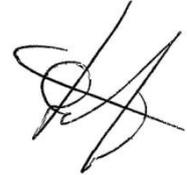


**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

На правах рукописи

ДОРОХИН Роман Владимирович



**НАУЧНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЦЕССА
КОМБИНИРОВАННОЙ СВЧ-КОНВЕКТИВНОЙ СУШКИ
СПЕЦИЙ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ЭНЕРГОПОДВОДЕ**

Специальность: 05.18.12 – Процессы и аппараты пищевых производств

Д и с с е р т а ц и я
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель –
Заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук,
профессор А. Н. Остриков

Воронеж – 2014

СОДЕРЖАНИЕ

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ.....	5
ВВЕДЕНИЕ.....	7
Глава 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕОРИИ, ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СПЕЦИЙ.....	17
1.1. Комплексная оценка плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха как объектов исследования.....	17
1.2. Краткий обзор техники сушки плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха.....	21
1.3. Основные математические закономерности СВЧ - конвективной сушки.....	30
1.4. Анализ литературного обзора и задачи исследования.....	41
Глава 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛОДОВ ГОРЬКОГО ПЕРЦА, ЧЕСНОКА И ГОРЧИЧНОГО ЖМЫХА КАК ОБЪЕКТА СУШКИ.....	43
2.1. Исследование форм связи влаги в плодах горького перца, чеснока и горчичного жмыха методом термического анализа	43
2.2. Определение теплофизических характеристик плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха	48
2.3. Определение диэлектрических характеристик плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха.....	54
Глава 3. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА СУШКИ ПЛОСКОЙ ЧАСТИЦЫ В СВЧ-ПОЛЕ.....	63
3.1. Постановка задачи.....	63
3.2. Численное моделирование процесса сушки.....	65
3.3. Описание и текст программы.....	68

3.4. Анализ результатов моделирования процесса сушки.....	70
3.5. Приближенное решение задачи.....	77
Глава 4. ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПРОЦЕССА СВЧ-КОНВЕКТИВНОЙ СУШКИ ПЛОДОВ ГОРЬКОГО ПЕРЦА, ЧЕСНОКА И ГОРЧИЧНОГО ЖМЫХА.....	83
4.1. Экспериментальная установка и методика проведения исследований.....	83
4.2. Обоснование выбора мощности электромагнитного поля подводимого к обрабатываемому продукту	86
4.3. Исследование кинетики процесса сушки плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха.....	88
4.4. Выбор и обоснование выбора комбинированных режимов сушки плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха.....	93
Глава 5. КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПЛОДОВ ГОРЬКОГО ПЕРЦА, ЧЕСНОКА И ГОРЧИЧНОГО ЖМЫХА.....	98
5.1. Определение антиоксидантной активности плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха	98
5.2. Определение химического состава плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха, а так же специй полученных из данных продуктов.	102
Глава 6. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ АППАРАТА, ТЕХНОЛОГИИ И СПОСОБОВ ПРОИЗВОДСТВА СУШЕНЫХ СПЕЦИЙ.....	111
6.1. Разработка конструкции аппарата для производства сушеных специй.....	111
6.2. Разработка технологии для производства сушеных специй.....	118
6.3. Разработка способа производства сушеного горького перца.....	122
6.4. Разработка способа производства сушеного чеснока.....	129

6.5. Оценка энергетической эффективности процесса сушки специй посредством эксергетического анализа.....	136
6.6. Расчет ожидаемого экономического эффекта от использования комбинированной СВЧ-конвективной сушилки при производстве сушеных специй.....	141
ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ.....	151
ЛИТЕРАТУРА.....	153
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	166

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

β – коэффициент массоотдачи, м/с ;

U – влагосодержание, кг/кг;

λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К);

a – температуропроводность продукта, м²/с;

δ – термоградиентный коэффициент;

r – удельная теплота испарения жидкости, кДж/кг;

T – температура плодов, К;

ρ_w – плотности жидкости, кг/м³;

λ_m – коэффициент массопроводности, кг/ (м·с);

ρ_s – плотность сухого вещества, кг/м³;

Q_{v0} – мощность лучистого потока, поглощенного поверхностью теплоты

u_p^* – модифицированное равновесие влагосодержания

μ_n – корни характеристического уравнения;

m – масса, кг;

U_{cp} – влагосодержание окружающей среды, кг/кг;

c – массовая удельная теплоемкость, Дж/(кг·К);

R^2 – коэффициент корреляции;

ε – коэффициент фазового превращения;

V – объем, м³;

ρ – плотность плодов, кг/м³;

b – коэффициент диффузии (массопереноса), м²/с;

$\tilde{q}(\tau)$ - мощность поглощенного потока.

β^* - модифицированный коэффициент массоотдачи, м/с,

$A_{p.n.}, A_p$ – коэффициент распределения функции концентрированного фазового равновесия для ядра потока и для поверхности раздела фаз соответственно, (кг/(кг сух.м-ла))/(кг/м³)

Безразмерные числа, критерии

Re– критерий Рейнольдса, Nu_п– критерий Нуссельта диффузионный, Pn – критерий Поснова, Pr– критерий Прандтля, , Gu– критерий Гухмана, Po– критерий Померанцева, Vi - критерий Био Ki– критерий Кирпичева, Ko– критерий Коссовича.

Введение

Про анализируем сущность продуктов на рынке специй. Можно выделить четыре вида компонентов, направленных на сдабривание пищи: пряности, специи, приправы и ароматизаторы.

Специи "отвечают" за консистенцию и вкус готовых блюд, причем некоторые придают только вкус (острый, соленый, сладкий), другие влияют на консистенцию, а третьи, влияя на консистенцию, частично влияют на вкус.

Нюансами аромата и вкуса занимаются пряности. Это доли растений, обладающие специальным устойчивым привкусом, разным уровнем жгучести и запахом. В качестве компонентов пищи они могут придать разным продуктам свои свойства и поменять его вкус в нужном направлении. Издавна пряности считались самым удобным из компактных торговых грузов. Вот почему вопрос об извлечении из них экстрактов и концентратов не поднимался до начала XX века, поскольку это не поднималось экономической целесообразностью.

Приправы, в отличие от пряностей и специй, требуют особого приготовления и особых способов складирования. Они могут добавляться в больших количествах (например айва, гранат, слива,) и даже выступать самостоятельными блюдами, как, к примеру, болгарский перец или томатная паста, которые можно употреблять с хлебом. Приправы присваивают продуктам только некоторые вкусы - сладкий, соленый, горький, кислый - и их смеси. Они образуют главное направление в кулинарии и выступает единой частью разных национальных кухонь. К большому количеству разнообразия приправ относятся все кетчупы и соусы [30, 49, 56].

Пакетированный рынок пищевых ингредиентов делится на три части: универсальные (50-56 %), пряности (их часть составляет 25-30 %) и особые смеси - для изготовления особых видов блюд (15-20 %).

Согласно данным о розничных продажах, самые распространенные приправы и специи - перец черный горошком и молотый, лавровый лист, хмели-сунели, перец красный молотый, петрушка, укроп. Спрос от времени года на специи не зависит. Самые распространенные у российских покупателей пользуются душистый перец, лимонная кислота, гвоздика, ванильный сахар, корица, имбирь, желатин, молотый базилик, кориандр, сельдерей, семя тмин, кунжута, чесночная соль, острый перец, мускатный орех, чили, паприка, карри.

Учитывая европейские закономерности можно предсказать уменьшение объемов продаж продуктов быстрого приготовления, большая часть населения опять перейдет на свежие продукты, и в еще большем объеме будут потребляться смеси специй и натуральные пряности.

Российский рынок пищевых ингредиентов, как, впрочем, и приправ в целом, возник с 2000 г. Сектор специй оказался одним из самых развивающихся.

По анализу специалистов фирмы «Nielsen Россия» объем отечественного рынка специй оценивался в \$350-370 млн. в 2010 году. Увеличение рынка в последнее время составляет 10-15 % в натуральном выражении, и составил в 2011 г. \$392 млн., в 2012 г. \$423 млн., в 2013 г. \$451 млн. и на 2014 г. снижение темпов развития рынка специй не прогнозируется. По оценкам, рост розничных продаж пряностей в субъектах России с населением около 10 тыс. человек за 2013 год, по сравнению с таким же периодом 2012 года, составила +4 % по стоимости и +3 % по объему [37].

По результатам исследований, россиянин употребляет в пищу примерно 1,5 кг специй в год при минимальной норме 4 кг в год. В настоящее время потребность в специях, требуемая для обеспечения жителей России, оценивается в 510 тыс. тонн, а ежегодный урожай в стране составляет около 150 тыс. тонн, или 30 % от необходимой [71].

На сегодняшний день на рынке находится около 150 региональных и национальных производителей пряностей. По количествам продаж лидируют 4 иностранные фирмы и их продукция занимает около 80 % отечественного рынка сушеных приправ.

По результатам исследований, чаще всего хозяйки применяют в пищу стандартные специи, такие как лавровый лист и перец, раскрученные специфические травы и пряности менее популярны. Универсальные смеси пользуются большим спросом.

50 % московских поваров применяют стандартные приправы 23 % – для блюд из рыбы, 31 % – приправы для блюд из мясных, 35 % – для мяса птицы.

В северных частях страны присутствует общероссийская тенденция: 19 % жителей используют - "Кнорр", 24 % - "Вегету", 26 % - "Магги", 35 % - "Галина Бланка".

По различным оценкам, объем Российского рынка приправ составляет 130-140 млн. долл.

На данный момент сегмент приправ сегодня является одним из самых быстроразвивающихся. Темпы увеличения рынка, составил в 2011 году около 10 % в денежном выражении и около 8 % в натуральном (в основном за счет стандартных смесей). Различие выражается не только повышением цен на мировом рынке, но и ужесточением правил потребительского рынка.

Большая часть объема импорта в натуральном выражении принадлежит Вьетнаму – 25,4 % от всего количества импорта.

На втором месте по количеству импорта в натуральном выражении располагается Индия (11,4 %). Импорт из остальных стран не более 10 % от всего объема.

В стоимостном соотношении, большинство ввозимой продукции приходится на Австрию – 22,7 % от всего количества.

Крупнейшей по количеству импорта в натуральном отношении приходится на компанию ООО "Балтмпорт" - 16,8 % от импорта в натуральном соотношении.

Количество экспортируемых специй, пряностей и приправ в 2012 году составил на сумму 2,5 млн. долларов или 2 654,7 тонн.

Лидером по количеству экспорта специй является Казахстан (27,3 % всех экспортируемых приправ). На втором месте по количеству экспорта в натуральном соотношении – Нидерланды (17,2 %). Не малая часть Монголии примерно 14,0 % от общего количества экспорта в стоимостном соотношении.

Главный объем вывозимой продукции в натуральном соотношении экспортируется из России ООО "ФКЦ "Сарепта", на часть которой выпадает 11,3 % от всего экспортируемого объема специй в натуральном соотношении.

Лидерами на российском рынке специй являются иностранные корпорации: "Paulig" (ТМ "Santa Maria"), "Unilever" (ТМ "Knorr"), "Podravka" (ТМ "Vegeta"), "Nestle" (ТМ "Maggi"), Kamis (ТМ "Kamis", "Galeo"). Этим корпорациям принадлежит около 70 % рынка.

На рынке компонентов для производства приправ присутствуют три крупных игрока: "Время и К", "Ланит-99", "Колви". Часть российских компаний на отечественном рынке специй относительно не большая – не более 20% на всех.

Специалисты выделяют, что производители пищевых ингредиентов в данное время начали предпочитать уже готовые многофункциональные смеси, подготовленные по соответствующей рецептуре. Потому что это выгодно и удобно, что в эти смеси, как правило, вносятся не только пряности, но и технологические компоненты, которые требуются при изготовлении продукта. При этом и порции в специальных смесях уже выверены и определены.

На территории бывших стран СССР горький перец возделывают на Северном Кавказе, Украине, в Закавказье, Средней Азии, Молдавии; в утеплённой защищённой почве и в домашней культуре — повсеместно. Жгучие сорта стручкового перца собирают в два захода, когда плоды, в фазе технической спелости, становятся красными. Сбор горького стручкового перца составляет с 1 га до 200 ц.

В России средняя урожайность чеснока составляет 20 т/га, а горчицы 3 – 5 т/га [35, 38, 53].

В данной работе предложено использовать плоды горького перца «Стручковый», чеснок сорта «Гулливер», горчица «Сарептская». Объекты исследования были подобраны с учетом витаминного, минерального, аминокислотного состава и пищевой ценности. Перед сушкой выбранные продукты подвергались проверке по ГОСТ 14260-89 «Плоды перца стручкового. Технические условия», ГОСТ 7977-87 «Чеснок свежий заготовляемый и поставляемый», ГОСТ 9670-89 «Семена горчицы. Сортовые и посевные. Технические условия».

Плоды горького перца и чеснока не имеют продолжительного срока хранения, потому что они быстро теряют влагу, вянут и загнивают. Сушка продуктов, один из самых известных способов длительного хранения урожая чеснока и горького перца. Сушка горького перца, чеснока и горчичного жмыха дает возможность не только значительно увеличить продолжительность хранения, но и сохранить все их полезные вещества [57].

Горький перец содержит большое количество [витаминов С](#) и [А](#). Кроме того, горький перец является хорошим источником [витаминов группы В](#) и в частности [витамина В₆](#). Красный перец богат также [калием](#), [магнием](#) и [железом](#). Кроме капсаицина, в плодах найдены 1,5 % [эфирного масла](#).

Чеснок обладает многими полезными и лечебными свойствами и широко применяется в народной и традиционной медицине для лечения

многих заболеваний и недугов. В состав чеснока входят фитостерины, магний, серная, фитонциды, эфирные масла, азотистые вещества, натрий, калий, кальций, кремниевая, фосфорная кислоты, витамин С, D, В, и экстрактивные вещества. Благодаря своему лечебному и богатому составу, чеснок проявляет желудочно-кишечные, мочегонные, потогонные, сердечно-сосудистые свойства. Чеснок вызывает понижение артериального давления, а также может оказывать противоглистное, обезболивающее, ранозаживляющее, противомикробное, антитоксическое и препятствующее онкообразованиям действие. Чеснок полезно употреблять при авитаминозах. Еще в чесноке находится селен, который распространен за счет антиоксидантных свойств.

Семена сарептской горчицы, содержат самый большой процент жирного масла (от 47 до 49 %). Ученые утверждают, что его вкус превосходит подсолнечное. Эфирного масла не более 3 %. В состав масла входит фермент мирозин, синигрин и гликозид. В листьях сарептской горчицы находится соли кальция, железа, аскорбиновая кислота и каротин. Семена горчицы применяют при производстве масла, а жмых, который содержит большое количество полезных компонентов, направляют на дальнейшую переработку для получения горчичного порошка для медицинских целей и питания. Применяют его для приготовления лечебных ванн при простуде, горчичников. Следует обратить внимание, что горчичники используют и при гипертонии (на затылок, область сердца, грудь); при мышечных болях, невралгиях накладывают на болевые места.

Актуальность работы. Изучение полученных сведений показывает, что не своевременное исследование общих закономерностей процесса сушки плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха как объектов для производства специй требует разработки новых способов переработки данных продуктов, а на основе проведенных разработок создание абсолютно новых способов и аппаратов для производства специй, которые смогут

сократить время на переработку, повысить качество готового продукта, культуру производства и будут являться энергетически более выгодными, чем существующие методы производства специй.

Сушеные специи чаще всего представлены в виде порошка, вкус, запах, а также потребительские свойства, которые образуются в результате сушки.

На данное время получение сушеных специй проводится на конвективных сушилках со стационарными режимами, они связаны с существенными энергозатратами, продолжительным процессом сушки, слабой интенсивностью испарения влаги и низким качеством конечного продукта, поэтому требуется разработка новых конструкций аппаратов для сушки специй, разработка новых технологий.

Изучение процесса СВЧ-конвективной сушки продуктов питания (овоци, тесто, макаронные изделия, хлеб, картофель и т.д.) начал А.С. Гинзбург в МТИПП в 1954 г. В сотрудничестве с О.И. Гронской-Росляковой, Б.М. Ляховицким, Н.Г. Селюковым, В.Д. Скверчаком, В.И. Сыроедовым и др. [15]. основополагающие работы в этой области провёл А.В. Лыковым, который создал систему дифференциальных уравнений массо- и теплопереноса во влажных материалах при сушке в поле высокой частоты. Сушку пищевых продуктов с использованием СВЧ энергии Касьяненко В.П., Четвериков Е.А., Будников Д.А. и др. [7, 41, 101]. Подробные изучения характер поведения мясных продуктов как объектов электромагнитного облучения провел И.А. Рогов с сотрудниками [76, 77].

Цель диссертационной работы: научное обеспечение процесса комбинированной СВЧ-конвективной сушки специй из плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха и повышение эффективности процесса за счет разработки рациональных, щадящих режимов сушки плодов и повышение качества готовой продукции.

Научная новизна. Исследованы кинетические закономерности процесса комбинированной СВЧ-конвективной сушки специй.

При помощи дифференциально-термического анализа определены формы связи влаги в продуктах, определены температурные интервалы, соответствующие испарению влаги с различной формой связи.

Определены изменение теплофизических характеристик горького перца, чеснока и горчичного жмыха от температуры.

Выявлены зависимости изменения коэффициента диэлектрических потерь от влажности и температуры и на основании этих зависимостей составлены эмпирические уравнения.

Разработана математическая модель процесса СВЧ-конвективной сушки специй.

Подобраны ступенчатые режимы энергоподвода для комбинированной СВЧ-конвективной сушки специй в соответствии с формой связи удаляемой влаги, что позволяет повысить качество получаемых специй и ускорить процесс испарение влаги с их поверхности.

Инновация технических решений обоснована двумя патентами РФ № 2493515, № 2518733.

Практическая ценность. Выявлены рациональные технологические ступенчатые режимы процесса комбинированной СВЧ-конвективной сушки специй. Выполнен эксергетический и технико-экономический анализ предлагаемой конструкции для производства специй.

Проведено комплексное исследование качественных показателей готовых специй, полученных при комбинированной СВЧ-конвективной сушке. Определена антиоксидантная активность исследуемых проб вытяжки готовых специй.

Разработан аппарат и технологическая линия для производства специй, а также способы по переработки плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха.

Апробация работы. Результаты исследований обсуждались и докладывались: на научных конференциях в ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (с 2011 по 2014 гг.); Материалы студенческой научной конференции за 2010 (Воронеж, 2011), международной научно-технической интернет - конференции «Энергосберегающие процессы и аппараты в пищевых и химических производствах» («ЭПАХПП-2011») (Воронеж, 2011), международной заочной научно-практической конференции «Теоретические и прикладные проблемы науки и образования в 21 веке» (Тамбов, 2012), Актуальные биотехнологии (Воронеж, 2012), Материалы студенческой научной конференции за 2011 (Воронеж, 2012), Материалы LI отчетной научной конференции за 2012 год (Воронеж, 2013), «Современные тенденции в сельском хозяйстве» II Международная научная Интернет-конференция (Казань, 2013), «Инновационное развитие пищевой, легкой промышленности и индустрии гостеприимства»: Материалы международной научно-практической конференции (Алмата 2013).

Соискатель является участником регионального конкурса «Инженерные технологии XXI века», Воронеж, 2011.

Соискатель был награжден грамотой за профессиональную работу в жюри областного открытого турнира юных изобретателей и рационализаторов, Воронеж, 2013.

Данная диссертационная работа систематизирует новые полученные сведения экспериментальных и теоретических изучений процесса комбинированной СВЧ-конвективной сушки специй, выполненных непосредственно соискателем под научным руководством заслуженного деятеля науки РФ, доктора технических наук, профессора А. Н. Острикова.

Глава 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕОРИИ, ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СПЕЦИЙ

1.1 Комплексная оценка плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха как объектов исследования

Красный стручковый перец (*Capsicum annum* L., *Capsicum Longum* L., *Capsicum Frutescens*) — относится к семейству пасленовых, который объединяет четыре вида: сережковидный (*C. pendulum* Wild.), кустарниковый (*C. frutescens* L.), однолетний (*C. annuum* L.) и опушенный (*C. pubescens* R. et P.). Имеет несколько названий: жгучий, красный, чили, острый. Родиной перца считают страны Центральной Америки. В Мексике и Перу перец еще до нашей эры ценился аборигенами как пряное растение. В Европе он распространился после открытия Америки Колумбом. Перец быстро приобрел кулинарное значение в Испании и Италии, где его называли испанским перцем. В Восточную Европу перец попал, через страны Балканского полуострова а оттуда в Восточную Азию [17, 49, 62, 85].

Сорта и виды красного перца различаются по форме плодов (конусовидные, длинные, изогнутые), по цвету в зрелом виде (оранжевая, ярко-красная, кирпично-красная), по размерам и по степени жгучести (слабожгучие, жгучие, средне жгучие и сладкие). В качестве пряности используют в основном средне жгучие и жгучие перцы. Острый вкус красного перца зависит от алкалоида капсаицина ($C_{18}H_{27}NO_3$), содержание которого изменяется от 0,02 до 1,6 %.

Стручковый перец и красный молотый – это незаменимый компонент для различных маринадов и солений, он используется как приправа к рыбным, овощным и мясным блюдам. В медицине настойка перца применяется для улучшения аппетита. Настойку, в совокупности с подсолнечным маслом, втирают в кожу при радикулитах, миозитах.

Также, значимость перца определяется имеющимся в нем витамином С, содержание которого в зеленых плодах составляет 60...70 мг на 100 г, а в спелых – 120...140 мг.

Перец употребляют также благодаря наличию жгучих и острых веществ, которые являются производными капсаицина и вызывают сильное жжение нёба и языка. Также, плоды перца содержат провитамин А и витамин Р, который стимулирует кровообращение и регулирует давление крови.

В пищевом производстве диапазон внедрения красного перца очень широкий. Он является одним из компонентов, обычно применяемых в колбасном производстве, производстве знаменитого шпига «По-венгерски», при приготовлении котлет, студней. Хорошо сочетается с овощными, рисовыми, мясными, бобовыми блюдами. Для создания пикантности им приправляют свинину, морепродукты, курицу, рыбу [82].

Ликероводочная индустрия использует стручковый перец для производства перцовых настоек и водок. В соусном производстве дробленый и молотый перец идет на изготовление острых аджик, кетчупов, лечо. В фармацевтической индустрии употребляется для изготовления перцовых пластырей. Настойка перца при употреблении внутрь улучшает пищеварение и возбуждает аппетит, наружно – действует как согревающее средство [86, 90].

Чеснок (лат. *Allium sativum*) — травянистое многолетнее растение, вид семейства Амариллисовые (*Amaryllidaceae*) подсемейства Луковые (*Allioideae*) рода Лук, ранее находился в самостоятельном ныне упразднённом семействе Луковые (*Alliaceae*).

Знаменитая овощная культура у большинства народов во всем мире, что объясняется характерным запахом и острым вкусом, связанным с присутствием в составе растения тиоэфиров (органических сульфидов). Дольки луковицы («зубчики») употребляются в пищу (приготовленном или в сыром виде, как приправа) и применяются в качестве материала для посева.

Стрелки, Листья и цветоносы применяются в пищу и употребляются в основном у молодых растений.

Корневая система мочковатая. Луковица сложная, образует в выемках своих чешуй от 2 до 50 луковок (именуемых в обиходе «зубчиками» или «зубками»), каждая из которых покрыта жёсткими кожистыми чешуйками. Луковица, несколько приплюснутая, округлая, к середине овально-ребристая. Луковки могут быть желтоватые, белые, розово-фиолетовые, тёмно-фиолетовые. При помощи луковок чеснок размножается вегетативно, что и применяется в культуре. Внешне луковички продолговатые, к середине утолщённые; внутренняя поверхность вогнутая, наружная - выпуклая.

Листья узкие, не полые, желобчатые, ланцетовидно-вытянутые, с нижней стороны с килем, заострённые к концу, сантиметровой ширины, поникающие или прямостоячие, цельно крайние, в длину составляют 30-100 см. Каждый следующий лист растёт изнутри предыдущего, тем самым образуя более прочный, сложный стебель, по сравнению с репчатым луком.

Цветонос (цветоносный стрелка, стебель) – высотой от 60 до 150 см, почти до середины одет листовыми влагалищами, на окончании листка закручивается в спираль и образуется соцветие в виде зонтика, который покрыт плёнчатой перепонкой до цветения.

Соцветие – простой сферический зонтик, состоящий из чистых цветков, воздушно размножающихся луковичек - бульбочек и плотного покрытия (обёртки). Цветки с простым (то есть без деления на венчик и чашечку) венчиковидным околоцветником, состоящим из шести лепестков, на длинных цветоножках. Лепестки околоцветника бледно-лиловые или белые, имеют длину около 3мм, гладкие с одной жилкой, [35, 100].

Благодаря жгучему вкусу чеснок широко применяется по всему миру как приправа. Он является важным компонентом большинства блюд в разных частях мира, например, в Восточной и Южной Азии, на Среднем Востоке, в Северной Африке; чеснок – не изменный символ средиземноморской кухни. В качестве приправы применяют сушёный молотый чеснок. Он бывает

различных фракций: дроблёный, хлопья, и измолотый в муку. В консервированном и свежем, виде чеснок применяется в кулинарии (соленья, колбасы и другие блюда). Сушеный чеснок имеет широкое применение при приготовлении мясных и рыбных блюд, салаты, супы, птицу, грибы - в составе пряных смесей или как отдельную приправу [25, 75].

Горчица сарептская или **Горчица русская** (лат. *Brássica júncea*) – однолетнее травянистое растение, вид семейства Капустные (*Brassicaceae*), рода Капуста (*Brassica*) в диком виде встречается в Средней Азии и Сибири.

Однолетнее травяное растение. Корень уходит в землю на глубину 2-3 метра, стержневой. Стебель у основания ветвистый, прямостоячий, высотой 50-150 см, голый,.

Нижние листья крупные, черешковые, лировидно-перисто-надрезанные, редко почти курчаво-перистые или цельные, зелёные, почти голые или опушённые; верхние – короткочерешковые или сидячие, верхние сизоватые, цельные, средние по форме приближаются к нижним.

Цветки мелкие, бесполое, в начале цветения на одном уровне с бутонами, собраны в щитковидные соцветия или кистевидные; лепестки золотисто-жёлтого оттенка, отгиб не постепенно суживается к ноготку, как у сурепицы, длиннее ноготка. Листики чаще практически горизонтальные. Завязь включает 12-20 семяпочек. При плодах цветоножка в длину составляет 8-17 мм, наклонена под углом 45°. Цветёт в конце апреля – начало мая.

Плод – тонкий, бугорчатый, продолговатый, цилиндрический стручок с шиловидным, тонким носиком, составляющим четверть высоты стручка, 7-12 мм длиной, боковыми переплетающимися жилками лучше видны, чем у сурепицы или рапса и заметной средней жилкой, раскрывающийся, длиной 2,5-5 см. Семена в диаметре составляют 1-1,3 мм, ячеистые, тёмно-бурые или красновато-коричневые, редко жёлтые. Плоды созревают в августе [18].

Столовую горчицу готовят, используя обезжиренный жмых семян. Горчица столовая одна из любимых приправ, которую употребляют с

различными мясными блюдами, овощами, супами, гастрономическими изделиями.

