	150
Б Э К 50 Кр	Барбаро	кружок	24 Гц/30 мин	Конвективная	50	480	35	13	41	150
Б_Э_К_55_Кр	Барбаро	кружок	24 Гц/30 мин	Конвективная	55	420	40	10	41	150
Б Э К 60 Кр	Барбаро	кружок	24 Гц/30 мин	Конвективная	60	360	45	7	41	150
Б_Э_ИК_45_К р	Барбаро	кружок	24 Гц/30 мин	ИК	45	360	20	14	41	150
Б_Э_ИК_50_К р	Барбаро	кружок	24 Гц/30 мин	ИК	50	300	25	15	41	150
Б_Э_ИК_55_К р	Барбаро	кружок	24 Гц/30 мин	ИК	55	240	30	12	41	150
Б_Э_ИК_60_К р	Барбаро	кружок	24 Гц/30 мин	ИК	60	180	35	9	41	150

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Статистическая верификация результатов

Таблица Б.1 - Результаты дисперсионного анализа (ANOVA) между кластерами

Параметр	F-значение	p-value	Достоверность различий
Потери витамина С (%)	42.7	<0.001	Высокая (p<0.01)
Время сушки (мин)	38.2	<0.001	Высокая (p<0.01)
Снижение микробов (%)	65.1	<0.001	Высокая (p<0.01)
Δ срок хранения (дней)	28.9	<0.001	Высокая (p<0.01)

Таблица Б.2 - Попарные сравнения по критерию Тьюки (Tukey HSD)

Сравнение кластеров	Потери Vit С (%)	Время сушки	Снижение микробиальной обсемененности
Кластер 1 vs Кластер 2	p=0.003	p<0.001	p<0.001
Кластер 1 vs Кластер 3	p<0.001	p<0.001	p<0.001
Кластер 1 vs Кластер 4	p<0.001	p<0.001	p<0.001
Кластер 2 vs Кластер 4	p<0.001	p=0.002	p<0.001

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Технические условия

Краснодарский научно-исследовательский институт
хранения и переработки сельскохозяйственной продукции – филиал
Федерального государственного бюджетного научного учреждения
«Северо-Кавказский федеральный научный центр
садоводства, виноградарства, виноделия»
(КНИИХП – ФИЛИАЛ ФГБНУ СКФНЦСВВ)

ОКПД2 10.39.13.000

ОКС 67.080.20 (Группа Н 51)



ОВОЩНЫЕ ЧИПСЫ «КАБАЧОК»

Технические условия

ТУ 10.39.13 – 091– 17021101 – 2025

(Утверждены впервые)

Дата введения в действие - «22». мая. 2025 г

РАЗРАБОТАНО
КНИИХП – филиал ФГБНУ СКФНЦСВВ
Ведущий научный сотрудник
отдела хранения и комплексной
переработки сельскохозяйственного сырья, д.т.н.
Першакова Т.В.
Младший научный сотрудник
отдела хранения и комплексной
переработки сельскохозяйственного сырья,
Семиряжко Е.С.
Младший научный сотрудник
отдела хранения и комплексной
переработки сельскохозяйственного сырья
Тягушева А.А.

Краснодар
2025

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Техническая инструкция

Краснодарский научно-исследовательский институт
хранения и переработки сельскохозяйственной продукции – филиал
Федерального государственного бюджетного научного учреждения
«Северо-Кавказский федеральный научный центр
садоводства, виноградарства, виноделия»
(КНИИХП – филиал ФГБНУ СКФНЦСВВ)

УТВЕРЖДАЮ

Директор КНИИХП – филиал
ФГБНУ СКФНЦСВВ, канд. техн. наук.,
_____ Купин Г.А.
« 22 » _____ 2025 г.

ТИ 11.39.13.000 – 091 – 17021101 – 2025

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ИНСТРУКЦИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ОВОЩНЫХ ЧИПСОВ «КАБАЧОК»

Дата введения « 22 » _____ 2025 г.

Настоящий документ не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован
и распространен без разрешения КНИИХП – филиал ФГБНУ СКФНЦСВВ.

Краснодар
2025

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Патент

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2791549

СПОСОБ ХРАНЕНИЯ КАБАЧКОВ СВЕЖИХ

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия" (RU)*

Авторы: *Купин Григорий Анатольевич (RU), Першакова Татьяна Викторовна (RU), Яковлева Татьяна Викторовна (RU), Алешин Владимир Николаевич (RU), Тягущева Анна Анатольевна (RU), Семиряжко Елизавета Сергеевна (RU)*

Заявка № 2022121234

Приоритет изобретения 03 августа 2022 г.

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации 10 марта 2023 г.