Горчица вызывает аппетит, увеличивает выделение желудочного сока, что приводит к более качественному пищеварению, и её необходимо добавлять в пищу во время простуд. Также горчица будет полезна и тем, кто хочет похудеть: в ней находятся компоненты приводящие к распаду жира жиры. Горчицу не следует употреблять людям с язвенной болезнью двенадцатиперстной кишки или желудка [33, 35].

Горчица – замечательный эмульгатор. Он выступает в качестве защитного покрытия при тепловом воздействии на мясо телятины, рыбы и даже домашней птицы. Она не только придает ему аромат, но исключает потери мясного сока.

Горчичный порошок (Горчица) применяется как как компонент майонеза, приправа, но чаще всего к мясным блюдам. Также имеются разнообразные рецепты маринадов, в состав которых входят как горчичный порошок, так и целые семена [34, 55, 83].

Обладая согревающим действием, порошок из жмыха семян горчицы используют для приготовления горчичников, также их используют в медицине как отвлекающее и согревающее средство, стимулирующее прилив крови и углубляющее дыхание при невралгиях, воспалении лёгких, для прямое воздействие на функцию кровообращения, при гипертонических кризах, стенокардии, угрожающем инсульте.

1.2 Краткий обзор техники сушки плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха

Разделение по конструктивным особенностям является главной классификацией сушилок, а именно на коридорные (туннельные), шахтные, барабанные, ленточные, камерные, распылительные и др. Практически каждая из них может конструироваться в различных исполнениях по

направлению потоков: прямоточные, скрещивающимися токами и противоточные; по устройству искусственной или естественной циркуляции теплоносителя; по осуществлению сушильного процесса (возвратом отработанного теплоносителя, с подогревом внутри камеры сушки, нормальный, с промежуточным подогревом и др.); по давлению в сушильной камере (глубоковакуумные, атмосферные, вакуумные,); по происхождению сушильного агента (перегретый пар, воздух, топочные газы,); по агрегатному состоянию объекта сушки (жидкое, твердое, пенообразное, пастообразное); по способу подвода теплового потока (радиационные, кондуктивные, высокочастотные, конвективные); по режиму работы (непрерывные или периодического действия) [43, 50, 72, 73, 78, 87, 90, 98].

Микроволновый способ обезвоживания сырья под вакуумом – наиболее перспективный вид переработки свежей продукции в экологически безопасные продукты высокого качества: быстро восстанавливающие естественные свойства продукта при взаимодействии с водой (консистенцию, форму, цвет, аромат, вкус); практически полностью сохраняющие биологически активные вещества, витамины, эфирные масла, и имеющие длительный срок хранения [2, 105, 107, 113, 127].

СВЧ сушилки марки «Муссон» применяют для обезвоживания рыбного и мясного сырья, фруктов и овощей, грибов, зелени, ягод, кальмаров, жмыха ягод, водорослей, зерна, дрожжей, круп, отрубей, макарон, жмыха, сои, шрота, орехов и т.д. под вакуумом (рисунок. 1.1 и рисунок 1.2).

Основное преимущества обезвоживания под действием микроволн от естественных способов сушки состоит в объемности нагрева. Теплота образуется сразу во всем объеме, а не проникает в продукт поверхности. Осуществляется равномерное распределение влаги в обрабатываемом продукте. Микроволновые (СВЧ) сушилки в отношении кишечных палочек, стафилококков и других микроорганизмов обладают стерилизующим действием. Техническая характеристика СВЧ-сушилок марки «Муссон-1», «Муссон-2» и «М-Циклон» показана в таблице 1.1 [1, 4, 9, 11, 120].

Таблица 1.1 - Техническая характеристика микроволновых сушилок

Техническая характеристика	«Муссон-1»	«Муссон-2»	«М-Циклон»
Расходуемая мощность, кВт	4	8	30
Выход готового продукта, кг/ч	5...220	10...450	1000
Разовая загрузка сырья, кг	до 25	до 50	
Температура сушки, °С	25...80	25...80	
Масса, кг	340	340	
Габаритные размеры, мм	800×800×1700	790×1215×1965	1700×1600×2960

К предпочтениям микроволновых сушилок марки «Муссон» относится автоматическое перемешивание продукта во время сушки, высокое качество получаемого продукта, экологически чистый процесс, универсальность и автоматическое управление процессом сушки. В камере воздушной до сушки можно с помощью теплого воздуха досушить продукт, который образовался в результате работы сушилки. Это позволяет снизить затраты электроэнергии на 20 % и повысить производительность.

В установке «М-Циклон» ввод продукта происходит через загрузочный бункер (рисунок 1.3). Продукт медленно перемещается от одного уровня установки к другому, контроль за перемещением продукта осуществляется автоматически при помощи микропроцессорного блока управления.

Также известна микроволновая сушильная установка «Ламинария». Установка предназначена для сушки сыпучих и слабо сыпучих продуктов в диапазоне температур от 30 до 100 °С. (рисунок 1.4). Микроволновая сушильная установка «Ламинария» также подходит для сушки овощей, которые имеют влажность 20-30% на входе и 5-10% на выходе.

Отлично справляется установка и с предпосевной обработкой семян, а также с обработкой семян перед закладкой на хранение. С ее помощью также можно довести сухофрукты до влажности 3-6% для получения порошков. Применяют установку и при необходимости выравнивать влагу и улучшить органолептику сушеных продуктов [32].



Рисунок 1.1 - СВЧ-сушилка «Муссон-1»



Рисунок 1.2 - СВЧ-сушилка «Муссон-2»



Рисунок 1.3. СВЧ-сушилка «М-ЦИКЛОН»

Что же касается самого устройства установки и ее принципа действия, то по принципу своей организации установка напоминает вращающийся металлический барабан, который имеет установленные микроволновые генераторы с торцов. В середине самого барабана, используя цевочный механизм, встроен его привод. Устройство также отличается возможностью регулировать скорость вращения барабана.



Рисунок 1.4 - Сушильная установка «Ламинария»

Что касается принципа действия устройства, то он следующий. Продукт, который попадает вовнутрь через входной шнек, оживает за счет вращения барабана и таким образом заполняет некоторую часть объема. При этом происходит

одновременное воздействие на продукт микроволнового излучения и теплого воздуха. Поступление воздуха происходит от систем охлаждения магнетронов. В случае необходимости можно осуществить дополнительный подогрев воздуха с помощью встроенных ТЭНов.

Вывод паровоздушной смеси из установки происходит сквозь специальный вентиляционный патрубок. Когда продукт достаточно подсушенный, он «всплывает» среди общей массы и первым попадает в зону выгрузки. Вывод продукта наружу происходит через винтовой шнек.

В конструкции также существует возможность изменения угла наклона барабана к горизонтали. Это позволит изменить время пребывания продукта в установке. Возможно также изменение удельной плотности микроволновой мощности.

Сушильная установка «Ламинария» имеет следующие характеристики: максимальная потребляемая мощность составляет 25 кВт;

- производительность при обработке семян достигает до 500-600 кг/ч;
- в случае наличия испаренной влаги производительность составляет 20 кг/ч;
- электропитание варьируется от 50-60 Гц, 3ф, 380В;
- средняя рабочая температура 50-60 °С;
- габаритные размеры (ДхШхВ): 3300х2020х2210мм;
- масса 650 кг.

ООО «Аграрные сверхвысокочастотные технологии» ведут работу над воплощением собственного технологического проекта (технологии в сельском хозяйстве), устремленного на создание энергосберегающих зерносушилок с применением СВЧ-нагрева перерабатываемых продуктов без использования газа или дизельного топлива.



Рисунок 1.5 - Установка микроволновая модели АСТ-3

Сушилка микроволновая для сушки масличных культур и зерновых модели АСТ-3. (рисунок 1.5). Сушилка предназначено для испарения влаги из сыпучих материалов с помощью микроволновой сушки и используется для получения масличных культур, зерновых и семян необходимой влажности, в том числе семенного фонда, а также осуществляет обеззараживание, дезинфекцию продукта сушки от грибков, вредных бактерий и плесени [36,

59]. Для нагрева продукта сушки используется СВЧ-энергия. Конструктивно данная сушилка представляет собой вертикальную, прямоточную зерносушильную установку, имеющей модульную конструкцию.

Каждый отдельно взятый модуль представляет собой функционально законченное зерносушильное устройство, обеспечивающее производительность до $4,5 \text{ м}^3/\text{ч}$. Увеличение производительности установки достигается увеличением количества модулей до 2-х штук, при этом производительность можно увеличить до $9 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Технологический процесс сушки состоит в следующем: обрабатываемый продукт подается в зону разогрева через подающий бункер. Проходя сверху вниз через зону разогрева продукт подогревается СВЧ-полем на $12-15 \text{ }^\circ\text{C}$ выше температуры окружающей среды. Подогрев происходит при прохождении продукта через зону разогрева. В данный момент на поверхности объекта сушки осуществляется объемное выделение влаги.

Процесс удаления влаги начинается в зоне разогрева. Далее обрабатываемый продукт поступает в сушильную зону, где осуществляется удаление влаги и уменьшение температуры продукта. После окончания процесса сушки продукт при помощи шнек выгружается, в зависимости от места установки зерносушилки, в сыпную яму или в приемный бункер, где происходит окончательный сьем влаги и нормализация температуры высушенного продукта с температурой окружающей среды.

Микроволновая сушилка конвейерного типа для сушки хлебных изделий и гранулированных продуктов марки АСТ-4 (рисунок 1.6). Сушилка предназначена для сушки различных гранулированных продуктов размером от 4 мм до 25 мм, а также пищевых продуктов, в том числе хлебных изделий и хлебцев не превышающих 100 мм, на основе сверхвысокочастотного нагрева продукта без непосредственного взаимодействия частей установки с продуктом сушки [98, 104, 121], а также для микронизации бобовых культур и зерновых.



Рисунок 1.6 - Сушилка микроволновая модели АСТ-4

В данном режиме производительность установки составляет 500-600 кг. в час. Сушилка эксплуатируется при температуре окружающей среды от плюс 10 °С до плюс 40 °С в закрытых помещениях. Потребляемая мощность не более 80 кВт.

Серия микроволновых конвейерных сушилок MDBT предназначена для сушки мелких предметов (рисунок 1.7). Блочная структура конвейера позволяет варьировать его длину от 5 до 30 м. Ширина конвейера от 200 до 1000 мм.



Рисунок 1.7 - Конвейерная сушилка MDBT

Максимальная температура – 230 °С (опционально может быть увеличена). Может использоваться для подогрева или удаления воды из пищевых продуктов, а также во всех процессах, где необходимо удалить воду или подогреть любой другой поглощающий микроволновое излучение материал. Преимущества – отсутствие времени на прогрев конвейера и быстрый разогрев материала, сокращение времени и энергопотребления в процессе сушки или нагрева, непрерывная организация процесса и высокая гомогенность нагрева.

Микроволновые сушильные камеры серии МКТ с размером камеры от 0,5 до 50 куб.м. позволяют нагревать большие объемы материалов (рисунок 1.8). Они могут комплектоваться конвейерной подачей и двойными дверями, непрерывным регулятором мощности микроволнового излучения, системой обнаружения и тушения возгораний, контролем утечек излучения, устройствами подачи воздуха и вентиляции, детекторами влажности, а также изоляцией для работы при более высоких температурах. Потребляемая мощность зависит от размеров печи и составляет от 4 до 150 кВт. Основные преимущества – экономия электроэнергии, высокая гомогенность нагрева, отсутствие предварительного прогрева, пневматические подъемные двери, быстрота нагрева и, как следствие, резкое снижение временных затрат на



Рисунок 1.8 - Микроволновая сушильная камера МКТ

сушку. Очевидна и масса других применений, например, в деревообрабатывающей, целлюлозно-бумажной, пищевой, автомобильной и химической промышленности - везде, где необходимо удалить воду из определенного

крупногабаритного материала.

Универсальная установка микроволновой вакуумной обработки пищевых продуктов «Родник», является современным, высокотехнологичным оборудованием (Рисунок 1.9). Установка «Родник» позволяет производить низкотемпературную сушку продуктов при температуре 30-50 °С. Это дает возможность сушить продукты критичные к высоким температурам, которые не могут быть качественно и быстро

высушены другими способами. Установку можно использовать в качестве дефростера замороженных продуктов. Разморозку можно производить непосредственно в упаковке.



Рисунок 1.9. Установка для микроволновой вакуумной обработки пищевых продуктов «Родник»

Управление установкой осуществляется посредством сенсорной панели оператора с интуитивным интерфейсом. Для каждого обрабатываемого продукта в памяти установки создается рецепт обработки. Для обработки продукта достаточно выбрать нужный рецепт – дальше работа

происходит автоматически. Таким образом, для вакуумной сушки, жарки, стерилизации или разморозки продукта достаточно нажать кнопку нужного рецепта [1, 5].

1.3 Основные математические закономерности СВЧ-конвективной сушки

Изучением процесса СВЧ-конвективной сушки овощей занимались многие ученые и результаты их исследований были отображены во многих

работах, посвященных описанию основных закономерностей СВЧ-конвективной сушки.

Лыков А.В. [50] разработал систему дифференциальных уравнений тепло - и массопереноса при сушке в поле высокой частоты во влажных материалах:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \nabla^2 t + \frac{\varepsilon}{c r} \frac{\partial u}{\partial \tau} + \frac{Q_v}{c \rho_0} \quad (1.1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = a_{m2} \nabla^2 u + a_{m2} \delta_2 \nabla^2 t + \varepsilon \frac{\partial u}{\partial \tau} \quad (1.2)$$

$$\frac{\partial p}{\partial \tau} = a_p \nabla^2 p + \frac{\varepsilon}{c_e} \frac{\partial u}{\partial \tau} \quad (1.3)$$

где $a_p = K_p / c_e \rho_0$; c_e - емкость тела по отношению к увлажненному воздуху, прямо пропорциональна пористости Π , a_p - коэффициент конвективной диффузии, т.е.

$$c_e = \Pi_T \left(\frac{\partial \rho}{\partial p} \right)_T = \Pi b; \quad (1.4)$$

ρ - плотность влажного воздуха в капиллярах и порах тела. Источник теплоты Q_v рассчитывается формулой.

С помощью системы дифференциальных уравнений получаем, кроме известных критериев Lu , Lu_p , Ko , Pn , Fo , ряд других чисел и критериев:

$$Fo_p = \frac{a_p \tau}{R^2}; \quad Po = \frac{Q_v R^2}{\lambda T_c}; \quad K_1 = \frac{u_0}{c_e P_0}; \quad (1.5)$$

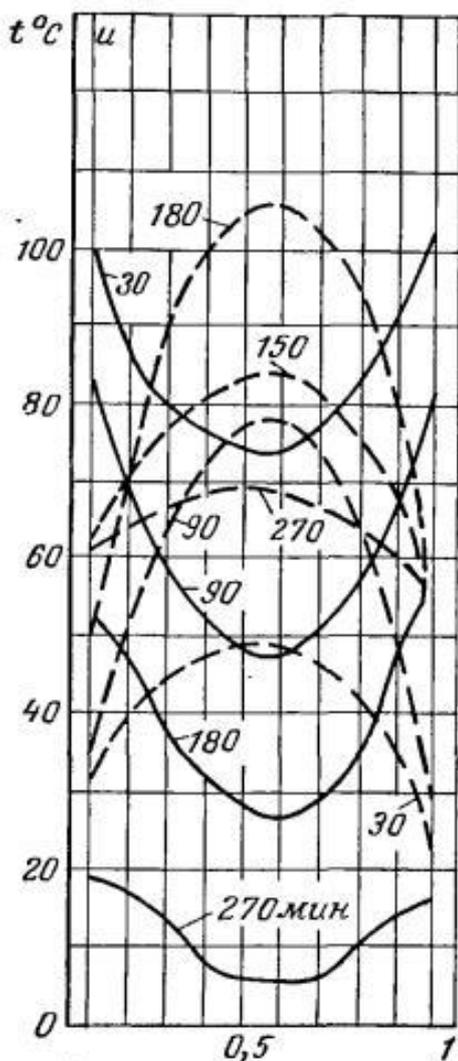


Рисунок 1.10 - Линии распределения влагосодержания (сплошные линии) и температуры (пунктирные линии) при сушке в поле высокой частоты. Время от начала процесса обозначено цифрами

$$K_c = \frac{rc_e p_0}{cT_c} = \frac{K_o}{K_1}; \quad (1.6)$$

где K_c - критерий аккумулирующей способности тела, равный отношению паросодержания влаги тела к его теплосодержанию.

Касьяненко В.П., [41] изучая процесс обеззараживания зерна и комбикормов в поле СВЧ установил, что через границу раздела фаз процесс переноса влаги из капиллярно-пористого тела в газовую (паровую) среду осуществляется при присутствии градиента потенциала перемещения в направлении создания равновесия. На рисунке 1.11 приведена схема массопереноса вещества из капиллярно-пористого тела в окружающую среду.

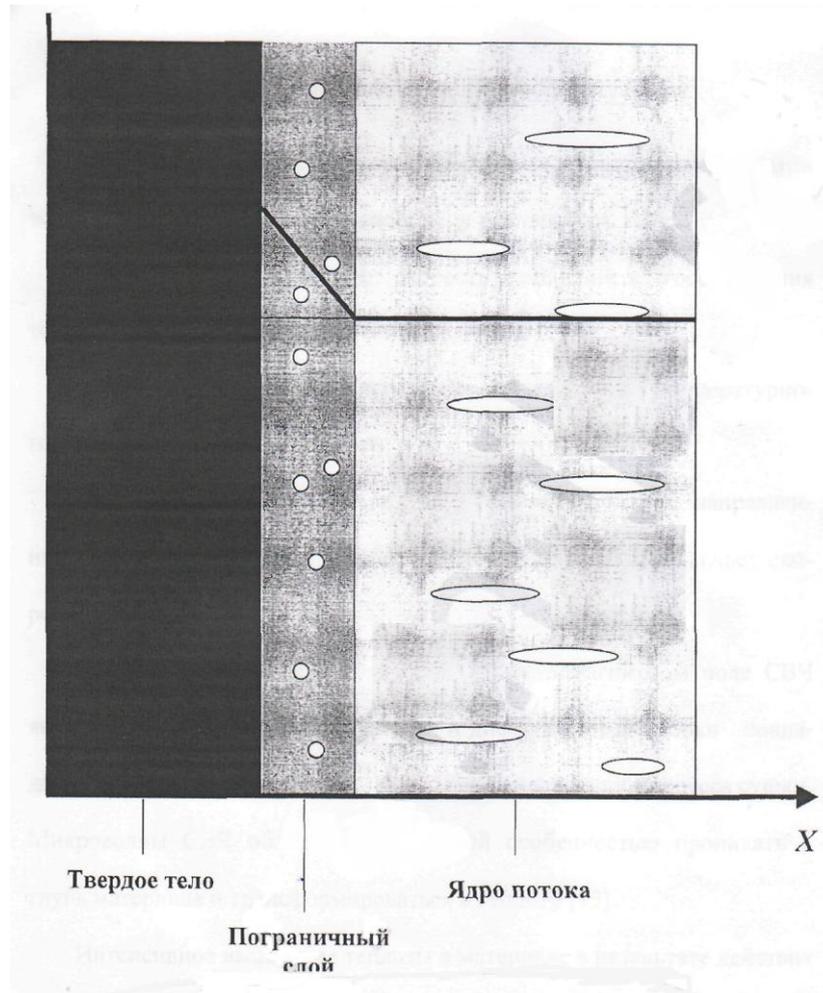


Рисунок 1.11 - Схема массопереноса вещества в твердом теле

Движение влаги в капиллярно-пористом теле будет происходить одновременно под влиянием градиентов концентраций.

В общем виде массовый поток при выполнении условия $P = const$ будет определяться по формуле:

$$i = \frac{dW}{Fd\tau} = \pm K \cdot \rho_{ms} \left(\frac{dX}{dl} + \sigma \frac{dt}{dl} \right), \quad (1.7)$$

где W – количество влаги, кг; $K = f(x, t)$ – коэффициент массопроводности, $m^2/ч$; P – давление; t – температура тела (слоя комбикорма), $^{\circ}C$; ρ_{ms} – плотность абсолютно сухого тела, $кг/м^3$; F – поверхность теплопередачи, m^2 ; σ – кинетический коэффициент термовлагопроводности, являющийся функцией концентрации влаги и температуры тела, $град^{-1}$; X – влагосодержание, кг. воды на кг. воздуха (кг/кг); τ – продолжительность процесса, с; l – нормаль к концентрированной поверхности, м;

В этом уравнении первый член описывает перенос влаги под воздействием градиента концентрации, второй – под воздействием градиента температур.

Кинетические коэффициенты K и σ являются функциями концентрации и температуры влаги в материале (слое комбикорма). Поэтому перемещение влаги следует рассматривать в совокупности с перемещением теплоты в материале, которое описывается теплопроводностью Фурье.

$$\frac{dQ}{Fd\tau} = -\lambda \frac{dt}{dl}, \quad (1.8)$$

где λ – коэффициенты теплопроводности, $Вт/м^{\circ}C$; Q – количество теплоты, кДж;

На основании показанных уравнений массотеплопроводности (1.7) и (1.8) А.В. Лыков получил дифференциальные уравнения тепломассопереноса при $P = const$.

$$\frac{dX}{d\tau} = \frac{dX}{dl} \left(K \frac{dX}{dl} + K \sigma \frac{dt}{dl} \right); \quad (1.9)$$

$$C \cdot \rho_{ms} \frac{dt}{dl} = \frac{dX}{dl} \left(\lambda \frac{dt}{dl} + e \cdot r \cdot \frac{dX}{d\tau} \right), \quad (1.10)$$

где $e = dX_{cp}/dX$ – критерий фазового превращения, отношение местного бесконечно малого изменения влагосодержания за счет фазового превращения (испарения) к общему местному изменению влагосодержания; K – коэффициент массопроводности; r – удельная теплота испарения, кДж/кг; C – удельная теплоемкость материала; X_{cp} – бесконечно малая поверхность. ($X_{cp} \rightarrow 0$);

Ткач В.В., [92] разработал способ производства порошкообразного фабриката концентрата квасного сусла в аппарате с СВЧ-энергоподводом.

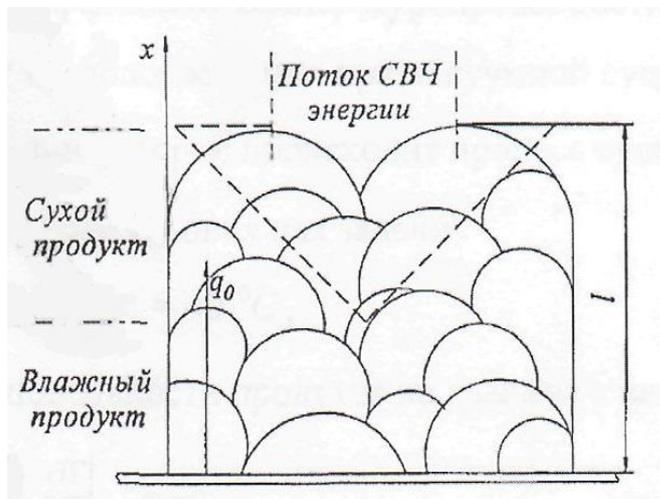


Рисунок 1.12 - Физическая модель процесса вакуумной СВЧ-сушки.

Для решения приведенной задачи математическим методом автор предположил, что объект сушки имеет пенную структуру, а в процессе вакуумной сушки осуществляющейся при давлении 700 Па в условиях вакуума (рисунок 1.12). Требуется выявить закон изменения в пенном продукте температуры при передаче тепла

от генератора СВЧ-нагрева во время вакуумной сушки.

Уравнение, описывающее процесс переноса теплоты в обрабатываемом продукте будет иметь вид

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = k \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \beta \cdot (T - T_0) \quad (1.11)$$

где T – температура продукта в любой точке; x – координата по высоте продукта, $x \in [0; l]$; T_0 – температура, при которой осуществляется процесс сушки; l – высота слоя продукта; β – коэффициент теплопоглощения при вакуумной сушке k – постоянный коэффициент температуропроводности;

Решая данное уравнение, автор пришел к линейному неоднородному дифференциальному уравнению с постоянными коэффициентами первого порядка. Общее решение этого уравнения имеет вид

$$M_n = -\frac{\beta \cdot B_n}{\beta + k \left[(2n-1) \frac{\pi}{2l} \right]^2} + C_n \cdot e^{-\left\{ \beta + k \left[(2n-1) \frac{\pi}{2l} \right]^2 \right\} t} \quad (1.12)$$

При помощи начальных условий $M_n(0) = 0$ автор находит C_n :

$$C_n = \frac{\beta \cdot B_n}{\beta + k \left[(2n-1) \frac{\pi}{2l} \right]^2} \quad (1.13)$$

Из (1.12) и (1.13) находит

$$M_n(t) = -\frac{\beta \cdot B_n}{\beta + k \left[(2n-1) \frac{\pi}{2l} \right]^2} \left[e^{-\left\{ \beta + k \left[(2n-1) \frac{\pi}{2l} \right]^2 \right\} t} - 1 \right] \quad (1.14)$$

Таким образом, автор определил $W_2(t, x)$:

$$W_2 = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\beta \cdot B_n}{\beta + k \left[(2n-1) \frac{\pi}{2l} \right]^2} \left[e^{-\left\{ \beta + k \left[(2n-1) \frac{\pi}{2l} \right]^2 \right\} t} - 1 \right] \cos(2n-1) \frac{\pi}{2l} x \quad (1.15)$$

Решение всей задачи автор записал в виде

$$T = (T_w + q_0 \cdot l) - q_0 \cdot x + \sum_{n=1}^{\infty} \left[(T_1 - T_w) z - \frac{8q_0 \cdot l}{\pi^2 (2n-1)^2} \right] \cdot e^{-\xi \cdot t} \cdot \cos \alpha x + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\beta}{\xi} \left\{ (T_1 - T_w) z - \frac{8q_0 \cdot l}{\pi^2 (2n-1)^2} \right\} \times [e^{-\xi \cdot t} - 1] \cdot \cos \alpha x \quad (1.16)$$

где $\beta + k \left[(2n-1) \frac{\pi}{2l} \right]^2 = \xi$, $(2n-1) \frac{\pi}{2l} = \alpha$, $\frac{4(-1)^{n+1}}{\pi \cdot (2n-1)} = z$.

Четвериков Е.А., [100] изучал сушки процесс семян с твердой оболочкой с применением импульсного воздействия энергетических потоков в СВЧ-конвективных сушилках на примере сушки семян расторопши.

В качестве исходной автор строил математическую модель процесса конвективной тепловой сушки. Данная модель объединяет четыре одновременно протекающих и взаимозависимых физических процесса (механизма):

- процесс теплообмена потока теплоагента и поверхности этого образца с;
- процесс испарения (выхода) влаги с поверхности подвергаемого сушки образца;
- теплообмен внутри рассматриваемого образца;
- массообмен (процесс перемещения влаги) внутри подвергаемого тепловому воздействию объекта;

Главными характеристиками общего процесса, определяющими интегральные, является второй из выше упомянутых механизмов (массоотдача с поверхности), другие обуславливают энергоемкость и скорость данного процесса. Для объяснения процесса массообмена на поверхности потока объектов сушки применяем уравнение, которое получил А.В.Лыков:

$$\left| \frac{dm}{dt} \right| = S\beta(\rho_n - \rho_e) \quad (1.17)$$

здесь $|dm/dt|$ - масса влаги, кг/ч, удаляемой в единицу времени; S - поперечное сечение продукта (потока продуктов), преодолеваемое потоком сушильного агента, м²; β - коэффициент массоотдачи, м/ч; ρ_n, ρ_e - объемные концентрации водяных паров на поверхности продуктов и в поступающем потоке теплоагента, кг/м³;

Более приемлемым для разрабатываемой модели представляется несколько другой вид уравнения массоотдачи,

$$\left| \frac{dm}{dt} \right| = \frac{S\beta}{RT_n}(p_n - p_0) \quad (1.18)$$

где R – газовая постоянная, Дж/моль*К; T – температура изучаемой поверхности, К; p_n, p_0 – парциальное давление водяных паров на в потоке воздуха и поверхности тела, Па.

Для внутренних слоев объекта сушки уравнение теплопроводности записывается как

$$Q_n = S\lambda \frac{dT}{dl}, \quad (1.19)$$

где λ – коэффициент теплопроводности, Дж/м*К; dT/dl – градиент температуры в объеме подвергаемых сушке продуктов, К/м.

Уравнением диффузии описывается изменение массы продукта в процессе сушки («внутреннего» массообмена)

$$\left| \frac{dm}{dt} \right| = \frac{SD}{RT_n} \frac{p}{p_n - p} \frac{dp_n}{dl}, \quad (1.20)$$

где D – коэффициент диффузии для продукта сушки, м²/ч; p_n, p_0 – парциальное давление водяного пара и давление воздуха, Па; dp/dl – градиент парциального давления, Па/м.

После преобразований автор получил выражение для скорости сушки:

$$\left| \frac{dm}{dt} \right| = 0,0266S \sqrt{\frac{V_6}{dv}} \left(\frac{T_n}{273} \right)^{1,89} \times \left(0,00485 \times 10^{[6,9T_0/(230+T_0)]} - \rho_6 \right), \quad (1.21)$$

В данном выражении, исходя из определенных условий взаимодействия потока объекта сушки с потоком нагретого воздуха, следует определить соответствующие:

- площадь взаимодействующей с потоком нагретого воздуха поверхности потока объектов сушки S и связанной с ней величины d ;
- значение T_0 и T_n ;
- удельную плотность паров воды ρ_6 (абсолютную влажность в набегающем потоке воздуха).

С учетом выбранного соотношения $S = l \cdot n$ и значения ρ_6 уравнение (1.21) записывается в следующем виде:

$$\left| \frac{dm}{dt} \right| = 0,0266 \cdot (\ln)^{3/4} (V_g v)^{1/2} \left(\frac{T_0}{273} \right)^{1,89} \left(0,00485 \cdot 10^{\frac{6,9T_0}{230+T_0}} - 0,00865 \right), \quad (1.22)$$

или, с учетом значений коэффициентов, в более компактной форме,

$$\left| \frac{dm}{dt} \right| = K \left(\frac{T_0}{273} \right)^{1,89} \left(10^{\frac{6,9T_0}{230+T_0}} - 1,78 \right), \quad (1.23)$$

Где

$$K = 1,29 \cdot 10^{-4} (l \cdot n)^{3/4} (V_g / v)^{1/2} \quad (1.24)$$

При помощи данного уравнения можно осуществлять приближенные расчеты для процессов конвективной сушки (без участия СВЧ-энергии) продукта с большой влажностью.

Афанасьев А.М. [3] занимался математическим моделированием процессов массо- и теплопереноса при воздействии интенсивного СВЧ-излучения на влагосодержащие продукты слоистой структуры.

Автор привел решение задачи, считая, что распределение температуры и влагосодержания по толщине слоя заданы. Рассчитываем напряженность источников тепла, обусловленных поглощением энергии электромагнитной волны, проходящей через слой.

Электромагнитное поле во всем пространстве мы будем считать гармоническим частоты ω , а математическую среду, - то есть и окружающее его внешнее пространство, и собственно слой, - изотропной, линейной, немагнитной, с временной дисперсией, в общем виде неоднородной. Данная среда в любой точке пространства M полностью характеризуется ее относительной эквивалентной диэлектрической проницаемостью $\varepsilon(M) = \varepsilon'(M) - i\varepsilon''(M)$. Данная величина, определяет и полные потери электромагнитной энергии в веществе, в частности, то есть и потери за счет явления электропроводности. При отсутствии других токов система уравнений Максвелла для полей совместных амплитуд в среде данного типа имеет следующий вид (система СИ, зависимость от времени в виде $\exp(i\omega t)$):

$$\operatorname{rot} \vec{H}(M) = i\omega\varepsilon_0\varepsilon(M)\vec{E}(M) \quad (1.25)$$

$$\operatorname{rot} \vec{E}(M) = -i\omega\mu_0\vec{H}(M) \quad (1.26)$$

Изначально материал слоя предполагается однородным при заданном распределении влагосодержания и температуры по толщине слоя $T = T(M)$ и $U = U(M)$ вид функции $\varepsilon = \varepsilon(M)$ тоже может считать известным.

Автор в своей работе рассмотрел плоский неоднородный слой 2, разделяющий полупространства 1 и 3 (рисунок 1.13).

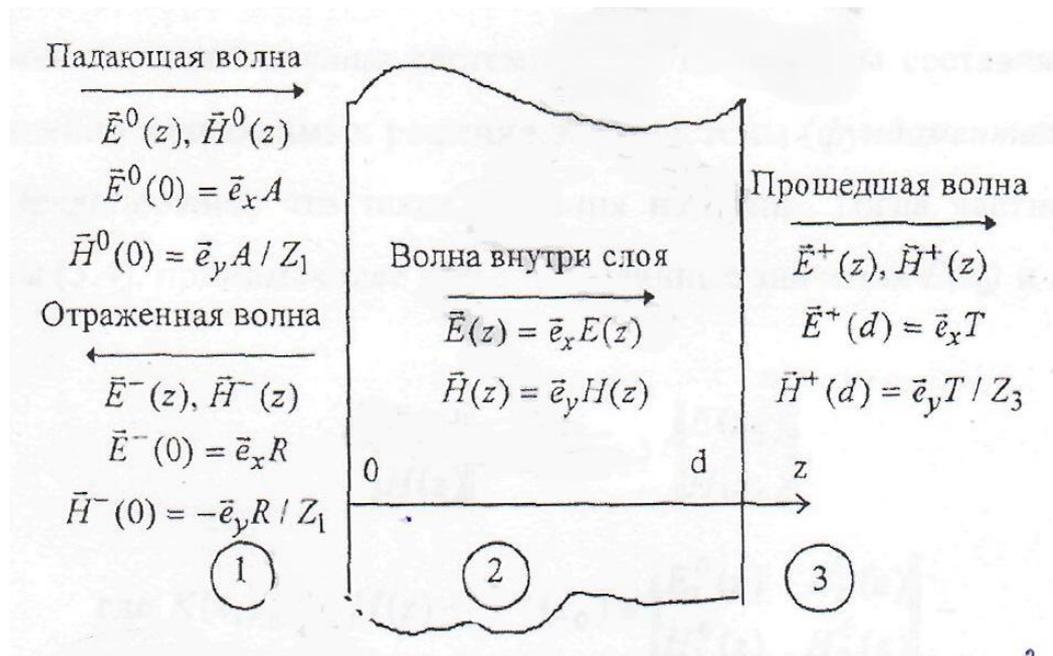


Рисунок 1.13 - Преодоление плоской электромагнитной волны неоднородного плоского слоя

Области 1 и 3 наполнены однородными диэлектриками без утрат, а среда 2 является слоистой средой, или, выражаясь определенной неоднородной по глубине.

Описал характеристическую матрицу плоского слоя, определил внутри слоистой среды решение вида

$$\vec{E}(z) = \vec{e}_x E(z), \quad \vec{H}(z) = \vec{e}_y H(z) \quad (1.27)$$

для уравнений Максвелла (1.25) – (1.26). в декартовой системе координат для функции вида (1.27) эти уравнения становятся такими:

$$\frac{dE(z)}{dz} = -i\omega\mu_0 H(z), \quad \frac{dH(z)}{dz} = -i\omega\varepsilon_0\varepsilon(z)E(z) \quad (1.28)$$

Провел приближенное построение характеристической матрицы (рис. 1.15). Исследовал отражательную и пропускательную способность плоского неоднородного слоя.

Будников Д.А. [7] разработал математическую модель СВЧ рециркуляции зерна при сушке активным вентилированием.

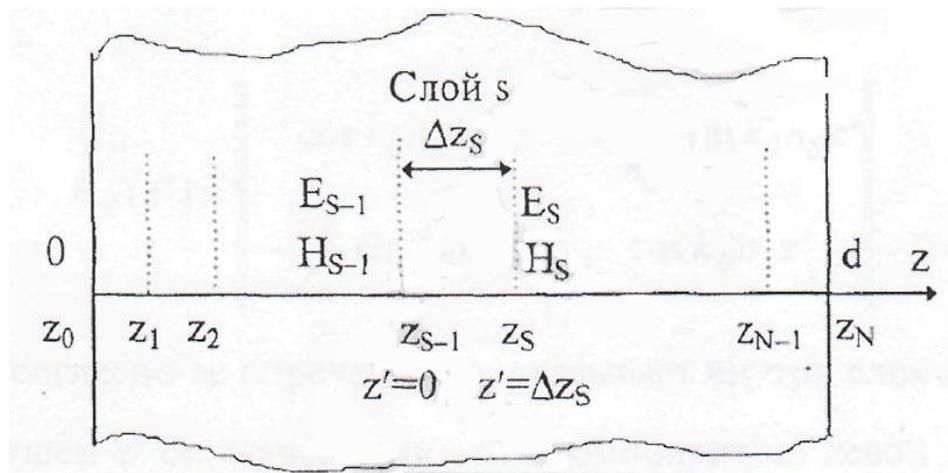


Рисунок 1.14 - Примерное построение характеристической матрицы плоского неоднородного слоя

Процессы СВЧ-нагрева в параметрах автор описывал системой нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных, состоявшей из уравнений Максвелла и уравнение теплопроводности, при отсутствии массопереноса:

$$\text{rot}\vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial\vec{D}}{\partial\tau}, \quad \text{rot}\vec{E} = -\frac{\partial\vec{B}}{\partial\tau}, \quad \text{div}\vec{D} = 0, \quad \text{div}\vec{B} = 0, \quad (1.29)$$

$$\vec{D} = \varepsilon(\Theta) \cdot \vec{E}, \quad \vec{B} = \mu(\Theta) \cdot \vec{H}, \quad \vec{j} = \sigma(\Theta) \cdot \vec{E}. \quad (1.30)$$

$$\frac{\partial}{\partial\tau}(c(\Theta) \cdot \rho(\Theta) \cdot \Theta) + (\vec{v} \cdot \vec{\nabla}\Theta) + Q_v(\Theta, \vec{E}), \quad (1.31)$$

где \vec{E} , \vec{H} - векторы напряженности электрического и магнитного полей; \vec{D} , \vec{B} - вектора магнитной и электрической индукции; \vec{j} - плотность тока проводимости; $\varepsilon = \varepsilon' - i\varepsilon'' = \varepsilon' - i\sigma/\omega$ - абсолютная диэлектрическая проницаемости диэлектрика; ω - круговая частота; ρ , c , λ - коэффициент плотности, теплоемкости и коэффициент теплопроводности диэлектрика; \vec{v} -

оператор Гамильтона; Q_v - удельная поглощенная мощность; Θ - температура диэлектрика.

Поток влаги автор определял в соответствии с уравнением Онзагера

$$j = -a_m \cdot \rho_0 \cdot \nabla U - a_m^T \cdot \rho_0 \cdot \nabla \Theta - a_m^{\mathcal{E}} \cdot \rho_0 \cdot (\nabla E) \cdot \pi_{\mathcal{E}} - a_m^M \rho_0 \cdot (\nabla B) \cdot \pi_M, \quad (1.32)$$

где $\pi_M, \pi_{\mathcal{E}}$ - магнетическая и электрическая и поляризация, соответственно; E - напряженность электрического поля; B - напряженность магнитного поля; $a_m^M, a_m^{\mathcal{E}}$, - коэффициенты магнито- и электродиффузии влаги во влажном материале.

При СВЧ нагреве система дифференциальных уравнений тепло- и влагопереноса имеет вид

$$\begin{cases} \frac{\partial \Theta}{\partial \tau} = a \cdot \nabla^2 \Theta + \frac{\varepsilon}{c \cdot r'} \cdot \frac{\partial U}{\partial \tau} + \frac{Q_v}{c \cdot \rho_0}; \\ \frac{\partial U}{\partial \tau} = a_{m_2} \cdot \nabla^2 U + a_{m_2} \cdot \delta_2 \cdot \nabla^2 \Theta + \varepsilon \frac{\partial U}{\partial \tau}; \\ \frac{\partial p}{\partial \tau} = a_p \cdot \nabla^2 P + \frac{\varepsilon}{c_v} \frac{\partial U}{\partial \tau}; \end{cases} \quad (1.33)$$

где ε - коэффициент фазового превращения жидкость – пар; c - удельная теплоемкость образца; r - удельная теплота парообразования; Q_v - мощность внутренних источников теплоты; ρ_0 - плотность сухого вещества образца; a_{m_2} - коэффициент диффузии жидкости; δ_2 - относительный коэффициент термодиффузии; P - избыточное давление в образце; c_v - емкость образца по отношению к влажному воздуху; Θ - температура зерновки; a_p - коэффициент конвективной диффузии пара.

1.4 Анализ литературного обзора и задачи исследования

Проведя анализ проведенного литературного обзора определили, что недостаточное исследование кинетики процесса СВЧ-конвективной сушки плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха требует разработки новых подходов, определение новых режимов сушки и на их основе создание

новых аппаратов, позволяющих снизить энергозатраты, интенсифицировать процесс сушки и повысить качество готовых специй [79, 108].

Для создания нового аппарата для производства сушеных специй на основе совокупного изучения кинетических режимов сушки с структурно-механическими и физико-химическими характеристиками плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха нужно выполнение соответствия кинетики сушки и гидродинамического режима технологического процесса.

В соответствии с поставленной целью и на основе анализа проведенного литературного обзора, определим главные задачи работы:

✓ Изучить плоды горького перца, чеснока и горчичного жмыха как объекты исследования: определить теплофизические характеристики исследуемых продуктов, определить температурные интервалы, соответствующие удалению влаги с различной формой связи и исследовать формы связи влаги в плодах.

✓ Изучить кинетические закономерности процесса комбинированной СВЧ-конвективной сушки специй при комбинированном энергоподводе.

✓ Разработать рациональные технологические параметры ступенчатых режимов процесса комбинированной СВЧ-конвективной сушки специй.

✓ Разработать математическую модель процесса комбинированной СВЧ-конвективной сушки специй при комбинированном энергоподводе.

✓ Произвести комплексную оценку качества плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха, переработанных по разработанной технологии.

✓ Разработать технологию, способы и конструкцию аппарата для производства специй из горького перца, чеснока и горчичного жмыха.

✓ Произвести энергетическую оценку тепловой эффективности и выполнить технико-экономический расчет предлагаемой конструкции СВЧ-сушилки.

✓ Провести промышленную апробацию полученных результатов.

ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛОДОВ ГОРЬКОГО ПЕРЦА, ЧЕСНОКА И ГОРЧИЧНОГО ЖМЫХА КАК ОБЪЕКТА СУШКИ

2.1. Исследование форм связи влаги в плодах горького перца, чеснока и горчичного жмыха методом термического анализа

Для эффективного протекания процесса сушки исследуемых продуктов необходимо знать характер связи влаги с определением температурных интервалов, на которых происходит изменение в структуре продукта при повышении температуры, и для подбора рациональных температурных режимов сушки изучаемых продуктов. для этого был выполнен дифференциально-термический анализ [8, 54].



Рисунок 2.1 - Комплексный термоанализатор TGA-DSC

Исследование закономерностей теплового воздействия на плоды горького перца, чеснока и горчичного жмыха проводили на комплексном термическом анализаторе фирмы Mettler-Toledo STAR способом неизотермического анализа при атмосферном давлении до температуры 423 К с неизменной скоростью 3 К/мин.

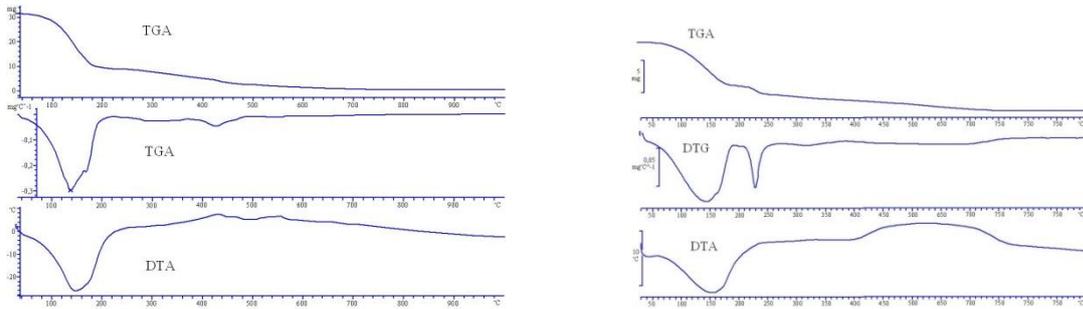
Аппарат фиксирует изменение температуры и массы вещества и при контролируемом температурном воздействии в определенной газовой среде. Данный аппарат состоит из миникомпрессора, испытательного модуля, газ-контролера, термостата, ротаметра, программного обеспечения и персонального компьютера с помощью которого происходит контроль за прибором и обработка результатов эксперимента [61].

Эксперименты проводили в алюминиевых тиглях с полной массой продукта – 10,55 мг. Используемые для количественной обработки способом неизотермической кинетики термоаналитические кривые в то же время регистрируют скорости изменения массы, скорости изменения энтальпии или температуры и изменения массы образца (кривые *TGA*, *DTA* и *DTG*) [103].

Во время теплового воздействия на плоды горького перца, чеснока и горчичного жмыха претерпевают значительные изменения в структуре. В результате этих изменений высвобождается влага, находящаяся в объекте и описывающая характер происходящих внутри него изменений вещества. За счет удаления и разложения клетчатки, сахаров и других органических соединений масса продукта уменьшается. В итоге частичного гидролиза сложных углеводов клетчатки и целлюлозы, из которых выполнены межклеточные перегородки и стенки клеток, происходит снижение прочности структуры продукта [95].

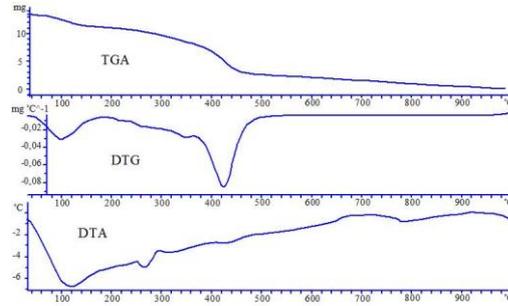
По экспериментальным закономерностям скорости изменения температуры *DTA*, скорости изменения массы *DTG* и изменения массы образца *TGA* осуществляли количественную оценку форм связи влаги в продуктах (рисунок 2.2), полученных методом термогравиметрии.

Оценку объема кинетически неодинаковых молекул жидкости в продуктах осуществляли методом неизотермического анализа по экспериментальным кривым *TGA*. Участок, соответствующий процессу испарения, кривой изменения массы *TGA* (рисунок 2.2), преобразуется в график степени преобразования вещества α от температуры T . На кривой *TGA*, определяют изменение массы Δm_i , при конкретных значениях температуры, соответствующее количеству испарившейся влаги при температуре T_i (рисунок 2.2).



a

б



в

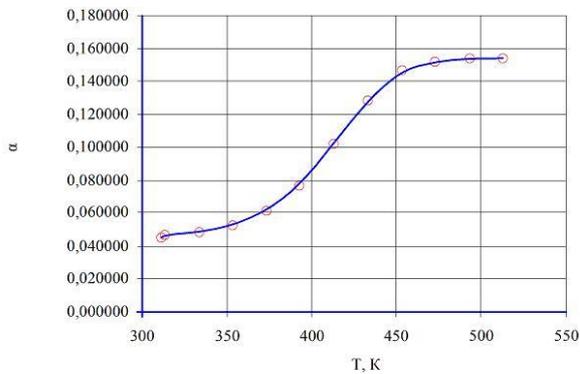
Рисунок 2.2 - Экспериментальные графики скорости изменения температуры *DTA*, скорости изменения массы *DTG* и изменения массы образца чеснока *TGA*:

a – горький перец; *б* – чеснок; *в* – горчичный жмых;

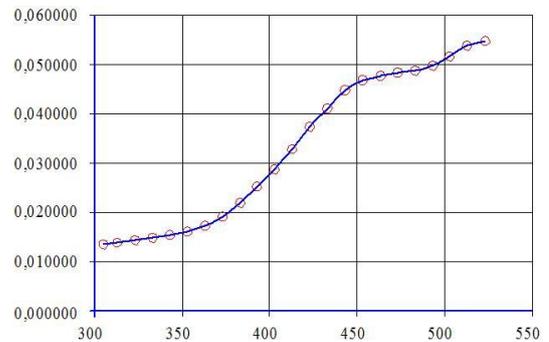
Степень преобразования α определяется как отношение массы продукта Δm_i , к общему количеству влаги, находящейся в образце Δm_{\max}

$$\alpha = \Delta m_i / \Delta m_{\max}.$$

Полученная кривая степени превращения вещества α от температуры T (рис. 2.3) имеет вид, отражающий сложный характер отношения жидкости и сухих веществ плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха.



a



б

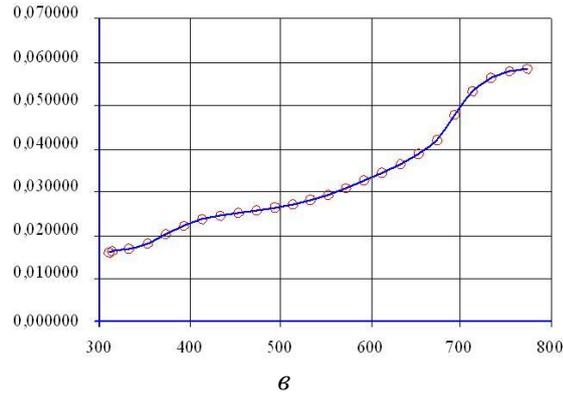
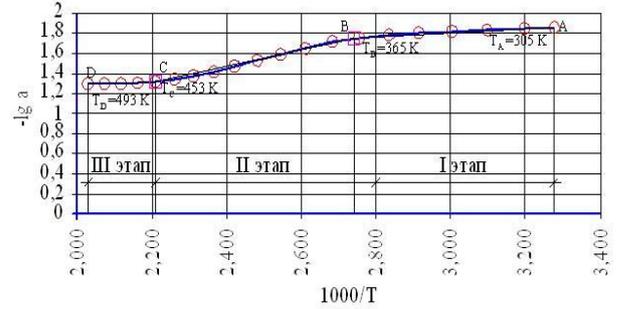
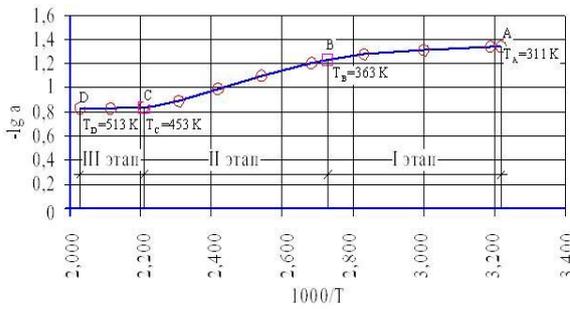
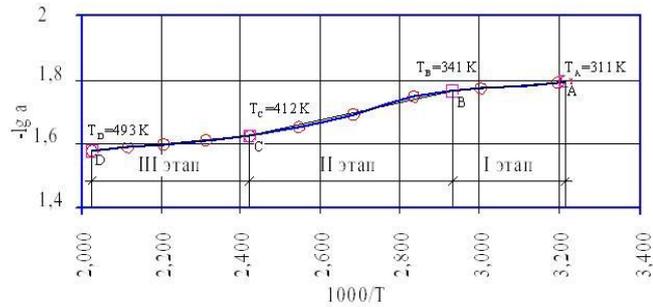


Рисунок 2.3 - Зависимость степени преобразования α вещества от температуры T для плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха при нагревании со скоростью подъема температуры 3 К/мин: а – горький перец; б – чеснок; в – горчичный жмых;



а

б



в

Рисунок 2.4 - Зависимость $-\lg \alpha$ от величины $10^3/T$ исследуемых плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха при нагревании со скоростью подъема температуры 3 К/мин: а – горький перец; б – чеснок; в – горчичный жмых;

Для плодов горького перца при температуре 311...363 К (1 этап, рисунок 2.4, а) происходит прогрев и испарение физико-механически связанной влаги, обладающая невысокой энергией связи с продуктом. В интервале

температур 363...453 К (2 этап, рисунок 2.4, а) осуществляется выделение осмотической влаги продукта. Диапазон температур 453...513 К (3 этап, рисунок 2.4, а) характеризуется испарением адсорбционной влаги, а по мере увеличения температуры и приближения её к верхней отметке интервала – испарением адсорбционной и внутренней осмотической влаги горького перца. При этом предполагается небольшое разложение образца. Для плодов чеснока при температуре 305...365 К (1 этап, рисунок 2.4, б) осуществляется нагрев и испарение физико-механически связанной влаги, имеющей небольшую энергию связи с образцом. В диапазоне температур 365...453 К (2 этап, рисунок 2.4, б) происходит испарение осмотической влаги чеснока. В диапазоне температур 453...493 К (3 этап, рисунок 2.4, б) характеризуется испарением адсорбционной влаги. При этом идет частичное разложение термолабильных веществ белково-углеводного и витаминного комплекса. Для горчичного жмыха при температуре 311...341 К (1 этап, рисунок 2.4, в) осуществляется нагрев и испарение физико-механической влаги, которая имеет небольшую энергию связи с объектом. В интервале температур 341...412 К (2 этап, рисунок 2.4, в) происходит десорбция осмотической влаги горчицы. В диапазоне температур 412...493 К (3 этап, рисунок 2.4, в) происходит удаление адсорбционной влаги. В результате происходит частичное разложение термолабильных веществ белково-углеводного и витаминного комплекса.

Анализ экспериментальных данных позволил выявить периоды преобразования сухих веществ и дегидратации воды при тепловом воздействии на плоды горького перца, чеснока и горчичного жмыха, а также определить температурные диапазоны, которые соответствуют испарению влаги с различной по величине энергией и формой связи, что позволит подбирать режимные параметры процесса сушки и определить среди них наиболее рациональные. Во время нагрева наблюдается изменение массы образца (кривая *TGA*), связанное с испарением влаги. Кривая скорости изменения температуры *DTA* сопровождается значительным

эндотермическим эффектом в диапазоне температур для горького перца 315...518 К (таблица 2.1), для чеснока в интервале температур 305...523 К (таблица 2.2), для горчичного жмыха в интервале температур 311...493 К (таблица 2.3), который соответствует наибольшей скорости испарения влаги из продукта и сопровождается интенсивным изменением массы образца.