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 03 августа 2042 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Программа ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2022619691

**«Автоматизированный расчет естественной потери
массы кабачков свежих в течение 10 суток при
холодильном хранении в зависимости от изменений
режимов хранения»**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное научное
учреждение «Северо-Кавказский федеральный научный центр
садоводства, виноградарства, виноделия» (RU)*

Авторы: *Купин Григорий Анатольевич (RU), Першакова Татьяна
Викторовна (RU), Алешин Владимир Николаевич (RU), Бабакина
Мария Владимировна (RU), Бородихин Александр Сергеевич (RU),
Тягуцева Анна Анатольевна (RU)*

Заявка № 2022618254

Дата поступления 05 мая 2022 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 24 мая 2022 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Программа ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2022668147

«Автоматизированный расчет естественной потери массы кабачков сорта «Марселла» в течение 15 суток при холодильном хранении в зависимости от изменений режимов хранения»(УМКкабачкиМарселла2022)

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия» (RU)*

Авторы: *Купин Григорий Анатольевич (RU), Бородихин Александр Сергеевич (RU), Тягуцева Анна Анатольевна (RU), Семиряжко Елизавета Сергеевна (RU), Шахрай Татьяна Анатольевна (RU), Яковлева Татьяна Викторовна (RU)*

Заявка № 2022667269

Дата поступления 21 сентября 2022 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 04 октября 2022 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Zubov

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Акт внедрения

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР САДОВОДСТВА,
ВИНОГРАДАРСТВА, ВИНОДЕЛИЯ»
(ФГБНУ СКФНЦСВВ)**

Россия, 350901, Краснодарский край, г.о. город Краснодар, г. Краснодар, ул. им. 40-летия Победы, 39. Тел./факс: (861) 252-70-74, 257-57-02. e-mail: kubansad@kubannet.ru ИНН/КПП 2311003262/231101001 ОГРН 1022301810706 Банковские реквизиты: Южное ГУ Банка России по Краснодарскому краю г. Краснодар БИК 010349101 р/сч 03214643000000011800

04.08.2025 № 513

АКТ

внедрения результатов научной деятельности

Настоящим подтверждаем, что в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Скверо-Кавказский научный центр садоводства, виноградарства, виноделия» для разработки и широкого практического применения технологии хранения кабачков свежих выполнены научно-исследовательские работы в рамках Госзадания FGRE-2022-0009 «Разработка многокритериальной модели управления качеством, функциональностью, пищевой и экологической безопасностью при хранении и переработке плодово-ягодного и овощного сырья на всех этапах жизненного цикла с использованием современных инженерно-технологических, биотехнологических и физико-химических методов (2022-2026 гг.), подкомплексной темы FGRE-2022-0009.3 «Разработка алгоритмов управления качеством, функциональностью, пищевой и экологической безопасностью при хранении и переработке овощей и фруктов на всех этапах жизненного цикла с использованием современных инженерно-технологических, биотехнологических и физико-химических методов.

Технология создана младшим научным сотрудником отдела хранения и комплексной переработки сельскохозяйственного сырья КНИИХП - филиала ФГБНУ СКФНЦСВВ, аспирантом Тягушевой А.А. в процессе ее диссертационного исследования и выполнения НИР. Технология позволяет оптимизировать способы хранения кабачков свежих с учетом сортовой принадлежности. Практическое использование разработанных технологических режимов предварительной обработки кабачков электромагнитными полями крайне низких частот в зависимости от сортовой принадлежности кабачков в промышленном производстве позволяет повысить срок их хранения на 5 суток и обеспечить снижение потерь в процессе хранения на 10,7 %.

И.о. директора



Д.Э. Руссо

ПРИЛОЖЕНИЕ И

Акт внедрения

СОГЛАСОВАНО Директор КНИИХП - филиала ФГБНУ СКФНЦСВВ « 25 » <u>июня</u> 2025 г. <u>Купин Г.А.</u>	УТВЕРЖДАЮ Директор ОПХ «Центральное» « 25 » <u>июня</u> 2025 г. <u>Гутов И.В.</u>
---	---

Акт внедрения
охраняемых результатов научно-исследовательских и
технологических работ Краснодарского научно-исследовательского
института хранения и переработки сельскохозяйственной продукции - филиала
ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виногра-
дарства, виноделия»

Заказчик ОПХ «Центральное»

РИД: патент на изобретение «Способ хранения кабачков свежих»

Настоящим актом подтверждается, что результаты работы по разработке техноло-
гии хранения кабачков свежих
Выполненной в отделе хранения и комплексной переработки сельскохозяйствен-
ного сырья КНИИХП - филиале ФГБНУ СКФНЦСВВ в срок с 2022 по 2025 гг.
внедрены в ОПХ «Центральное»

1. Новизна результатов НИР: модернизация существующих разработок (на
основании комплексного исследования биохимических и технологических осо-
бенностей кабачков свежих, выращиваемых в Северо-Кавказском регионе, опре-
делены оптимальные режимы их обработки ЭМП КНЧ при закладке на хранение
и обоснованы требования к хранению).
2. Номер охранного документа: RU 2791549 C1
3. Годовой экономический эффект:
 - ожидаемый: 3210 руб./тонна
 - фактический 3500 руб./тонна
4. Объем внедрения: 1 тонна
5. Социальный и научно-технический эффект: повышение сроков хранения
кабачков свежих на 5 суток, обеспечение снижение потерь на 10,7 %.

От КНИИХП - филиала ФГБНУ СКФНЦСВВ Руководитель НИР <u>Купин Г.А.</u> Исполнители <u>Тягушева А.А.</u>	От предприятия ОПХ «Центральное» <u>Гутов И.В.</u>
---	--