Таблица 2.1 - Кинетические температурные параметры процесса сушки горького перца

Кинетические параметры процесса	Значение параметра
Температура максимума эндотермического эффекта, К	416
Температура в начале эндотермического эффекта, К	315
Температура в конце эндотермического эффекта, К	518

Таблица 2.2 - Температурные параметры процесса сушки чеснока

Температурные параметры процесса	Значение параметра
Температура максимума эндотермического эффекта, К	414
Температура в начале эндотермического эффекта, К	305
Температура в конце эндотермического эффекта, К	523

Таблица 2.3 - Температурные параметры процесса сушки горчичного жмыха

Температурные характеристики процесса	Значение параметра
Температура максимума эндотермического эффекта, К	402
Температура в начале эндотермического эффекта, К	311
Температура в конце эндотермического эффекта, К	493

Анализируя полученные данные можно определить три периода испарения жидкости и преобразования сухих веществ при тепловом воздействии на плоды горького перца, чеснока и горчичного жмыха, а также определить температурные диапазоны, которые соответствуют испарению влаги с различной энергией и формой связи.

2.2. Определение теплофизических характеристик плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха

Научное обоснование процесса сушки плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха невозможно без сведений о теплофизических характеристиках (коэффициента теплопроводности λ , Вт/(м·К), коэффициента температуропроводности α , м²/с, удельной теплоемкости c , Дж/(кг·К)) горького перца, чеснока и горчичного жмыха [124].

Определение зависимости теплофизических характеристик горького перца, чеснока и горчичного жмыха проводились на измерительном приборе Cossfield RT-1394H (National Instruments) [12, 40, 110].

Полученные данные о теплофизических коэффициентах образцов горького перца, чеснока и горчичного жмыха для диапазона температур 293...353 К приведены в таблица 2.4, 2.5, 2.6.

Таблица 2.4 - Теплофизические характеристики образцов горького перца

№ п./п.	Интервал температур	Ед. изм.	Образцы перца					
			W ~ 88,02 %			W ~ 9,17 %		
			исходная			после сушки		
			Коэффициент температуропроводности (α), $\times 10^8$ м ² /с					
1	20	°С	6,81±0,04			6,47±0,04		
2	40	°С	6,87	±	0,04	6,53	±	0,04
3	60	°С	6,94	±	0,04	6,58	±	0,02
4	80	°С	6,99	±	0,04	6,64	±	0,02
			Коэффициент теплопроводности (λ), Вт/(м·К)					
5	20	°С	0,277	±	0,002	0,182	±	0,004
6	40	°С	0,282	±	0,002	0,186	±	0,002
7	60	°С	0,287	±	0,002	0,190	±	0,002
8	80	°С	0,290	±	0,002	0,194	±	0,004
			Массовая удельная теплоемкость (c), Дж/(кг·К)					
9	20	°С	3778,15	±	0,05	2390,01	±	0,04
10	40	°С	3807,02	±	0,05	2422,52	±	0,04
11	60	°С	3838,31	±	0,05	2453,17	±	0,05
12	80	°С	3860,05	±	0,05	2487,02	±	0,05
13	Плотность (ρ)	кг/м ³	1076,4			1175,2		

Таблица 2.5 - Теплофизические характеристики образцов чеснока

№ п./п.	Интервал температур	Ед. изм.	Образцы чеснока	
			W ~ 58,72 %	W ~ 5,62 %
			<i>исходный</i>	<i>после сушки</i>
			Коэффициент температуропроводности (α), $\times 10^8$ м ² /с	
1	20	°С	6,97 ± 0,04	6,52 ± 0,04
2	40	°С	6,93 ± 0,02	6,47 ± 0,02
3	60	°С	6,88 ± 0,04	6,42 ± 0,04
4	80	°С	6,85 ± 0,02	6,38 ± 0,04
			Коэффициент теплопроводности (λ), Вт/(м·К)	
5	20	°С	0,275 ± 0,004	0,197 ± 0,002
6	40	°С	0,277 ± 0,002	0,199 ± 0,002
7	60	°С	0,279 ± 0,002	0,201 ± 0,004
8	80	°С	0,281 ± 0,004	0,203 ± 0,002
			Массовая удельная теплоемкость (c), Дж/(кг·К)	
9	20	°С	3307,51 ± 0,15	2314,15 ± 0,15
10	40	°С	3351,02 ± 0,10	2359,07 ± 0,15
11	60	°С	3394,75 ± 0,15	2401,71 ± 0,15
12	80	°С	3439,67 ± 0,15	2443,05 ± 0,10
13	Плотность (ρ)	кг/м ³	1192,9	1303,9

Таблица 2.6 - Теплофизические характеристики образцов горчичного жмыха

№ п./п.	Интервал температур	Ед. изм.	Образцы горчичного жмыха	
			W ~ 17,02 %	W ~ 5,98 %
			<i>исходный</i>	<i>после сушки</i>
			Коэффициент температуропроводности (α), $\times 10^8$ м ² /с	
1	20	°С	6,65 ± 0,04	6,32 ± 0,04
2	40	°С	6,61 ± 0,02	6,27 ± 0,02
3	60	°С	6,57 ± 0,04	6,22 ± 0,04
4	80	°С	6,53 ± 0,02	6,17 ± 0,04
			Коэффициент теплопроводности (λ), Вт/(м·К)	
5	20	°С	0,158 ± 0,002	0,111 ± 0,002
6	40	°С	0,162 ± 0,004	0,115 ± 0,002
7	60	°С	0,165 ± 0,004	0,120 ± 0,004
8	80	°С	0,167 ± 0,002	0,125 ± 0,002
			Массовая удельная теплоемкость (c), Дж/(кг·К)	
9	20	°С	2303,49 ± 0,15	1317,52 ± 0,15
10	40	°С	2370,02 ± 0,10	1380,15 ± 0,10
11	60	°С	2435,54 ± 0,15	1444,62 ± 0,15
12	80	°С	2473,81 ± 0,15	1515,05 ± 0,15
13	Плотность (ρ)	кг/м ³	1033,6	1141,9

Управление процессом эксперимента и анализ измерительной информации проводили посредством виртуальной программы, разработанного в LabView 7.0. Полученные экспериментальные данные обрабатывались на ЭВМ в среде «Microsoft Excel», в итоге получили следующие зависимости (значения теплофизических характеристик плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха для интервала температур 293...353 К) [44, 133]:

Для горького перца:

при $W = 88,02 \%$:

$$c = 1,385 \cdot T + 3751; R^2 = 0,994,$$

$$\lambda = 0,0001 \cdot T + 0,272; R^2 = 0,996,$$

$$a = 0,003 \cdot T + 6,75; R^2 = 0,996$$

при $W = 9,17 \%$:

$$c = 1,608 \cdot T + 3751; R^2 = 0,999,$$

$$\lambda = 0,0000 \cdot T + 0,178; R^2 = 0,999,$$

$$a = 0,002 \cdot T + 6,415; R^2 = 0,998,$$

Для чеснока:

при $W = 58,72 \%$:

$$c = 1,8786 \cdot T + 3654,3; R^2 = 0,9997,$$

$$\lambda = 0,0002 \cdot T + 0,199; R^2 = 0,9931,$$

$$a = 0,0032 \cdot T + 4,915; R^2 = 0,999$$

при $W = 5,62 \%$:

$$c = 1,7555 \cdot T + 3392; R^2 = 1,$$

$$\lambda = 0,0002 \cdot T + 0,191; R^2 = 0,9931,$$

$$a = 0,0032 \cdot T + 4,755; R^2 = 0,999,$$

Для горчичного жмыха:

при $W = 17,02 \%$:

$$c = 2,8824 \cdot T + 2251,6; R^2 = 0,9961,$$

$$\lambda = -0,001 \cdot T + 0,1559; R^2 = 0,9785,$$

$$a = -0,002 \cdot T + 6,69; R^2 = 1$$

при $W = 5,98 \%$:

$$c = 3,2853 \cdot T + 1250,1; R^2 = 0,9993,$$

$$\lambda = 0,0002 \cdot T + 0,1064; R^2 = 0,9996,$$

$$a = -0,0025 \cdot T + 6,37; R^2 = 1$$

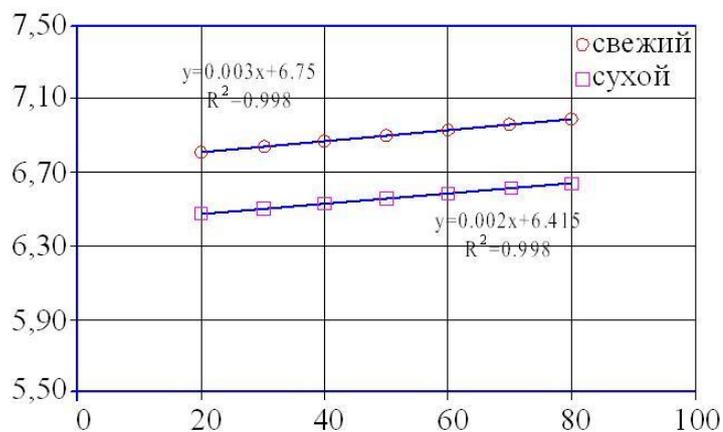


Рисунок 2.5 - Зависимость коэффициента температуропроводности образцов горького перца от температуры при влажности $W = 88,13 \%$ и $W = 9,17 \%$

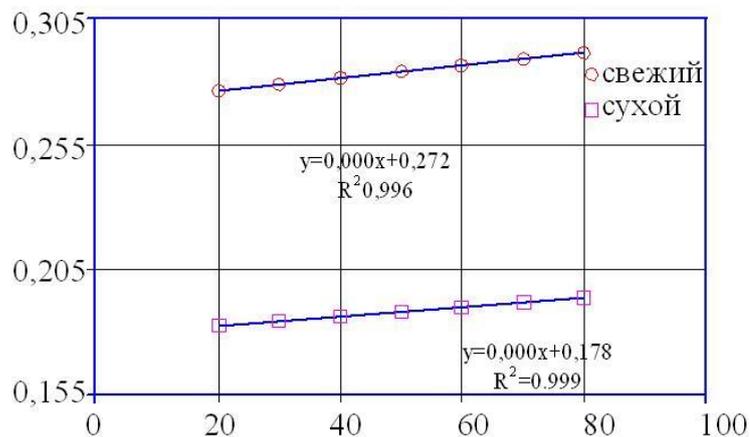


Рисунок 2.6 - Зависимость коэффициента теплопроводности образцов горького перца от температуры при влажности $W = 88,13 \%$ и $W = 9,17 \%$

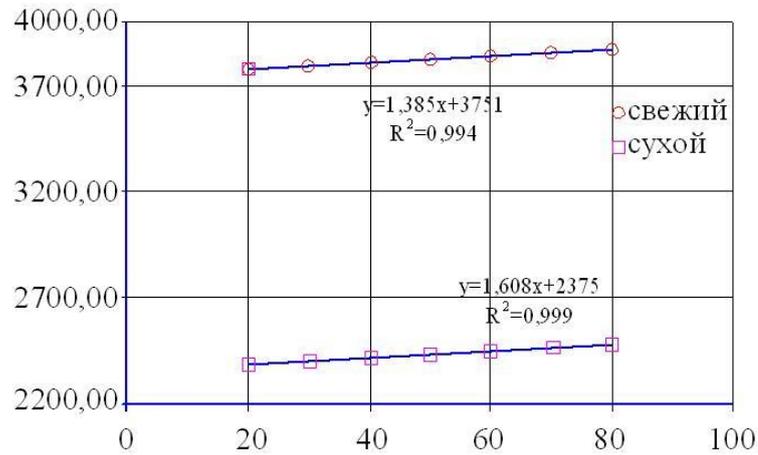


Рисунок 2.7 - Зависимость удельной теплоемкости образцов горького перца от температуры при влажности $W = 88,13\%$ и $W = 9,17\%$

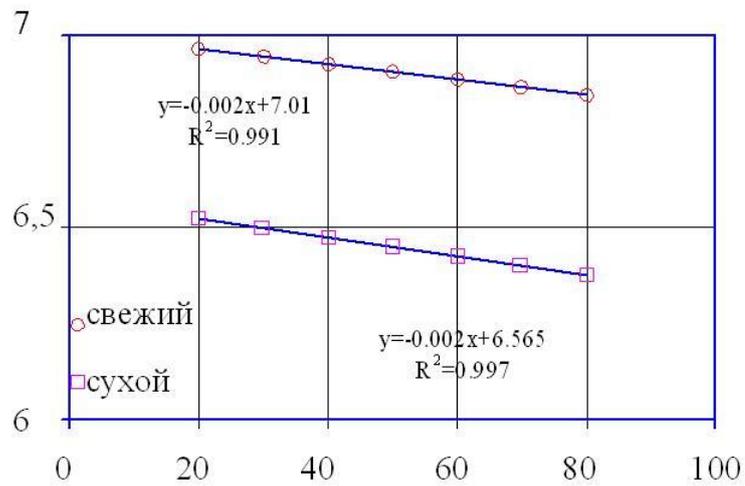


Рисунок 2.8 - Зависимость коэффициента температуропроводности образцов чеснока от температуры при влажности $W = 58,72\%$ и $W = 5,62\%$

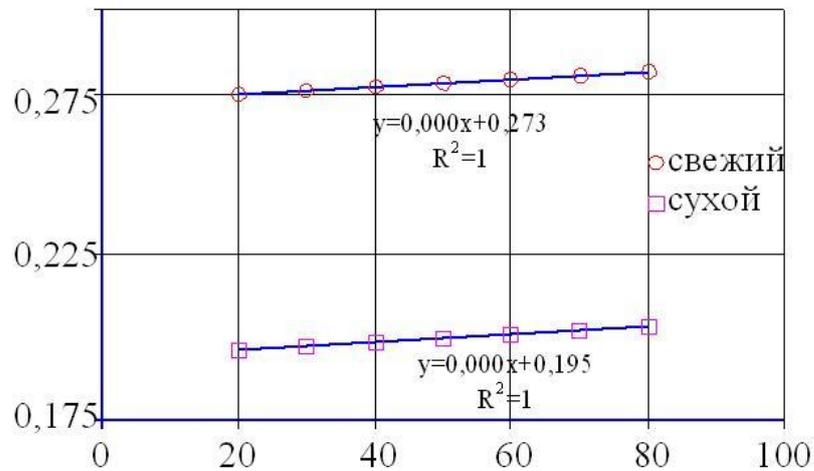


Рисунок 2.9 - Зависимость коэффициента теплопроводности образцов чеснока от температуры при влажности $W = 58,72\%$ и $W = 5,62\%$

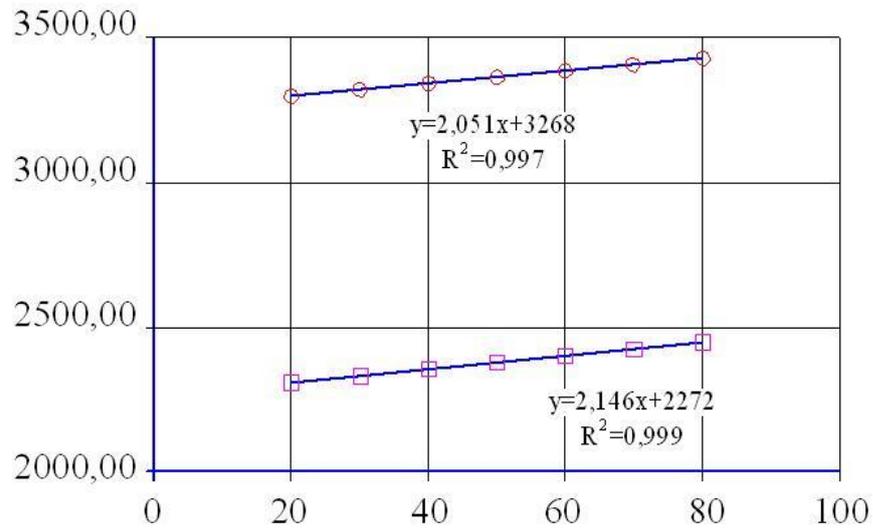


Рисунок 2.10 - Зависимость удельной теплоемкости образцов чеснока от температуры при влажности $W = 58,72\%$ и $W = 5,62\%$

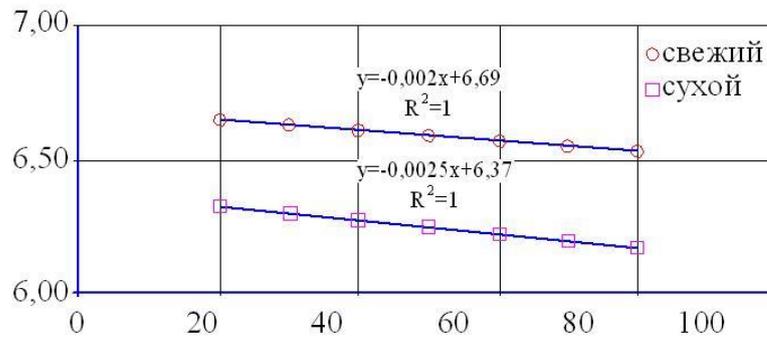


Рисунок 2.11 - Зависимость коэффициента температуропроводности образцов горчицы от температуры при влажности $W = 17,02\%$ и $W = 5,98\%$

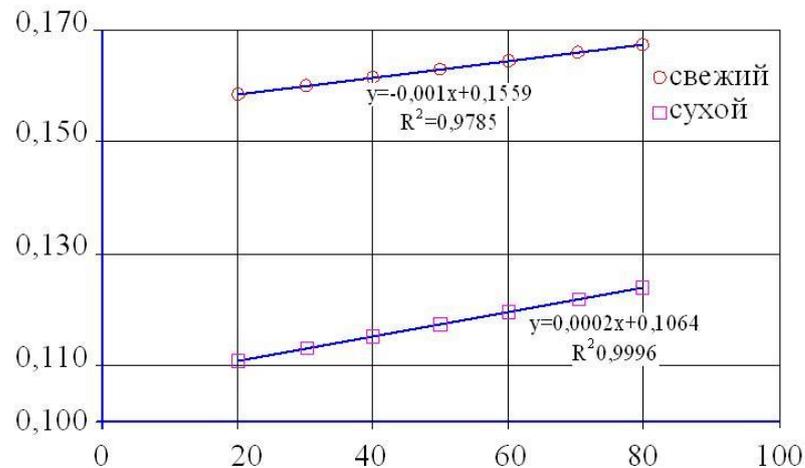


Рисунок 2.12 - Зависимость коэффициента теплопроводности образцов горчицы от температуры при влажности $W = 17,02\%$ и $W = 5,98\%$

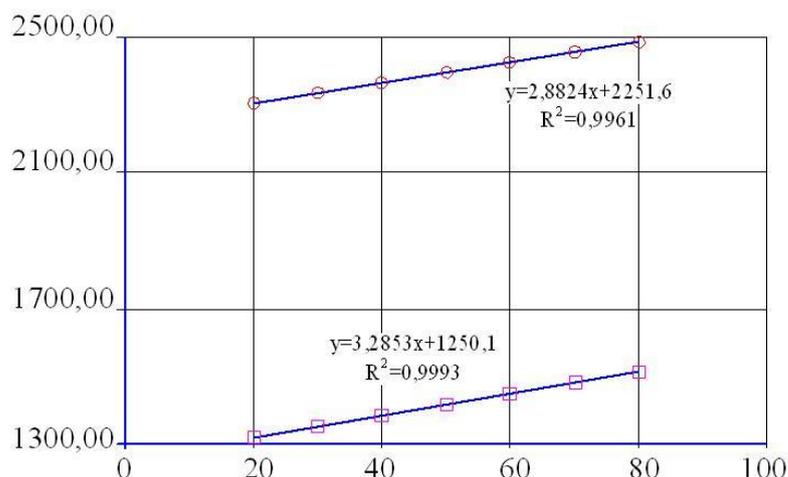


Рисунок 2.13 - Зависимость удельной теплоемкости образцов горчичного жмыха от температуры при влажности $W = 17,02\%$ и $W = 5,98\%$

В результате эксперимента было установлено, что зависимость теплофизических характеристик от температуры носят прямолинейный характер. С ростом температуры происходит увеличение теплофизических характеристик (коэффициент температуропроводности, теплопроводность и удельная теплоемкость) изучаемых образцов горького перца, чеснока и горчичного жмыха [65].

2.3. Определение диэлектрических характеристик плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха.

Разнообразие способов определения диэлектрических характеристик материалов вызвано как невозможностью разработать универсальный метод определения, так и разнообразиями в видах решаемых ими задач. В зависимости от назначения, способы определения различаются по точности определяемых характеристик, диапазону частот, фазовому и количественному составу материала при измерении и др. При изучении сверхвысокочастотных процессов характеристики образцов входят в уравнение электродинамики и граничные условия при присутствии раздела сред. Эти уравнения являются основой разнообразных методов определения

диэлектрических характеристик продуктов. В СВЧ диапазоне распространенными и часто используемыми способами измерений являются: свободных волн, резонансные, с использованием медленных волн, волноводные.

В данное время имеется большое количество резонансных методов и их модификации, что обусловлено применением разнообразной формы резонансных полостей и исследуемых материалов, а так же способом измерения резонансных полостей и исследуемых материалов, а так же способом определения резонансных свойств используемых резонансных систем. Практическое использование для определения диэлектрических параметров нашли системы, имеющие сравнительно не сложную конфигурацию и поддающиеся достаточно определенному теоретическому исследованию. К подобным резонаторам нужно отнести коаксиальные, прямоугольные, цилиндрические [48, 59, 76, 88, 114].

При измерении диэлектрических характеристик на практике с помощью волноводов появляются трудности, связанные с решением трансцендентных уравнений и неоднозначностью конечных результатов. Важнейшим недостатком волноводных способов является их узкополосность. В данном соотношении выгодно выделяются способы с использованием коаксиальных линий, методика определения которых схожа с волноводной. Наибольшей точностью отличаются методы измерений с использованием согласующих трансформаторов и на четверть волновых образцах. Способ измерения в максимуме электрического поля допускает применять весомые упрощения при определении без существенной потери точности метода, что позволяет его использовать для массовых измерений. Выявление диэлектрических характеристик возможно при определении значения затухания электромагнитного поля в продукте, измерением любого параметра электромагнитной волны [27, 93, 109, 115, 123].

Для исследования диэлектрических характеристик горького перца, чеснока и горчичного жмыха мы воспользовались метод сравнения (экспересс-метод), разработанный в РЭУ им. Г.В. Плеханова, который позволяет выявить диэлектрические характеристики продуктов, а именно коэффициент диэлектрических потерь ε'' , пищевых продуктов с допустимой точностью для практического применения. Все эксперименты сводятся к сравнению скорости нагрева исследуемого образца и дистиллированной воды (эталоны) за одинаковый промежуток времени с теплоемкости образца, веса и а также колебательной мощности, подводимой к продукту [88, 119].

Эксперименты проводились в микроволновой печи «LG» с колебательной мощности 800 Вт и частотой 2450 МГц. В качестве эталона применялась вода дистиллированная. Было сделано несколько серий экспериментов по СВЧ-нагреву плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха и воды, взятых в равном объеме, за определенный промежуток времени. Температуру нагрева воды и плодов контролировалась при помощи пирометра «Т2 – 830».

Средняя удельная активная мощность за определенный интервал времени, поглощенная единицей объема рассматриваемого образца в виде теплоты рассчитывается по закону Джоуля – Ленца:

$$P_{y\partial} = 0,556 \cdot 10^{-10} \cdot \varepsilon'' \cdot f \cdot E^2 \quad (1)$$

где E^2 - напряженность электромагнитного поля, В/м; f - частота колебаний электромагнитного поля, Гц; $P_{y\partial}$ - удельная мощность, Вт/м³; ε'' - коэффициент диэлектрических потерь;

Тепловая энергия, образуемая в материале, определяется по формуле:

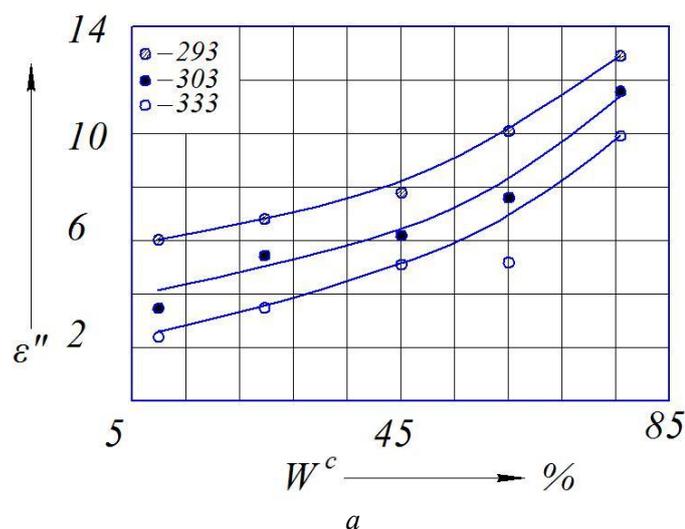
$$Q = ct\Delta T \quad (2)$$

где m - масса материала, кг; Q - количество теплоты, генерируемой в материале, Дж; ΔT – разность температур между конечной T_k и начальной T_n ; c - удельная теплоемкость, Дж/(кг·К);

Сравнивая скорости нагрева dT/dt образца и эталона, а также совокупное решение уравнений (1) и (2) можем выявить зависимость значения коэффициента диэлектрических потерь плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха от разнообразных факторов.

Определение коэффициента диэлектрических потерь горького перца и чеснока проводились в интервале влажности 7,0...80%, а горчичного жмыха в интервале 6,0...25 %. До определенной влажности плоды горького перца, чеснока и горчичного жмыха доводили на экспериментальной СВЧ сушилке. С целью определения температурных зависимостей ϵ'' эксперименты проводились при разнообразных температурах в диапазоне 293...343 К.

Кривая поведения коэффициента диэлектрических потерь ϵ'' плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха при частоте электромагнитного поля $f = 2450$ МГц от влажности W при разных температурах приведены на рисунок 2.14.



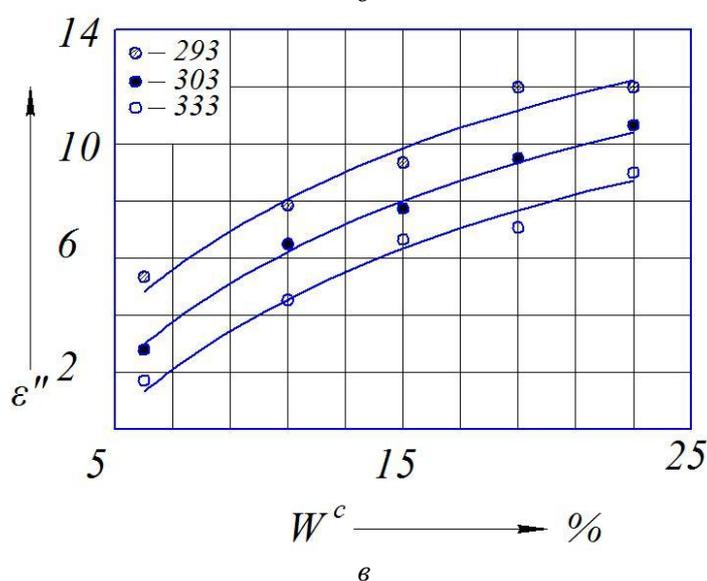
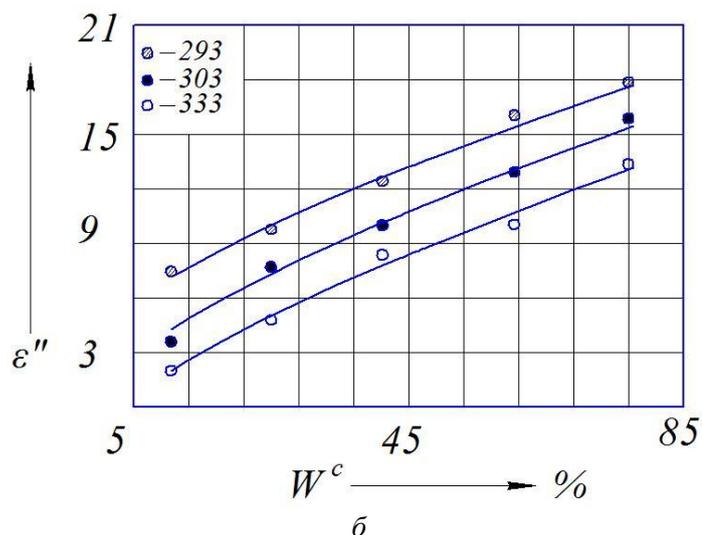


Рисунок 2.14 - Зависимость перемены коэффициента диэлектрических потерь ε'' при частоте электромагнитного поля $f=2450$ МГц от влажности W : *a* – горький перец, *б* – чеснок, *в* – горчичный жмых.

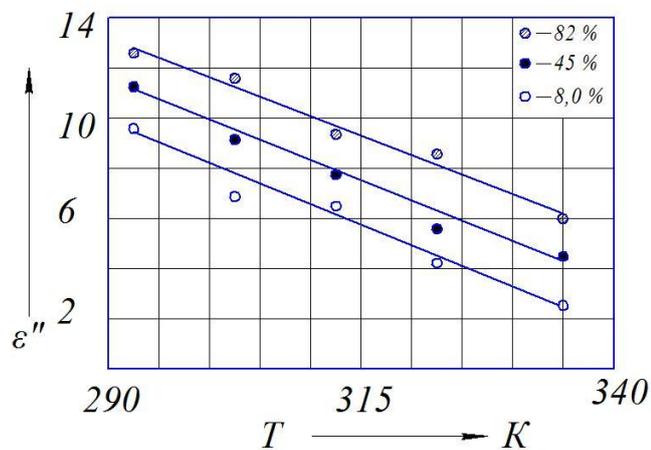
Как видно из рисунка 2.14 показатель ε'' в большей степени зависит от влажности, т.е. жидкость играет ключевую роль в процессе потребления энергии при диэлектрическом нагреве. Нелинейная закономерность изменения коэффициента диэлектрических потерь от влажности характеризуется различными формами связи влаги в плодах горького перца, чеснока и горчичного жмыха.

При влажности 7,0...15,0 % коэффициент диэлектрических потерь имеет небольшие значения за счет присутствия в исследуемом продукте адсорбционно связанной влаги, и общая доля влаги в продукте мала.

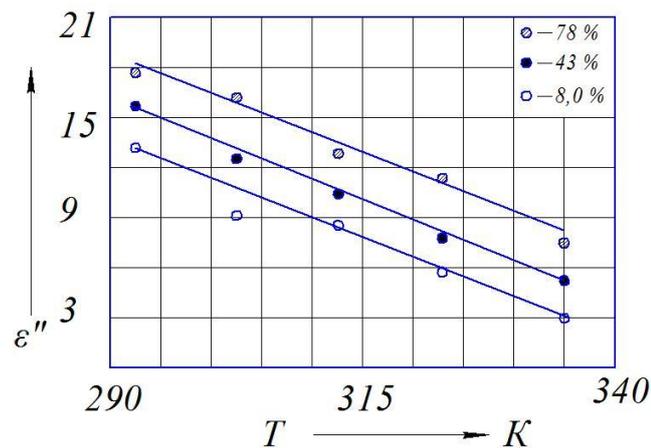
При влажности от 15,0 до 40 % увеличение коэффициента диэлектрических потерь, обусловлено наличием осмотически связанной влаги и увеличением общей доли влаги в продукте.

В диапазоне влажности от 40 до 80 % увеличение коэффициента диэлектрических потерь обусловлено присутствием в продукте механически связанной влаги, а также влаги микро - и макрокапилляров.

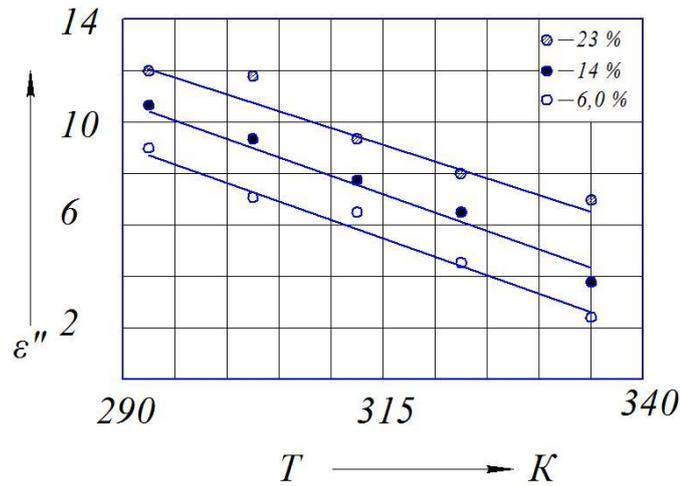
На рисунке 2.15 приведены кривые температурных зависимостей коэффициента диэлектрических потерь плодов горького перца при влажности 8 %, 45 %, 82 %, чеснока при влажности 8 %, 43 %, 78 % и горчичного жмыха при влажности 6 %, 14 %, 23 %.



a



б



в

Рисунок 2.15 - Зависимость перемены коэффициента диэлектрических потерь ε'' при частоте $f=2450$ МГц от температуры T : a – горького перца, b – чеснока, v – горчичного жмыха.

Уменьшение значения ε'' с повышением температуры плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха можно объяснить снижением ε'' жидкости при увеличении температуры, а также значительными потерями влаги при нагревании плодов.

На рисунок 2.16 представлена общая зависимость коэффициента диэлектрических потерь плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха от влажности и температуры в совокупности.

Для описания эмпирической поверхности математически, показанной на рисунок 2.16, использовались уравнения, полученные с помощью ПЭВМ в среде программного модуля «STASTIC 10» [134]. Уравнения, описывающие электрофизические характеристики плодов горького перца и чеснока при влажности W от 6,0 до 80 % и горчичного жмыха при влажности W от 6,0 до 25 % и температуре продукта T от 293 до 333 К:

горький перец

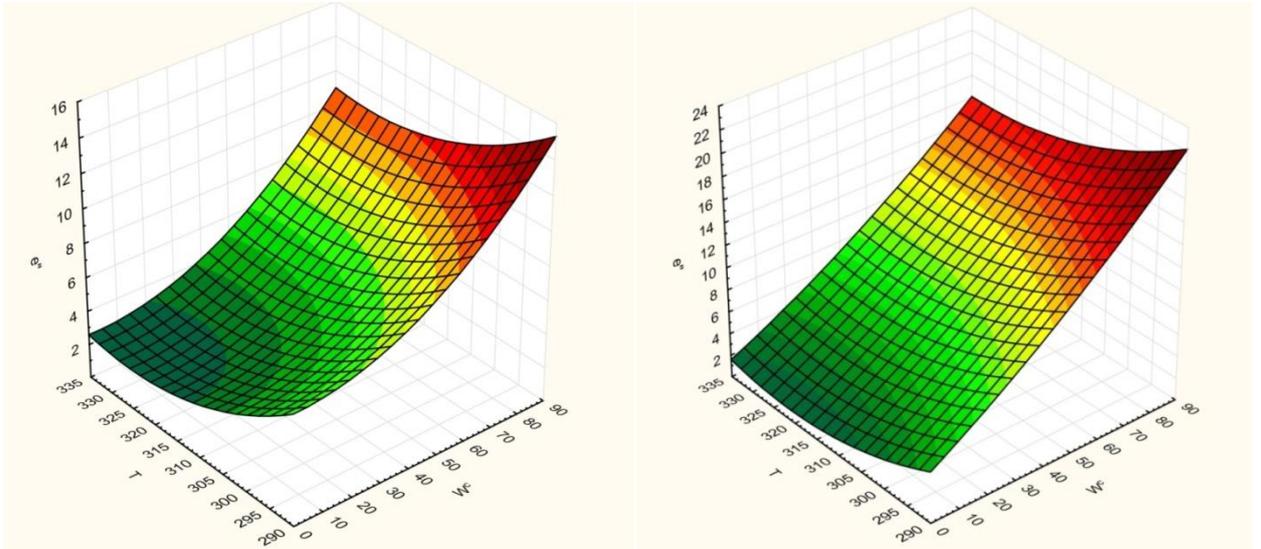
$$\varepsilon'' = 347,5114 + 0,0281 \cdot T - 2,1184 \cdot W + 0,0011 \cdot W^2 - 9,4845 \cdot T \cdot W + 0,0032 \cdot W \quad (3)$$

чеснок

$$\varepsilon'' = 376,0068 + 0,63702 \cdot T - 2,331 \cdot W + 0,0005 \cdot T^2 - 0,0008 \cdot T \cdot W + 0,0036 \cdot W^2 \quad (4)$$

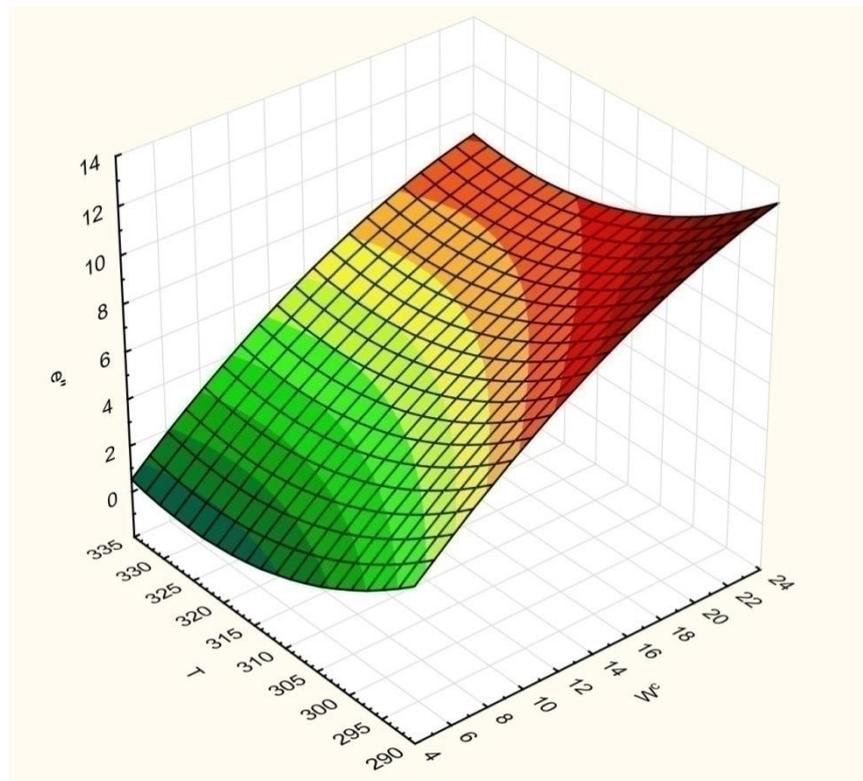
горичный жмых

$$\varepsilon'' = 361,6363 + 0,8383 \cdot T - 2,2388 \cdot W - 0,0119 \cdot T^2 - 0,0002 \cdot T \cdot W + 0,0034 \cdot W^2 \quad (5)$$



а

б



в

Рисунок 2.16 - Зависимости перемены коэффициента диэлектрических потерь ε'' при частоте электромагнитного поля $f=2450$ МГц от влажности W и температуры T :

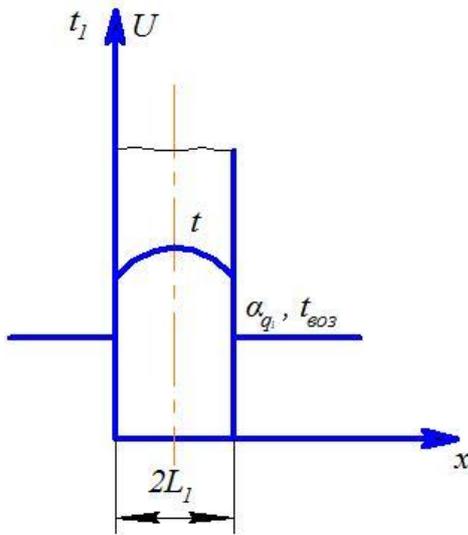
а – горький перец, б – чеснок, в – горичный жмых.

Глава 3. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА СУШКИ ПЛОСКОЙ ЧАСТИЦЫ В СВЧ-ПОЛЕ.

3.1. Постановка задачи

Equation Chapter 3 Section 1

Рассматривается процесс сушки частицы плоской формы толщиной $2L_1$. Два других линейных размера значительно превышают толщину



(Рисунок 3.1). Энергоподвод осуществляется за счет СВЧ-нагрева, а также за счет конвективного теплообмена от воздуха.

Полагая поле температуры t и влагосодержания U симметричны относительно середины поверхности, рассмотрим половину толщины пластины L_1 .

Рисунок 3.1 - Сушка плоской частицы

Дифференциальные уравнения

тепловлагопереноса имеют вид [1]

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\varepsilon r}{c} \frac{\partial U}{\partial \tau} + \frac{q_v(\tau)}{c\rho} \quad (3.1)$$

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} = a_m \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + a_m \delta \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \varepsilon \frac{\partial U}{\partial \tau} \quad (3.2)$$

где a – коэффициент температуропроводности, m^2/c ;

ε – относительный коэффициент испарения влаги;

r – теплота испарения воды, $Дж/кг$;

c – теплоемкость частицы, $Дж/кг \cdot K$;

$q_v(\tau)$ – интенсивность внутренних тепловых источников, обусловленных СВЧ-энергоподводом;

a_m - коэффициент диффузии влаги в материале, m^2/c ;

δ – относительный коэффициент термодиффузии влаги в материале, $1/K$;

Начальные условия

$$U(0, x) = U_0; t(0, x) = t_0$$

Граничные условия

При $x=0$

$$\lambda_m \frac{\partial U}{\partial x} = \alpha_m (U - U_{\text{воз}}), \quad (3.3)$$

$$\alpha_q (t - t_{\text{воз}}) + \alpha_m (U - U_{\text{воз}}) \cdot r = \lambda \frac{\partial t}{\partial x}, \quad (3.4)$$

При $x=L_1$, $\frac{\partial U}{\partial x} = 0$ (3.5), $\frac{\partial t}{\partial x} = 0$ (3.6) – из условий симметрии.

Здесь: λ_m – коэффициент массопроводности материала, $kg/(m \cdot c)$;

λ_q – теплопроводность материала, $W/m \cdot K$;

α_m – коэффициент массоотдачи по влагосодержанию, $kg/(m^2 \cdot c)$;

α_q – коэффициент конвективной теплоотдачи;

$U_{\text{воз}}$ – равновесное влагосодержание для параметров окружающего воздуха;

$t_{\text{воз}}$ – температура окружающего воздуха.

С целью оптимизации режима сушки, режим СВЧ-энергоподвода может выбираться переменным во времени, ступенчатым в частности (рисунок 3.2)

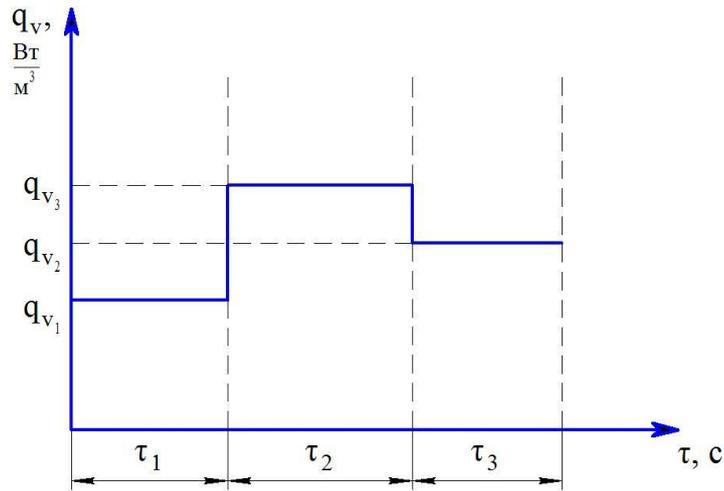


Рисунок 3.2 - Ступенчатый режим энергоподвода

В виду сложности постановки задачи её решение осуществляется численным методом на компьютере.

3.2. Численное моделирование процесса сушки

Для численного интегрирования дифференциальных уравнений (3.1), (3.2) воспользуемся уравнением Эйлера [2] на дискретной сетке с постоянным шагом по времени $\Delta\tau$ и толщине Δx (рисунок 3.3.).

Запишем выражения дискретных аналогов дифференциальных операторов уравнений (3.1), (3.2).

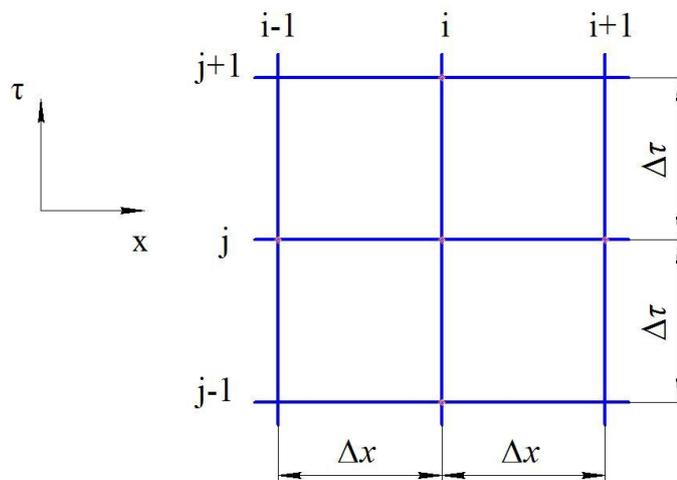


Рисунок 3.3 - Дискретная сетка

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} = \frac{U_{j+1,i} - U_{j,i}}{\Delta \tau}, \quad (3.7)$$

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = \frac{t_{j,i+1} - 2t_{j,i} + t_{j,i-1}}{\Delta x^2}, \quad (3.8)$$

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{t_{j-1,i} - t_{j,i}}{\Delta \tau}, \quad (3.9)$$

Преобразовав уравнение (3.2) к виду

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} = \frac{a_m}{1-\varepsilon} \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{a_m \delta}{1-\varepsilon} \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}, \quad (3.10)$$

и обозначив:

$$A_1 = \frac{a_m}{1-\varepsilon} \quad (3.11), \quad A_2 = \frac{a_m \delta}{1-\varepsilon} \quad (3.12)$$

Получим

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} = A_1 \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + A_2 \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}, \quad (3.13)$$

Из дифференциальных уравнений (3.13), (3.1) с учетом (3.7) - (3.9), следуют дискретные аналоги:

$$\frac{U_{j+1,i} - U_{j,i}}{\Delta \tau} = A_1 \frac{U_{j,i+1} - 2U_{j,i} + U_{j,i-1}}{\Delta x^2} + A_2 \frac{t_{j,i+1} - 2t_{j,i} + t_{j,i-1}}{\Delta x^2}, \quad (3.14)$$

$$\frac{t_{j+1,i} - t_{j,i}}{\Delta \tau} = a \frac{t_{j,i+1} - 2t_{j,i} + t_{j,i-1}}{\Delta x^2} + \frac{\varepsilon r}{c} \frac{t_{j+1,i} - t_{j,i}}{\Delta \tau} + \frac{q_{vj,i}}{c\rho} \quad (3.15)$$

Уравнения (3.14), (3.15) позволяют вычислить значения влагосодержания и температуру на последнем слое по времени ($j+1$), если известны U и x значения на предшествующем слое (j):

$$U_{j+1,i} = U_{j,i} + \frac{A_1 \cdot \Delta \tau}{\Delta x^2} (U_{j,i+1} - 2U_{j,i} + U_{j,i-1}) + \frac{A_2 \cdot \Delta \tau}{\Delta x^2} (t_{j,i+1} - 2t_{j,i} + t_{j,i-1}) \quad (3.16)$$

$$t_{j+1,i} = t_{j,i} + \frac{a \cdot \Delta \tau}{\Delta x^2} (t_{j,i+1} - 2t_{j,i} + t_{j,i-1}) + \frac{\varepsilon r}{c} (U_{j+1,i} - U_{j,i}) + \frac{q_{vj,i}}{c\rho} \quad (3.17)$$

Устройство для вычислительного процесса по (3.16), (3.17) обеспечивается при выполнении условий:

$$Fo_x < 0,5 \quad (3.18)$$

$$Fo_{m_x} < 0,5 \quad (3.19)$$

где

$$Fo_x = \frac{a \cdot \Delta \tau}{\Delta x^2} \quad (3.20)$$

$$Fo_{m_x} = \frac{a_m \cdot \Delta \tau}{\Delta x^2} \quad (3.21)$$

- значения сеточных чисел Фурье для тепло – и массообмен [2].

Дискретные аналоги граничных условий (3.3), (3.4) имеют вид:

$$\lambda_m \frac{U_{j,1} - U_{j,0}}{\Delta x} = \alpha_m (U_{j,0} - U_{\text{воз}}), \quad (3.22)$$

$$\alpha_q (t_{j,0} - t_{\text{воз}}) + \alpha_m r (U_{j,0} - U_{\text{воз}}) = \lambda \frac{t_{j,0} - t_{\text{воз}}}{\Delta x}, \quad (3.23)$$

которые позволяют вычислить влагосодержание и температуру на левой границы пластины (i=0):

$$U_{j,0} = \frac{U_{\text{воз}} \cdot Bi_{m_x} + U_{j,1}}{1 + Bi_{m_x}}, \quad (3.24)$$

$$t_{j,0} = \frac{t_{j+1} + Bi_x t_{\text{воз}} - Bi_{x_2} (U_0 - U_{\text{воз}})}{1 + Bi_x}, \quad (3.25)$$

где:

$$Bi_x = \frac{\alpha_q \Delta x}{\lambda q}, \quad (3.26)$$

$$Bi_x = \frac{\alpha_m \Delta x r}{\lambda q}, \quad (3.27)$$

$$Bi_{m_x} = \frac{\alpha_m \Delta x}{\lambda m}, \quad (3.28)$$

- сеточные числа Био для тепло – и массообмена.

3.3 Описание и текст программы

Программа математического моделирования процесса сушки реализована в среде Mathcad – 15.

В качестве исходных данных вводятся: коэффициент диффузии влаги в материале a_m , относительный коэффициент термодиффузии δ , теплота испарения влаги r , плотность материала ρ , теплоемкость материала c , относительный коэффициент испарения влаги ε , начальная температура (t_0) и влагосодержания (U_0) материала, теплопроводность материала λ_q , коэффициент конвективной теплоотдачи α_q , коэффициент массоотдачи α_m , половина толщины пластины L_1 , число интервалов дискретной сетки по толщине i_1 , шаг по времени $\Delta\tau$, а также интенсивность внутренних тепловыделений q_v , обусловленных СВЧ-энергоподвода.

В качестве основного выбран трехступенчатый режим, для которого задаются длительности τ_1 , τ_2 , τ_3 и соответствующие им интенсивности тепловыделения q_{v1} , q_{v2} , q_{v3} .

Расчеты выполняются в следующей последовательности.

1. Вычисляется коэффициент влагопроводности и температуропроводности по формулам:

$$\lambda_m = a_m \rho, \quad (3.29)$$

$$a_q = \frac{\lambda_q}{c\rho}, \quad (3.30)$$

2. Общее время процесса

$$\tau_k = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3, \quad (3.31)$$

3. Числа интегралов по τ :

$$k_1 = \frac{\tau_1}{\Delta\tau}, \quad (3.32)$$

$$k_2 = \frac{\tau_2}{\Delta\tau}, \quad (3.33)$$

$$k_3 = \frac{\tau_3}{\Delta\tau}, \quad (3.34)$$

$$k_k = k_1 + k_2 + k_3, \quad (3.35)$$

4. Шаг по x :

$$\Delta x = \frac{L_1}{i_1}, \quad (3.36)$$

5. Числа Био и Фурье:

$$Bi = \frac{\alpha_q L_1}{\lambda_q}, \quad (3.37)$$

$$Bi_m = \frac{\alpha_m L_1}{\lambda_m}, \quad (3.38)$$

$$Fo = \frac{\lambda_q \tau_k}{c\rho L_1^2}, \quad (3.39)$$

$$Fo_m = \frac{\alpha_m \tau_k}{L_1^2}, \quad (3.40)$$

6. Сеточные числа Био и Фурье по (3.18), (3.19), (3.26) - (3.28).

7. Коэффициенты переноса A_1, A_2 по (3.11), (3.12).

Далее на каждом шаге по времени определяются:

8. Значения U и t на левой границе по (3.24), (3.25).
9. Значения U и t во всех внутренних точках (при $i=1 \dots i_1-1$) – по (3.16), (3.17).
10. Значения U , t на оси – по формулам

$$U_{j,i_1} = U_{j,i_1-1}, \quad (3.41)$$

$$t_{j,i_1} = t_{j,i_1-1}, \quad (3.42)$$

Результаты расчетов представлены в графической и табличной форме.

3.4 Анализ результатов моделирования процесса сушки

На рисунок 3.4, 3.5 представлены результаты численного моделирования процесса сушки чеснока при следующих значениях исходных данных: $a_m=8,5 \cdot 10^{-8}$ м²/с; $\delta=0,005$ 1/К; $r=2,4 \cdot 10^6$ Дж/кг; $\rho=1248$ кг/м³; $c=2855$ Дж/кг·К; $\varepsilon=0,01$; $t_{\text{воз}}=20$ °С; $\nu_0=2$; $\lambda_q=0,238$ Вт/м·К; $\alpha_q=25$ Вт/м²·К; $\alpha_m=5 \cdot 10^5$ кг/м²·с; $L_l=0,001$ м; $q_v=10^6$ Вт/м³; $\tau=1220$ с.

Число интервалов сетки по x $i_l=10$, шаг по времени $\Delta\tau=0,005$ с.

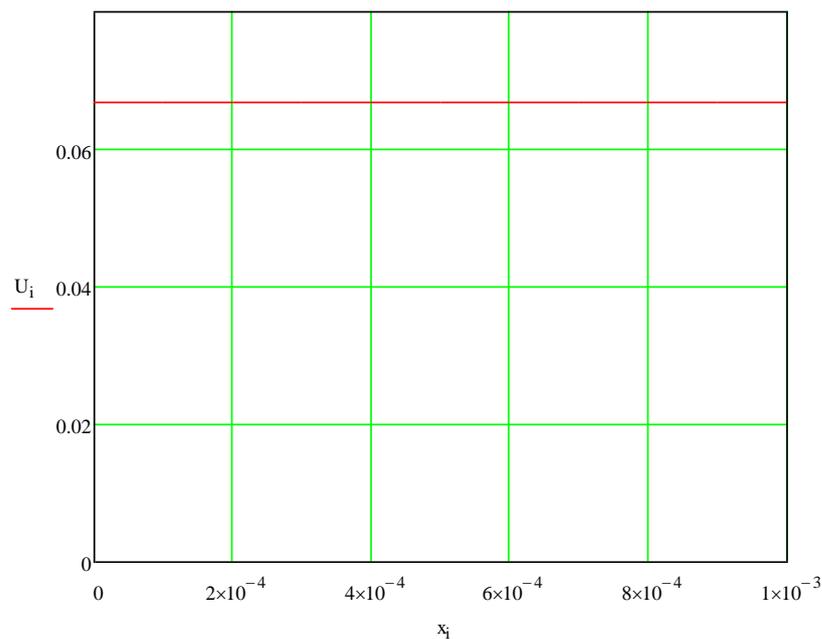


Рисунок 3.4 - Распределение влагосодержания в слое чеснока в конце процесса сушки

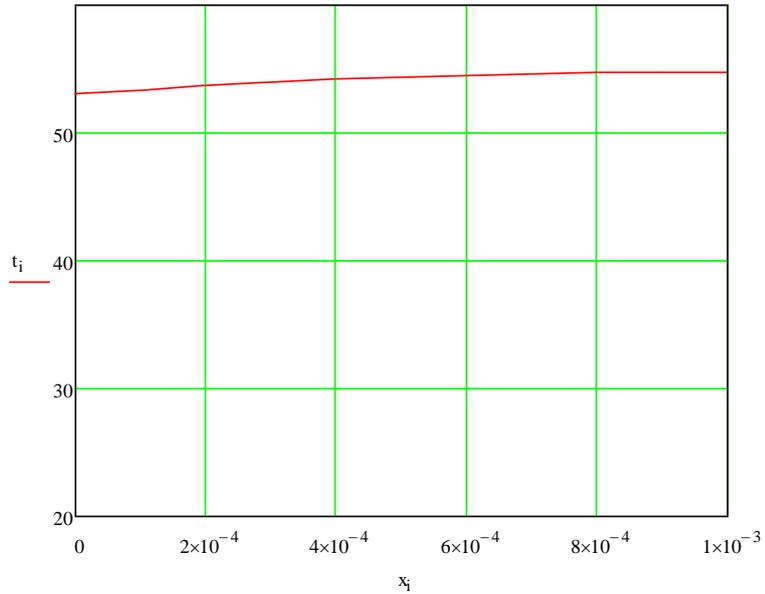


Рисунок 3.5 - Распределение температуры в слое чеснока в конце процесса сушки

Общее энергопотребление, в расчете на 1 м^3 высушиваемого материала, составляет $1,22 \text{ Дж/м}^3$.

Снижение температуры воздуха с 20 до 0 °C позволяет увеличить интенсивность энергоподвода q_v с 1 до $1,7 \text{ МВт/м}^3$ без перегрева высушиваемого материала выше предельной температуры $t_{np}=60 \text{ °C}$ (рисунок 3.6, 3.7) время сушки при этом уменьшается с 1020 до 630 с (\approx на 60%).

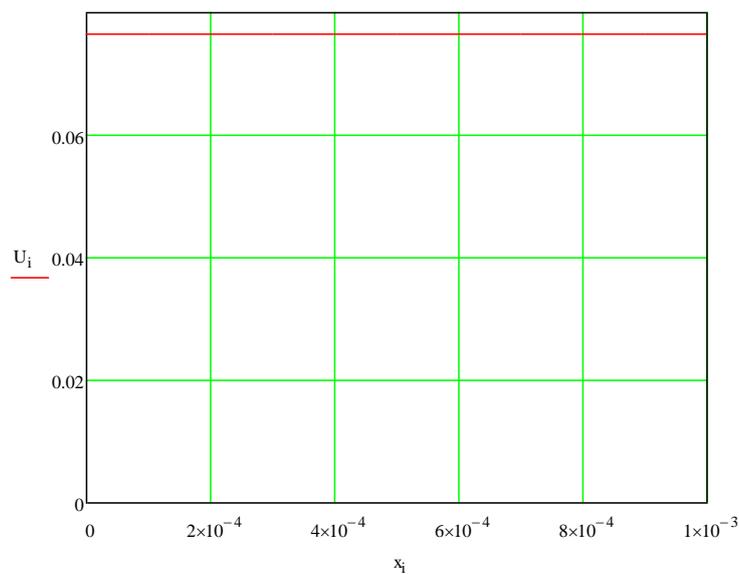


Рисунок 3.6 - Распределение влагосодержания в слое чеснока при $q_v=1.7 \text{ МВт/м}^3$ и $\tau=730 \text{ с}$.

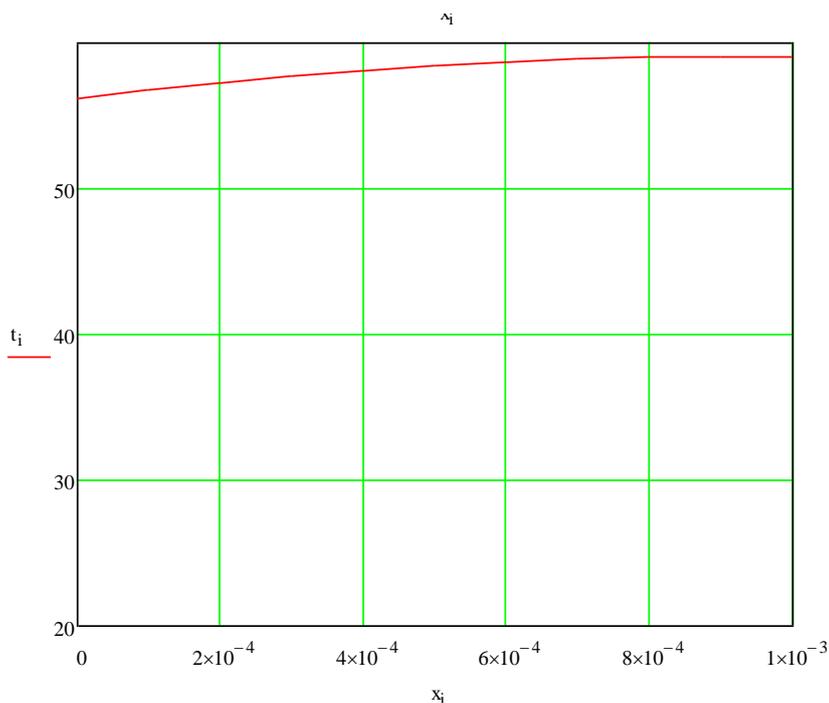


Рисунок 3.7 - Распределение температуры в слое чеснока при $q_v=1.7 \text{ МВт/м}^3$ и $\tau=730 \text{ с}$.

Для организации более равномерного режима сушки целесообразно реализовать переменный СВЧ-энергоподвод. Если разбить процесс сушки на три этапа продолжительностью 540, 410 и 330 с при интенсивности внутренних тепловыделений 0,8, 1 и 1,2 МВт/м³, соответственно (рисунок 3.8), то влагосодержания в конце каждого этапа при $U_0=2$ составляет 1,35, 0,7 и 0,07.

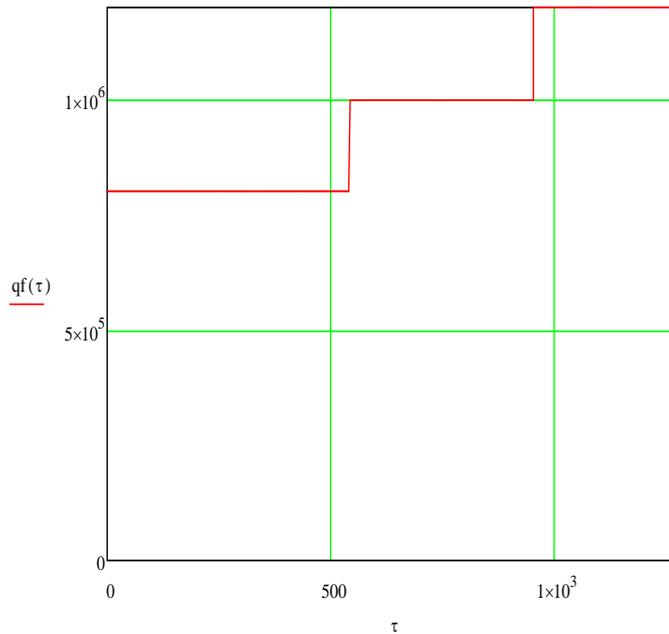
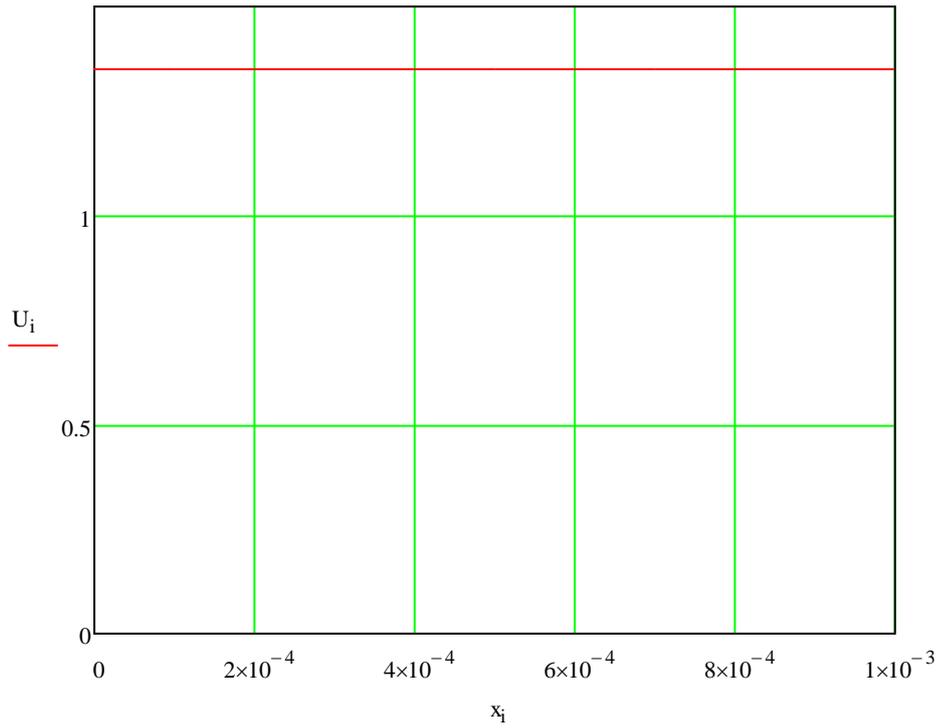


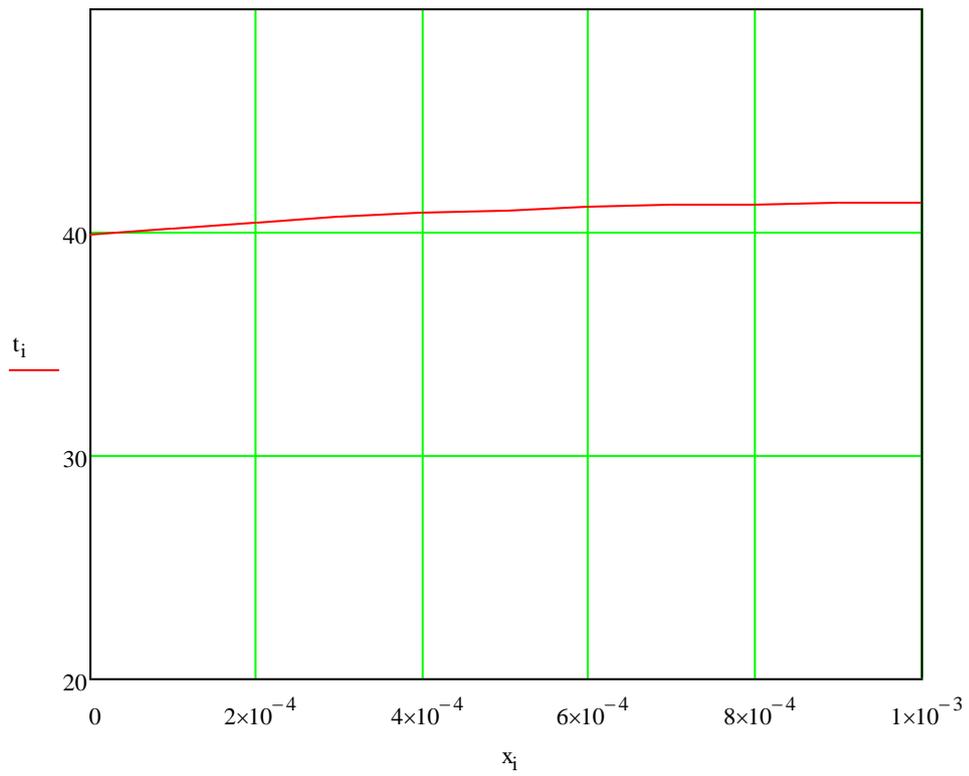
Рисунок 3.8 - График зависимости интенсивности внутренних тепловыделений от времени при ступенчатом энергоподводе.

Изменение влагосодержания в каждом этапе будет примерно одинаковым ($\Delta U=0,65$). Распределения влагосодержания и температуры в конце каждого этапа представлены на рисунок. 3.8 – 3.10.

Реализация ступенчатого энергоподвода с одной стороны более мягкий режим сушки, с другой – сократить время воздействия максимальной температуры на высушиваемый материал.



a)



б)

Рисунок 3.8 - Распределение влагосодержания (а) и температуры (б) по толщине высушиваемого материала в конце 1-го этапа.

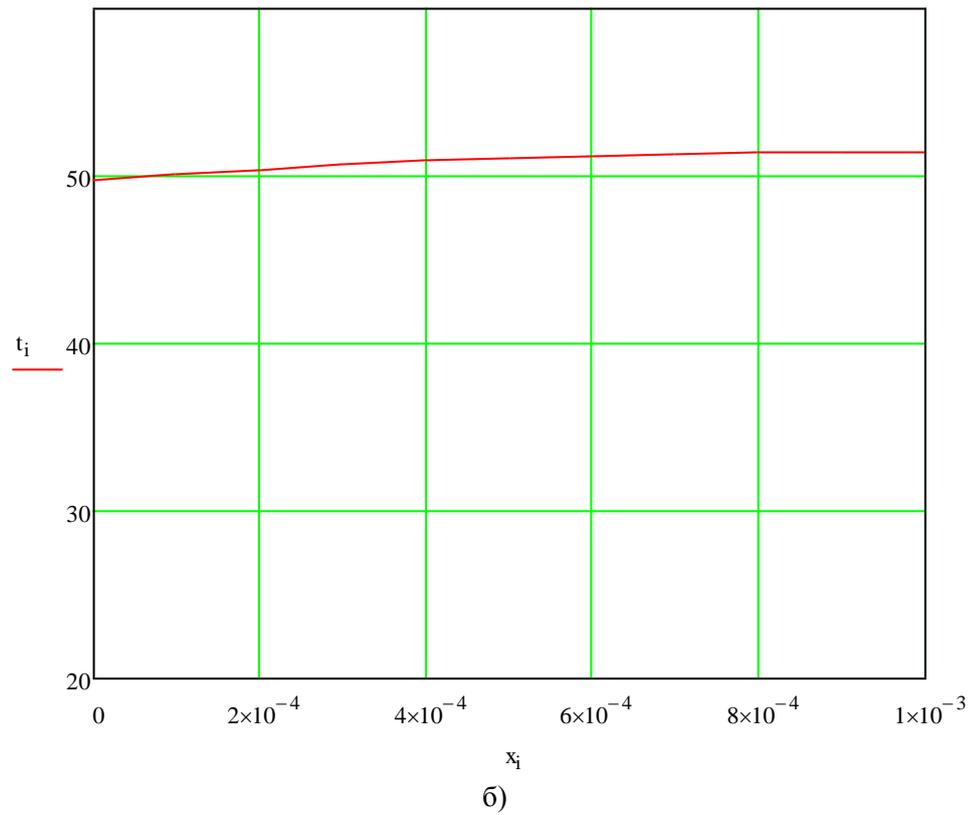
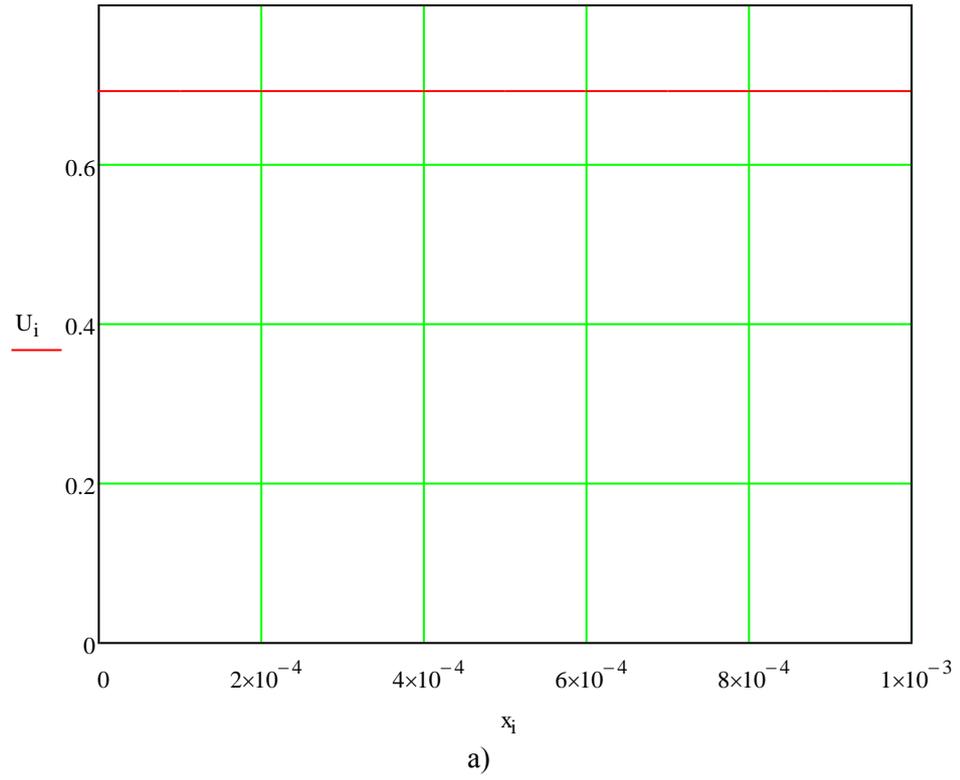
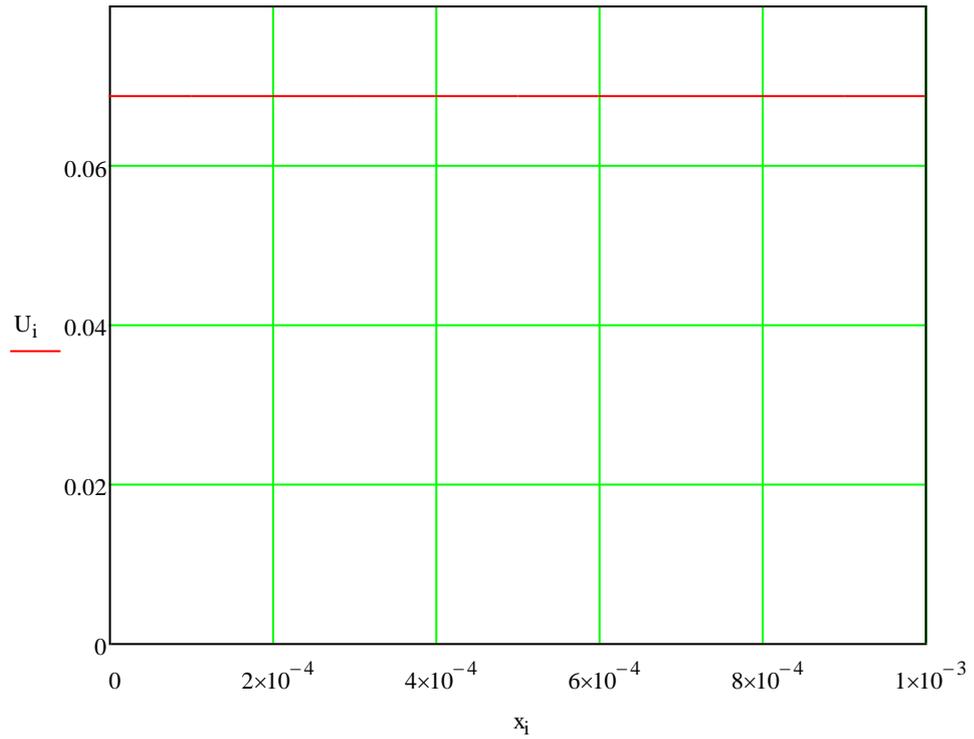
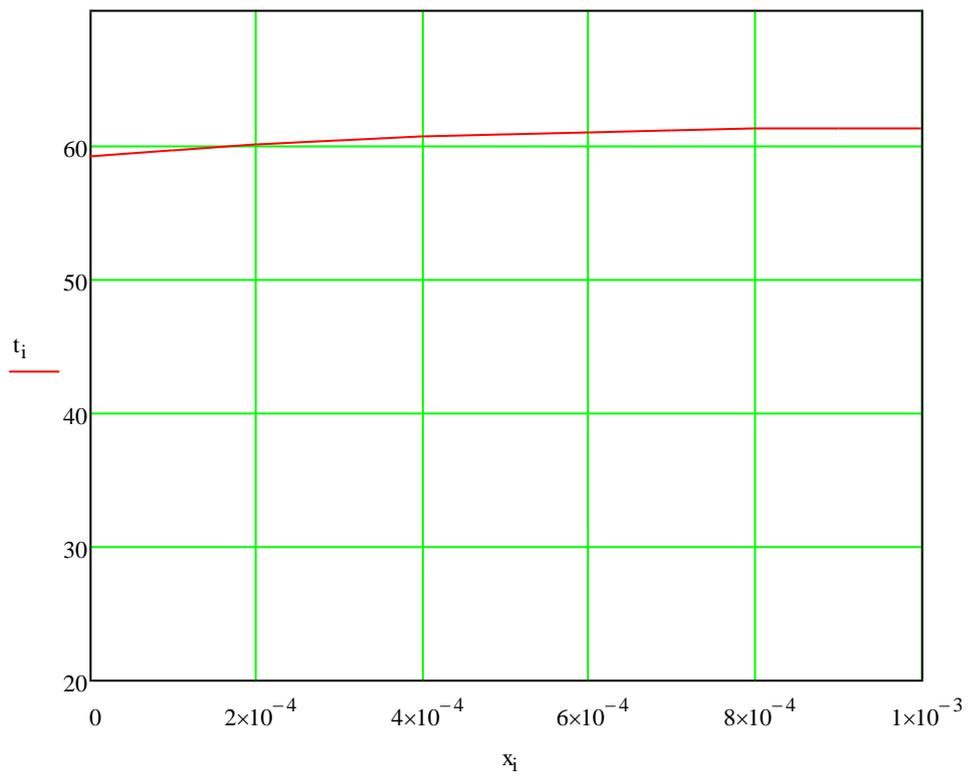


Рисунок 3.9 - Распределение влагосодержания (а) и температуры (б) по толщине высушиваемого материала в конце 2-го этапа.



a)



б)

Рисунок 3.10 - Распределение влагосодержания (а) и температуры (б) по толщине высушиваемого материала в конце 3-го этапа.

Предложенная модель и программа расчета позволяет выполнить моделирование процесса СВЧ-сушки любых пищевых продуктов пластинчатой формы и разработать оптимальный технологический режим.

3.5. Приближенное решение задачи

Во многих практически важных случаях время релаксации полей влагосодержания и температуры значительно меньше времени процесса. Так, при значениях $L_1=0,001$ м, $a_q=10^{-7}$ м²/с и $a_m=10^{-7}$ м²/с эти времена равны $\tau_p=L_1^2/a=10$ с и $\tau_{mp}=L_1^2/a=10$ с, при характерном времени процесса сушки порядка 1000 с. При этих условиях допустимо считать, что распределение температуры по толщине материала соответствует стационарному (квазистационарные приближения).

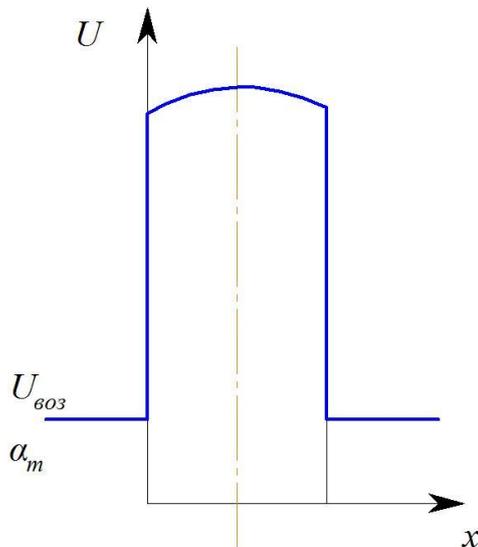


Рисунок 3.11 - Распределение влагосодержания U по толщине пластины при малых Био

Второе допущение: $Bi_m < 0,1$, где $Bi_m = \alpha_m L_1 / \lambda_m$ – число Био для массообмена. При этом перепад влагосодержания U по толщине пластины пренебрежимо мал (рисунок. 3.11)

Зависимость U от x можно пренебречь и считать, что $U=U(\varepsilon)$.

С учетом дополнительных допущений

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = 0, \quad (3.43)$$

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} = 0, \quad (3.44)$$

Система уравнений (3.1) и (3.2) приобретает вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} a \frac{d^2 t}{dx^2} + \frac{\varepsilon r}{c} \frac{dU}{d\tau} + \frac{q_v}{c\rho} = 0, \end{array} \right. \quad (3.45)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dU}{d\tau} = \frac{a_m \delta}{1 - \varepsilon^2} \frac{d^2 t}{dx^2}, \end{array} \right. \quad (3.46)$$

После подстановки (3.46) в (3.45) и преобразования получим:

$$a_\Sigma \frac{d^2 t}{dx^2} + \frac{q_v}{c\rho} = 0, \quad (3.47)$$

где $a_\Sigma = a + \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} \cdot \frac{a_m \delta r}{c}$ - суммарная температуропроводность, учитывающая как собственную температуропроводность материала a , так и внутреннее испарение.

Интегрируя выражение (3.47) дважды по x при граничных условиях I рода

$$t(0) = t_c, \quad (3.48)$$

$$\left. \frac{dt}{dx} \right|_{x=L_1} = 0, \quad (3.49)$$

получим:

$$t = t_c + \frac{q_v L_1^2}{a_\Sigma c \rho} \left[\left(\frac{x}{L_1} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{x}{L_1} \right)^2 \right], \quad (3.50)$$

где t_c – температура поверхности пластины.

По постановки задачи величина t_c неизвестна. Она может быть найдена из граничного условия (3.4) с учетом полученного распределения температуры (3.50):

$$t_c = t_{\text{воз}} + \frac{q_v L_1}{\alpha_q} \cdot \frac{\lambda_q}{a_\Sigma c \rho} - \frac{\alpha_m}{\alpha_q} (U - U_{\text{воз}}) r, \quad (3.51)$$

Изменение влагосодержания во времени определим из уравнения (3.46) с учетом (3.47)

$$\frac{dU}{d\tau} = -\frac{a_m}{a_\Sigma} \cdot \frac{\delta q_v}{(1-\varepsilon)c\rho} \quad (3.52)$$

при начальном условии

$$U(0) = U_0 \quad (3.53)$$

$$U = U_0 - \frac{a_m}{a_\Sigma} \frac{\delta q_v}{(1-\varepsilon)c\rho} \tau, \quad (3.54)$$

При заданном конечном влагосодержании U_k из (3.54) получим время процесса сушки:

$$\tau_{\text{суш}} = \frac{a_\Sigma}{a_m} \frac{(1-\varepsilon)c\rho(U_0 - U_k)}{\delta q_v}, \quad (3.55)$$

На рисунок 3.12 показаны распределение температуры по результатам численного моделирования и приближенного решения (3.50). При значениях параметров: $a_m=8,5 \cdot 10^{-5}$ м²/с; $\delta=0,005$ 1/К; $r=2,4 \cdot 10^6$ Дж/кг; $\rho=1600$ кг/м³; $c=3200$ Дж/кг·К; $\varepsilon=0,01$; $t_{\text{воз}}=20$ °С; $U_{\text{воз}}=0,05$; $\lambda_q=0,371$ Вт/м·К; $\alpha_q=100$ Вт/м²·К; $\lambda_m=1,36 \cdot 10^{-4}$ Вт/м·К; $\alpha_m=10^{-4}$ кг/м²·с; $L_l=0,001$ м; $q_v=4 \cdot 10^6$ Вт/м³.

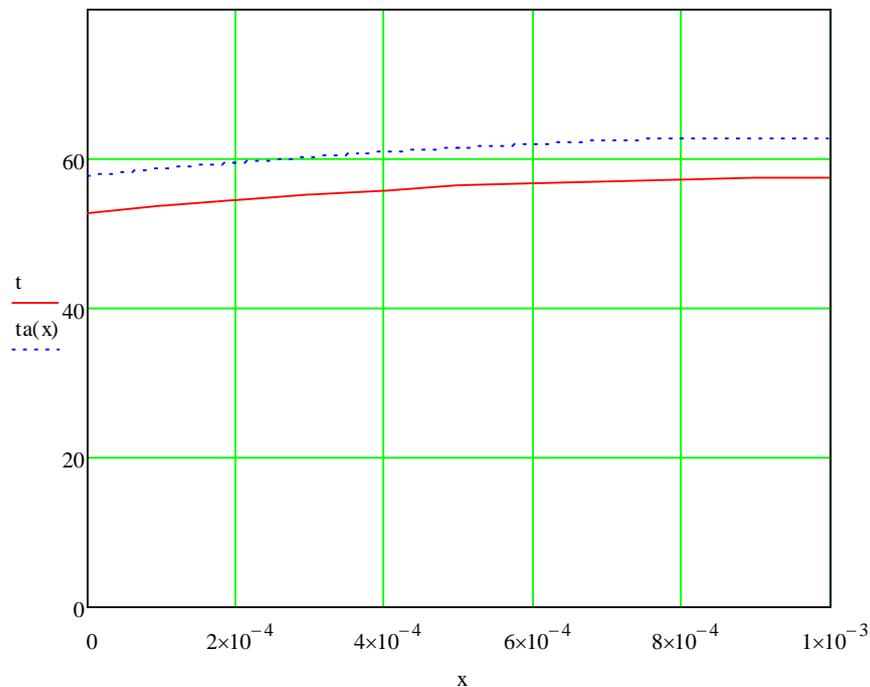


Рисунок 3.12 - Распределение температуры по толщине высушиваемого материала:
1-числ. , 2 – приближ.

Из него следует, что относительное отклонение распределения температур, полученных численным моделированием и приближенным решением, не превышает 10%.

На рисунок 3.13 показан график зависимости времени сушки τ_c от интенсивности внутренних тепловых потоков для конечного влагосодержания $U_k=0,1$ и выше указанных значений параметров.

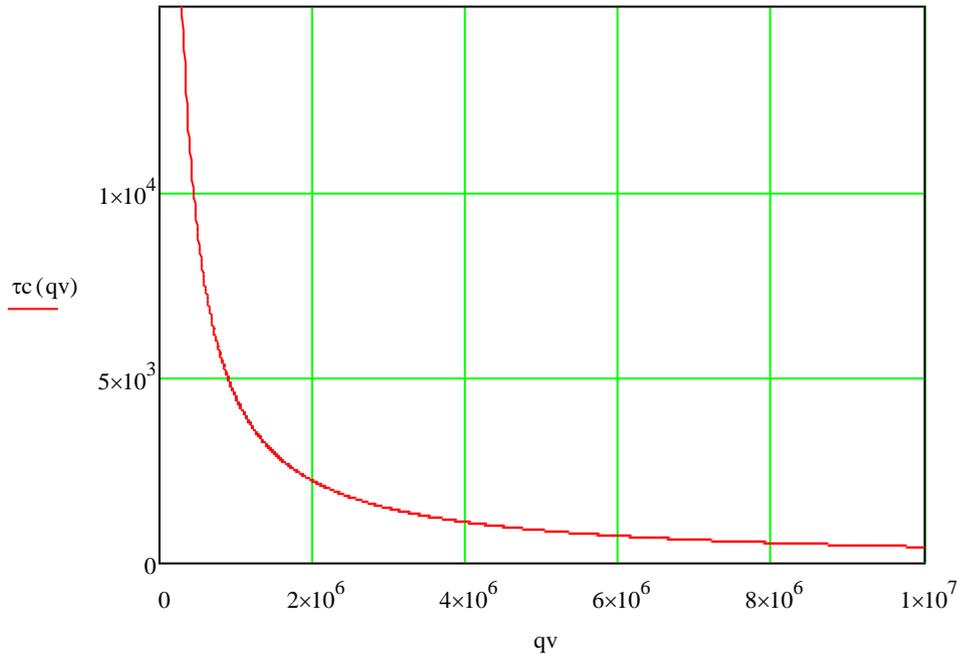


Рисунок 3.13 - Зависимость времени сушки от интенсивности внутренних тепловых источников

Другим важнейшим параметром, который может быть найден из полученного приближенного решения, является максимальное значение интенсивности внутренних тепловых $[q_v]$ источников, исключающий перегрев высушиваемого материала. Максимальная температура материала достигается в срединной поверхности.

При $x=L_1$ из (3.50) с учетом (3.51) следует

$$t_{\max} = t_{\text{воз}} + \frac{q_v L_1}{\alpha_q} \cdot \frac{\lambda_q}{a_{\Sigma} c \rho} - \frac{\alpha_m}{\alpha_q} (U - U_{\text{воз}}) \cdot r + \frac{q_v L_1^2}{2 a_{\Sigma} c \rho}, \quad (3.56)$$

Полагая максимальную температуру t_{\max} равной предельно допустимой $t_{\text{пр}}$ из (3.56) определяем допустимую интенсивность внутренних тепловых источников:

$$[q_v] = \frac{a_{\Sigma} c \rho}{L_1 \left(\frac{\lambda q}{\alpha q} + \frac{L_1}{2} \right)} \cdot \left[t_{\text{пр}} - t_{\text{воз}} + \frac{\alpha_m}{\alpha_q} (U - U_{\text{воз}}) r \right], \quad (3.57)$$

На рисунок 3.14, 3.15 представлены зависимости $[q_v]$ от влагосодержания U и предельно допускаемой температуры высушиваемого материала.

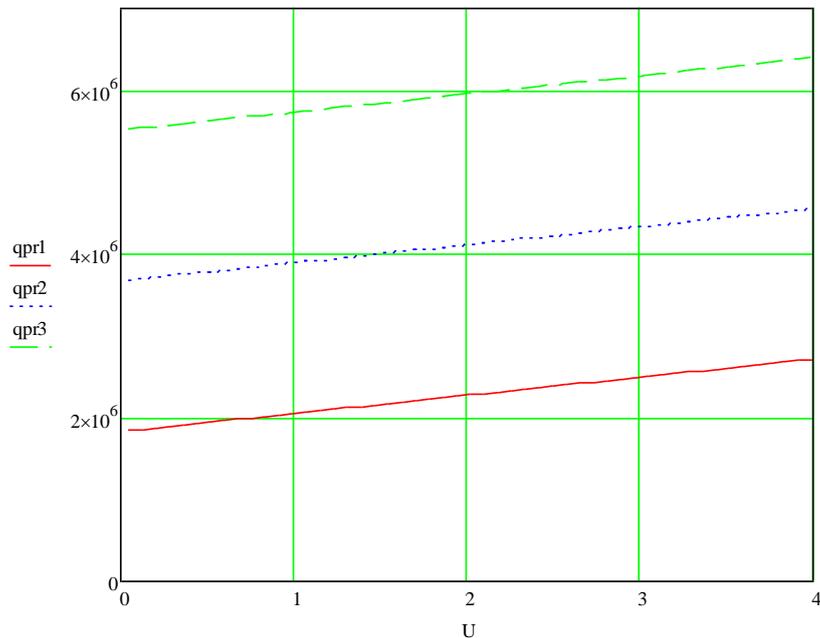


Рисунок 3.14 - Зависимость допускаемых внутренних тепловыделений от влагосодержания материала. 1- $t_{\text{пр}}=40^{\circ}\text{C}$, 2- $t_{\text{пр}}=60^{\circ}\text{C}$, 3- $t_{\text{пр}}=80^{\circ}\text{C}$

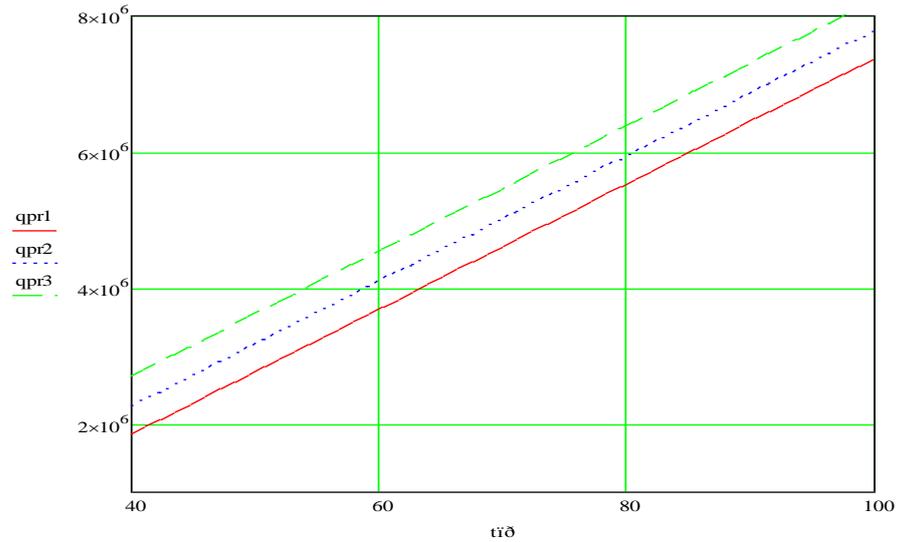


Рисунок 3.15 - Зависимость допускаемых внутренних тепловыделений от предельно допускаемой температуры материала. 1- $U=0.1$, 2- $U=2$, 3- $U=4$.

Уменьшение температуры воздуха позволяет увеличить интенсивность СВЧ-подогрева без перегрева высушиваемого материала. Время сушки при этом значительно уменьшается

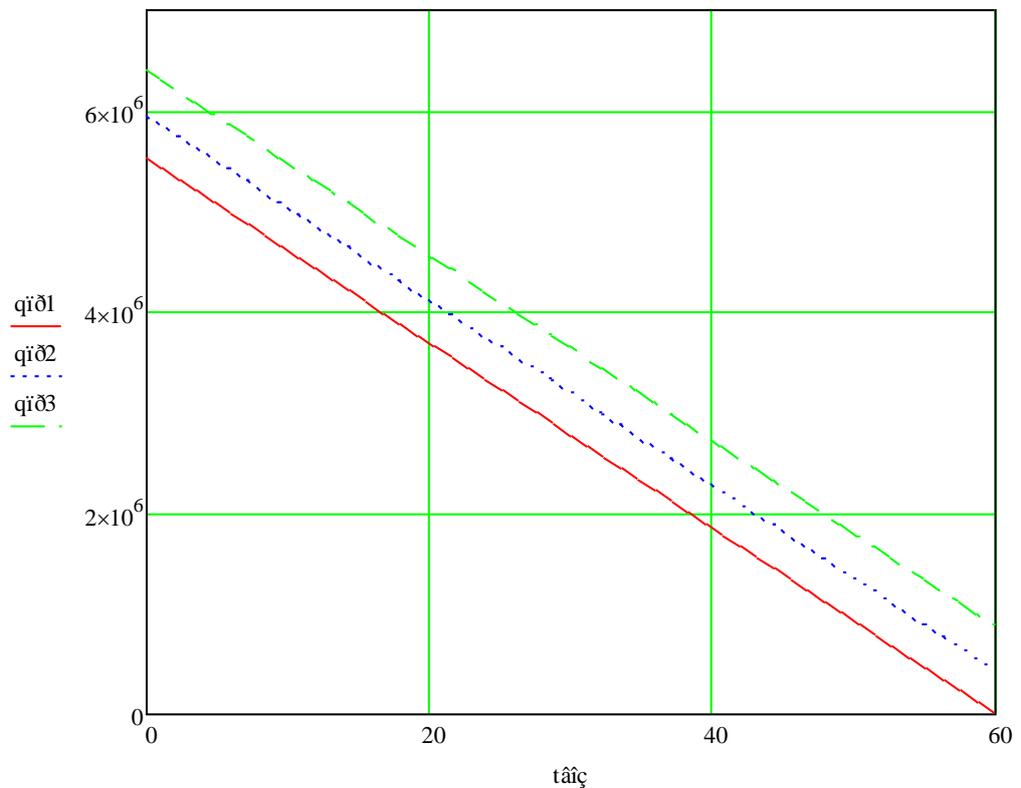


Рисунок 3.16 - Зависимость допускаемых внутренних тепловыделений от температуры воздуха. 1- $U=0.1$, 2- $U=2$, 3- $U=4$.

Глава 4. ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПРОЦЕССА СВЧ-КОНВЕКТИВНОЙ СУШКИ ГОРЬКОГО ПЕРЦА, ЧЕСНОКА И ГОРЧИЧНОГО ЖМЫХА

4.1. Экспериментальная установка и методика проведения исследований

Для изучения процесса СВЧ-конвективной сушки плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха была спроектирована и собрана экспериментальная СВЧ-конвективная сушилка (Рисунок 4.1) [42, 47, 63, 126, 129].

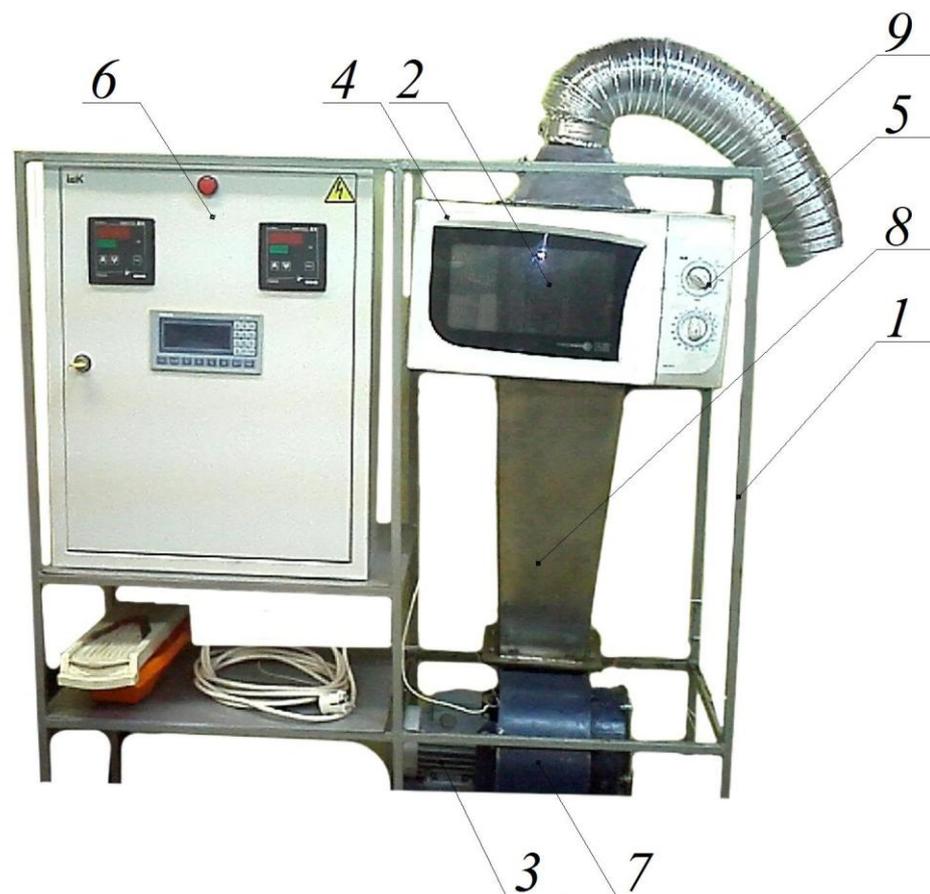


Рисунок 4.1 - Экспериментальная СВЧ – конвективная сушилка для пищевых продуктов:
 1 – станина; 2 – рабочая камера; 3 - электродвигатель АИР 56 В4 УЗ IP54; 4 – экранировка; 5 – блок управления; 6 – шкаф автоматического управления; 7 – вентилятор;
 8 – нагнетательный патрубок; 9 – гофрированы воздуховод.

СВЧ-конвективная сушилка включает в себя: станину -1, рабочую

камеру -2, электродвигатель АИР 56 В4 У3 IP54 - 3, экранировку - 4, блок управления - 5, шкаф автоматического управления - 6, нагнетательный вентилятор - 7, нагнетательный патрубок - 8, гофрированный воздухоотвод - 9.

СВЧ–конвективная сушильная установка установлена на раме 1, что позволяет закрепить ее жестко. Гофрированная труба 9 установлена над рабочей камерой 2 для отвода через нее использованного потока воздуха из рабочей камеры с капельками воды. Экранировка 3 исключает утечку СВЧ-волн из рабочей камеры.

В боковой стенке СВЧ-камеры 1 установлен магнетрон, источник СВЧ-волн. Режим работы магнетрона регулируется при помощи блока управления 5– импульсный, то есть при достижении продуктом определенной температуры магнетрон отключается и включается электродвигатель 3. Данная импульсная обработка происходит на всем протяжении сушки продукта. При помощи блока управления 5 задается продолжительность работы магнетрона и его мощность. Частота электромагнитного поля испускаемое магнетроном постоянна и равняется 2450 МГц.

Под СВЧ-камерой 2 установлен нагнетательный вентилятор 7. В сетчатые люльки укладываются одним слоем порезанные плоды толщиной 2,0 мм, которые предварительно вымыты и очищены от косточек, плодоножек, листочков и т. п. Затем включается провод цепного транспортера и сетчатые люльки, закрепленные на цепном транспортере, подаются в СВЧ-камеру 2. После того, как люльки заполнили СВЧ-камеру 2, привод выключается и цепной транспортер останавливается. Одновременно при помощи блока управления 5 включаются магнетрон, расположенные в СВЧ-камере 2. Отличительной особенностью СВЧ-нагрева является то, что нагрев происходит равномерно по всему объему продукта. Таким образом, осуществляется объемный нагрев пластин плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха. После того как температура продукта достигается 55-60⁰С, магнетрон отключается и одновременно включается нагнетательный вентилятор 7, находящийся под СВЧ-камерой 2 и присоединенный к ее

нижней части нагнетательным патрубком 8. Нагнетаемый вентилятором 7 теплоноситель (воздух) не только удаляет влажную пленку с поверхности плодов, но и удаляет из СВЧ-камеры 2 испарившуюся влагу, а так же предотвращает перегрев и вследствие чего подгорание продукта.

Если на начальном этапе сушки скорость влагоудаления ограничена в основном скоростью потока воздуха, то в конце – и температурой нагрева продукта. Это и обуславливает предлагаемую последовательность обработки горького перца.

Адаптированный, в соответствии с основными кинетическими закономерностями процесса сушки, теплоподвод к обрабатываемому продукту позволяет определить рациональные режимы обработки продуктов с учетом изменения содержания влаги в продукте по длине аппарата.

При помощи контрольно-измерительной системы можно измерять и регулировать температуру в рабочей камере 2 и фиксировать изменения значений температуры продукта на всем протяжении процесса сушки. Система измерения температуры потока воздуха состоит из: программно-аппаратного модуля (измерителя) с программой фиксации значений температуры и хромель-копелевые термопары (диаметр электродов 0,1 мм).

Эксперименты выполнялись с плодами горького перца, чеснока и горчичного жмыха. Для ускорения процесса сушки за счет изменения поверхности испарения влаги плоды горького перца, чеснока и горчичного жмыха разрезались на пластинки шириной от 1 до 3 мм. В результате эксперимента выявлена оптимальная толщина пластин продукта 2 мм. Если толщина пластин была менее 2 мм и составляла 1 мм, то продукт пригорал, а если толщина продукта была более 2 мм, то время процесса сушки увеличивалось. Переработка плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха осуществляли СВЧ-конвективным способом и проводилась при данных технологических параметрах: скорость воздуха – 0,3 - 1,5 м/с, его температура изменялась – 305 - 333 К, ширина ломтиков продуктов – 1 - 3 мм, частота электромагнитного поля – 2450 МГц, мощность магнетрона составляла – 600-800 Вт.

4.2. Обоснование выбора мощности электромагнитного поля подводимого к обрабатываемому продукту

Мощность электромагнитного поля оказывает значительное влияние на кинетику сушки плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха. Поскольку источником теплоты в продукте являются электромагнитные волны, поэтому от СВЧ-мощности зависит величина температуры которая будет сгенерирована в продукте в процессе воздействия на него СВЧ-полем.

В результате исследования воздействия СВЧ-поля на продукт встал вопрос определения максимально возможной мощности электромагнитного поля подводимого к продукту, при которой удастся не только сохранить полезные качества обрабатываемого продукт, но и снизить затраты электроэнергии на процесс сушки [70, 111, 112, 117, 125].

Для определения необходимой СВЧ-мощности был проведен ряд экспериментов. В качестве объекта исследования был выбран горький перец. Процесс сушки горького перца исследовали при следующих технологических параметрах: скорость потока воздух составляла 0,6 м/с, мощность электромагнитного поля составляла 360, 600, 800 и 900 Вт [131, 132].

Обработав экспериментальные данные, получили кривые сушки и скорости сушки (рисунок 4.2), термограммы сушки (рисунок 4.3) горького перца при разных мощностях СВЧ-поля. При анализе полученных графиков видно, что мощность СВЧ-поля оказывает значительное влияние на процесс сушки горького перца, потому что температура продукта напрямую зависит от мощности СВЧ-поля. Из графика видно, что при увеличении мощности СВЧ-поля скорость сушки и температура продукта увеличивается и достигает своего максимума при 900 Вт. При данной мощности продукт нагревается до температуры свыше 60 °С, что приводит к потере ценных термолабильных веществ и соответственно снижению качества готового продукта.

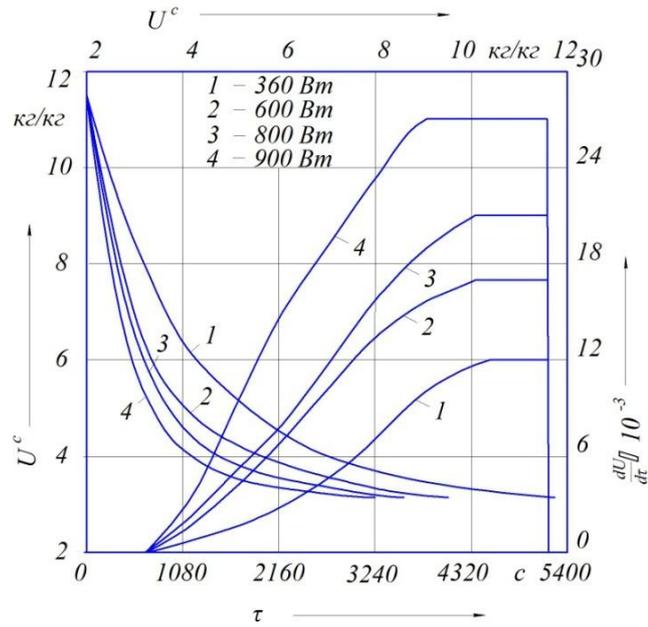


Рисунок 4.2 - Кривые сушки и скорости сушки горького перца при мощности СВЧ-поля 360, 600, 800 и 900 Вт

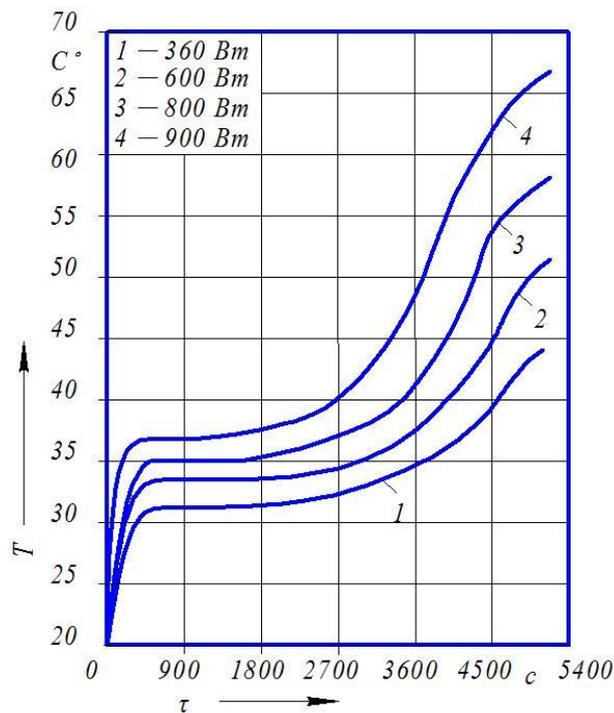


Рисунок 4.3 - Термограмма сушки горького перца при мощности СВЧ-поля 360, 600, 800 и 900 Вт

Анализируя кривую сушки, скорости сушки и термограмму при мощность СВЧ-поля 360 Вт выявили, что при данной мощности нагревание продукта происходит до температуры не превышающей 45 °С, следовательно скорость сушки невысока и это приводит к существенному увеличению продолжительности сушки [135].

Исходя из выше сказанного, можно сделать вывод, что оптимальная мощность, с которой СВЧ-поле будет подводиться к продукту, должна находиться в диапазоне от 600 до 800 Вт, это обеспечит нам получение продукта высокого качества и уменьшение времени на обработку продукта.

4.3. Исследование кинетики процесса сушки плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха

Основными параметрами, от которых зависит интенсивность процесса сушки плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха является температура и скорость теплоносителя. Эксперименты при стационарных режимах проводились с параметрами, которые не изменялись на всем протяжении процесса сушки, с целью выявления наиболее оптимальных параметров на различных этапах сушки, для подбора комбинированного режима [10, 24, 118, 130].

Исследования проводились при следующих технологических параметрах: скорость потока воздуха изменяла от 0,338 м/с до 1,575 м/с, температура продукта изменялась от 305 К до 333 К, мощность магнетрона изменялась от 600 до 800 Вт, частота электромагнитного поля составляла 2450 МГц, а толщина продукта изменялась от 1 до 3-х мм. В результате проведенных экспериментов была подобрана оптимальная толщина 2 мм.

После обработки полученных данных и преобразования их получаем графики скорости сушки и кривых сушки (рисунок 4.4 –4.6)и графики термограмм и температурных кривых (рисунок 4.4 – 4.6) процесса сушки горького перца, чеснока и горчичного жмыха. Из анализа кривых видно, что в процессе сушки имеет место три периода: период прогрева, период неизменной скорости сушки и период снижающейся скорости сушки.

Этап прогрева характеризуется нагревом продукта по всему объему и испарением влаги с поверхности горького перца, чеснока и горчичного жмыха в виде пара в окружающую среду. Испарившаяся влага удаляется с

поверхности продукта при помощи вентилятора и отводится из рабочей камеры. Температура постоянна по всей толщине плодов. Влага из верхних слоев начинает испаряться и переходить в окружающую среду, поле влажности внутри пластин горького перца, чеснока и горчичного жмыха начинает изменяться: влажность верхних слоев ниже, чем в глубине продукта, т. е. возникает градиент концентрации влаги, который возрастает к середине продукта. Под влиянием этого градиента влага в виде жидкости начинает перемещаться к верхним слоям пластин. В это время поток влаги испытывает сопротивление продукта, которое снижает скорость передвижения влаги и в результате этого увеличивается температура пластин горького перца, чеснока и горчичного жмыха (рисунок 4.4 - 4.6).

Для периода неизменной скорости сушки характерна одинаковая и неизменяющаяся температура продукта на протяжении всего периода (рисунок 4.4 - 4.6) и при этом происходит удаление капиллярной влаги (влага микро- и макрокапилляров). На этом этапе вся теплота, используемая при сушке колец горького перца, пластин чеснока и горчичного жмыха, используется активное испарение влаги с поверхности, а температура продукта остается постоянной.

Этапу снижающейся скорости сушки свойственно снижение скорости сушки и увеличение температуры горького перца, чеснока и горчичного жмыха (рисунок 4.4 - 4.6), при этом удаляется адсорбционная влага. На этот периоде влажность верхних слоев продукта приближается или становится равной гигроскопической. Происходит ускорение углубления зоны испарения влаги к середине продукта. В то же самое время замедляется охлаждающее воздействие процесса удаления влаги с верхних слоев плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха. Температура верхних слоев растет, достигая неизменной и заданной температуры нагрева продукта, которая достигалась за счет импульсного режима работы магнетрона. Все это приводит к сокращению количества теплоты, переносимой через поверхность горького перца, чеснока и горчичного жмыха.

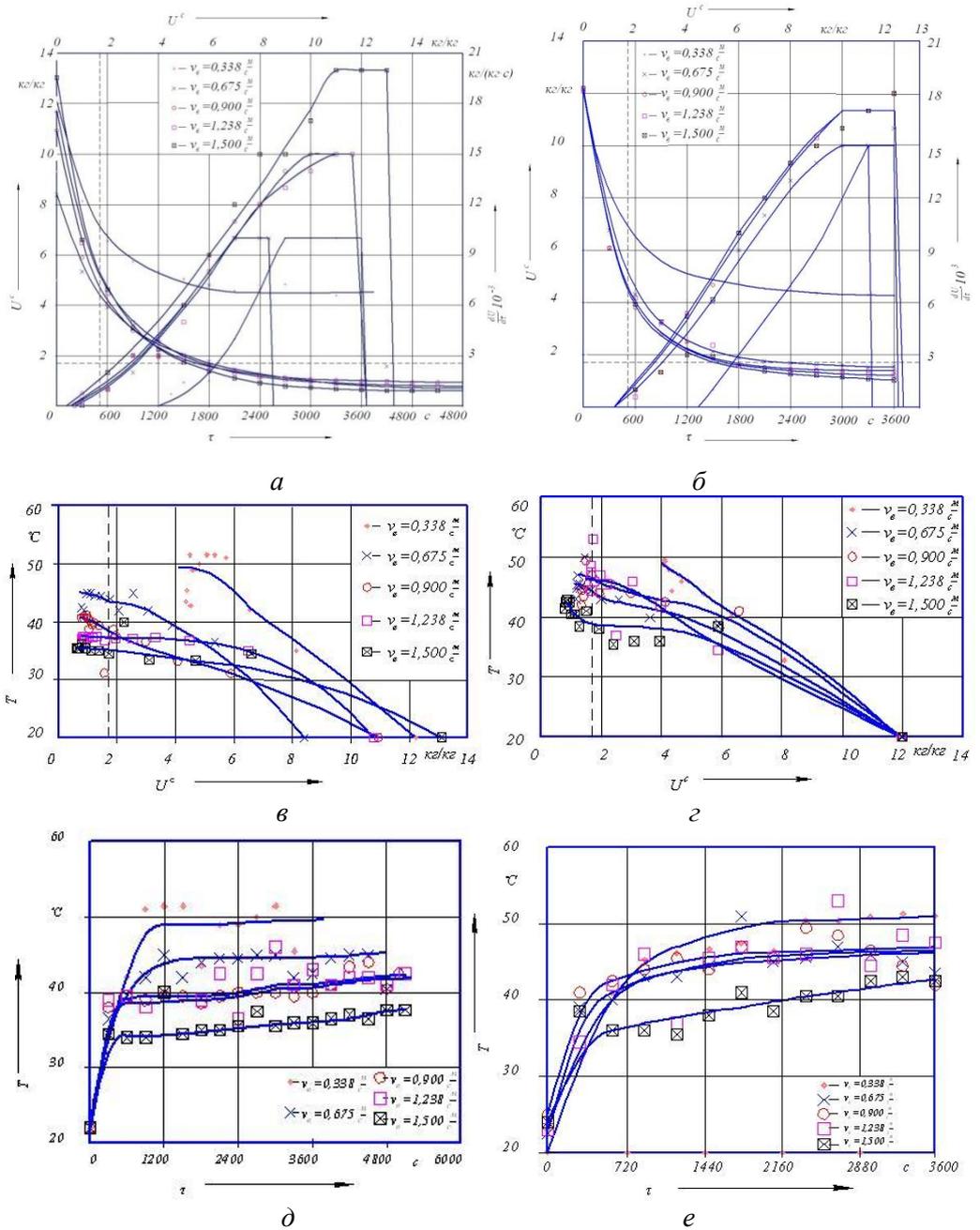


Рисунок 4.4 - Кинетические закономерности горького перца при $W=600, 800$ Вт.
 а, б – скорости сушки и кривые сушки, в, г – температурные кривые,
 д, е – термограммы

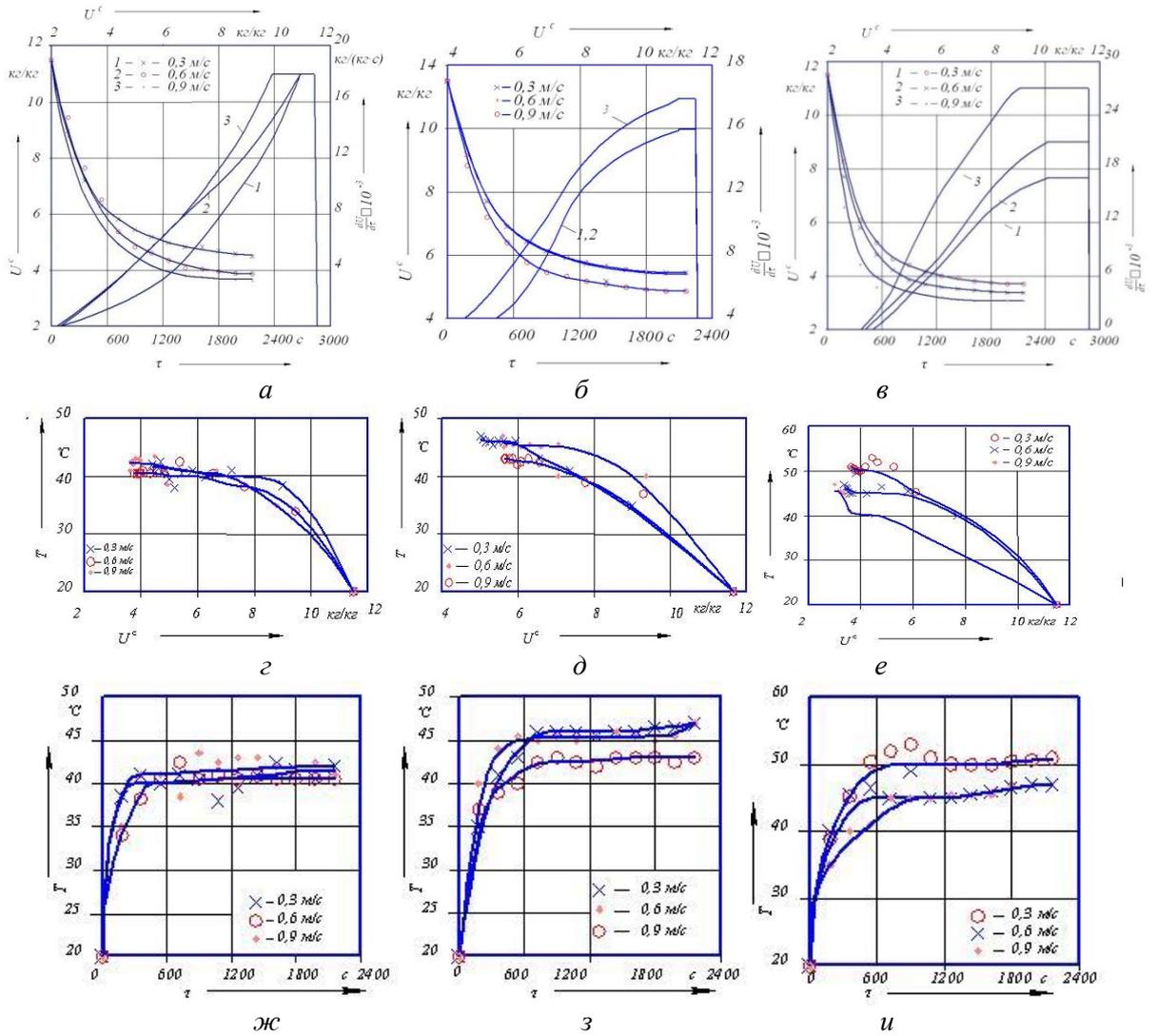
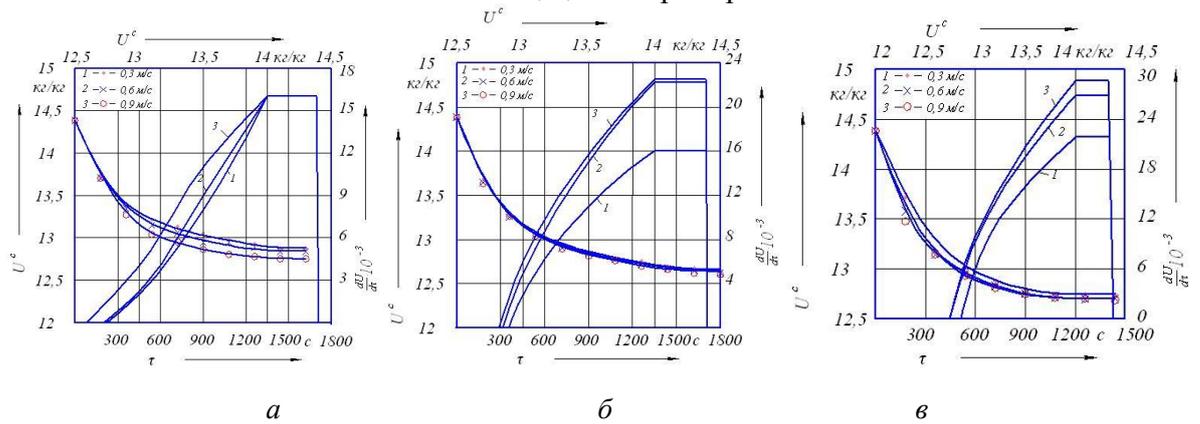


Рисунок 4.5 - Кинетические закономерности чеснока при $W=600, 700, 800$ Вт.
 а, б, в – скорости сушки и кривые сушки, г, д, е – температурные кривые,
 ж, з, и – термограммы



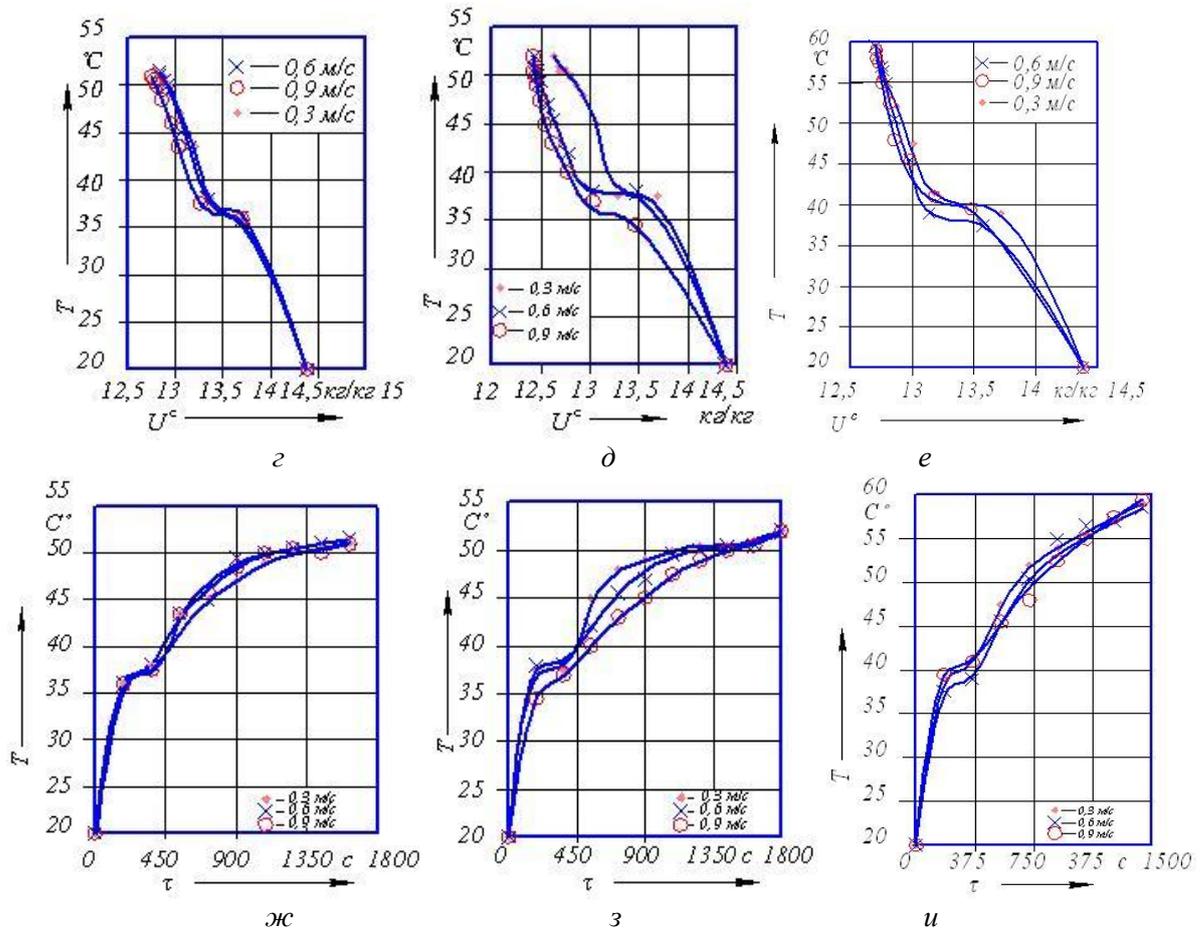


Рисунок 4.6 - Кинетические закономерности горчичного жмыха при $W=600, 700, 800$ Вт. а, б, в – скорости сушки и кривые сушки, г, д, е – температурные кривые, ж, з, и – термограммы

Интервал, на котором происходит удаление влаги, постепенно перемещается внутрь продукта. Влага перемещается в виде жидкости из центральных слоев образца до поверхности, где происходит переход жидкости в пар, а от границы испарения до верхних слоев продукта влага передвигается в виде пара. Поток пара нагревается до температуры продукта, находясь в контакте со стенками пор, и с поверхности плодов удаляется потоком воздуха.

Для термолабильных веществ фактором, лимитирующим длительность сушки, является максимально возможная температура нагрева продуктов. Для того, чтобы процесс сушки протекал наиболее эффективно и получаемые плоды были качества необходимо изучить изменение температуры продукта в процессе сушки. Для выявления закономерностей изменения температуры плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха в процессе СВЧ-конвективной сушки были проанализированы термограммы (рисунок 4. 4 д,е;

рисунок 4.5 ж, з, и; рисунок - 4.6 ж, з, и), описывающие средне интегральную температуру плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха.

4.4. Выбор и обоснование выбора комбинированных режимов сушки плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха.

Для обоснования выбора ступенчатого режима сушки плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха был определен характер связи влагив продуктах, а также температурные интервалы, на которых происходит преобразование веществ, при повышении температуры, методом дифференциально-термического анализа и исследованы стационарные режимы сушки плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха.

В зависимости от характера связи удаляемой влаги, процесс сушки плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха разделяют на несколько этапов и для каждого этапа подбирают оптимальный параметры сушки. При этом температуру плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха и скорость потока воздуха согласно заданным значениям, которые определялись в ходе эксперимента (рисунок 4.4 - 4.6). Режимы многоступенчатого теплоподвода представляют собой изменение поочередно температуры, скорости обдува воздухом и изменение продолжительности этапов определено следующим.

На первом этапе главной параметром, влияющим на скорость испарения влаги, является скорость теплоносителя. Влага у верхних слоев продукта зависит от скорости движения влаги во всем объеме продукта, т. е. от влагопроводности. Исходя из этого, скорость сушки в первом периоде будет зависеть от влагопроводности продукта и от скорости удаления влаги с поверхности материала. На этом этапе сушки удаляется из продукта механически связанная влага, имеющая небольшую связь с продуктом, то есть влага, содержащаяся в макро- и микрокапиллярах, а также влага смачивания. Наиболее рационально в начальный момент сушки задавать

высокое значение скорости теплоносителя (для горького перца $v = 1,6$ м/с, для чеснока $v = 0,9$ м/с, для горчичного жмыха $v = 0,9$ м/с) и наименьшей температурой продукта ($T = 313$ К – для горького перца, $T = 300$ К – для чеснока, $T = 297$ К – для горчичного жмыха) и время рекомендуемое для конкретных плодов: в течение 5 мин для горького перца, 7,5 мин для чеснока, 3 мин для горчичного жмыха.

На втором этапе сушки, по мере испарения влаги, скорость теплоносителя как основной параметр ускорения процесса, теряет свое значение. Температура теплоносителя оказывает влияние на интенсивность испарение осмотической, поли- и моноадсорбционной влаги. В результате, второй этап сушку плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха рекомендуется проводить при уменьшающейся скорости теплоносителя ($v = 0,9$ м/с – для горького перца, $v = 0,7$ м/с – для чеснока, $v = 0,6$ м/с – для горчичного жмыха) и увеличивающейся температуре продукта ($T = 318$ К – для горького перца, $T = 316$ К – для чеснока, $T = 318$ К – для горчичного жмыха) в течение 15 мин для горького перца, 12 мин для чеснока, 7,5 мин для горчичного жмыха.

Третий этап сушки плодов необходимо проводить при уменьшение скорости воздуха ($v = 0,6$ м/с – для горького перца, $v = 0,5$ м/с – для чеснока, $v = 0,3$ м/с – для горчичного жмыха) и возрастании температуры продукта ($T = 325$ К – для горького перца, $T = 320$ К – для чеснока, $T = 331$ К – для горчичного жмыха) в течение 33 мин для горького перца, 20 мин для чеснока, 12 мин для горчичного жмыха.

Исследовав кинетические закономерности процесса СВЧ-конвективной сушки плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха при стационарных режимах, были определены комбинированные режимы сушки, которые приведены в таблице 4.1.

Установлено, что разработанные комбинированные режимы процесса сушки плодов горького перца (рисунок 4.7), чеснока (рисунок 4.8) и горчичного жмыха (рисунок 4.9) являются энергетически выгодными и

позволяют получать готовый продукт высокого качества. Комбинированные режимы сушки позволяют получить равномерно высушенный продукт и повысить интенсивного испарения влаги с поверхности пластин. При этом не происходит перегрев плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха, за счет чего получается готовый продукт высокого качества [64, 66, 67, 74].

Таблица 4.1 - Комбинированные режимы сушки плодов

Продукт	Этапы сушки		
	I	II	III
Горький перец	$T = 313 \text{ К}, v = 1,6 \text{ м/с}, \tau = 5 \text{ мин}$	$T = 318 \text{ К}, v = 0,9 \text{ м/с}, \tau = 15 \text{ мин}$	$T = 325 \text{ К}, v = 0,6 \text{ м/с}, \tau = 33 \text{ мин}$
Чеснок	$T = 300 \text{ К}, v = 0,9 \text{ м/с}, \tau = 7,5 \text{ мин}$	$T = 316 \text{ К}, v = 0,70 \text{ м/с}, \tau = 12 \text{ мин}$	$T = 320 \text{ К}, v = 0,5 \text{ м/с}, \tau = 20 \text{ мин}$
Горчичный жмых	$T = 397 \text{ К}, v = 0,9 \text{ м/с}, \tau = 3 \text{ мин}$	$T = 318 \text{ К}, v = 0,6 \text{ м/с}, \tau = 7,5 \text{ мин}$	$T = 331 \text{ К}, v = 0,3 \text{ м/с}, \tau = 12 \text{ мин}$

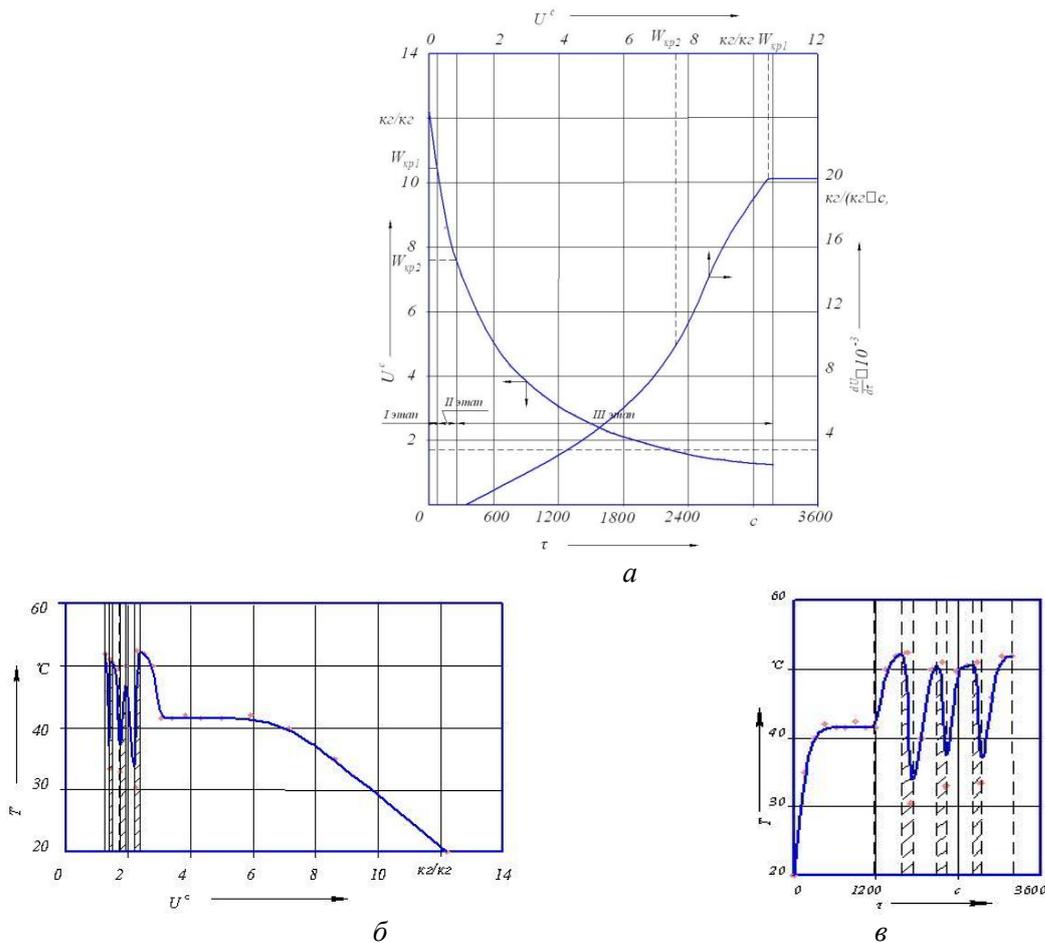
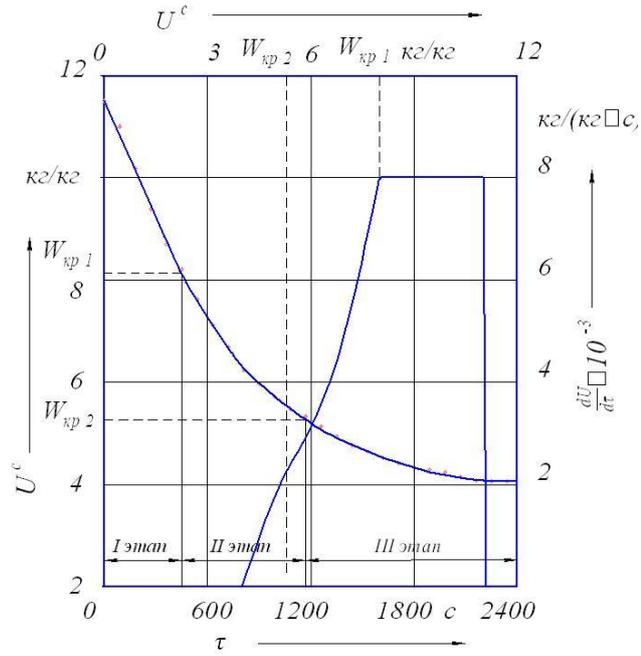
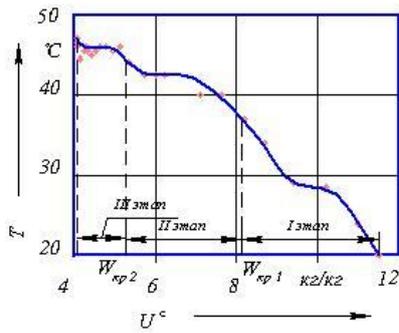


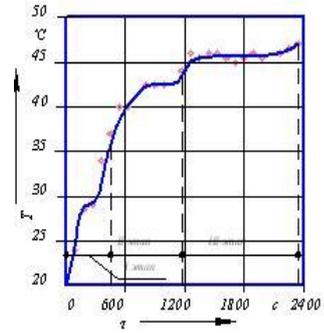
Рисунок 4.7 - Кинетические зависимости комбинированного режима (таблица 4.1) процесса сушки горького перца: а– кривые сушки и скорости сушки, б– температурные кривые, в – термограммы.



а

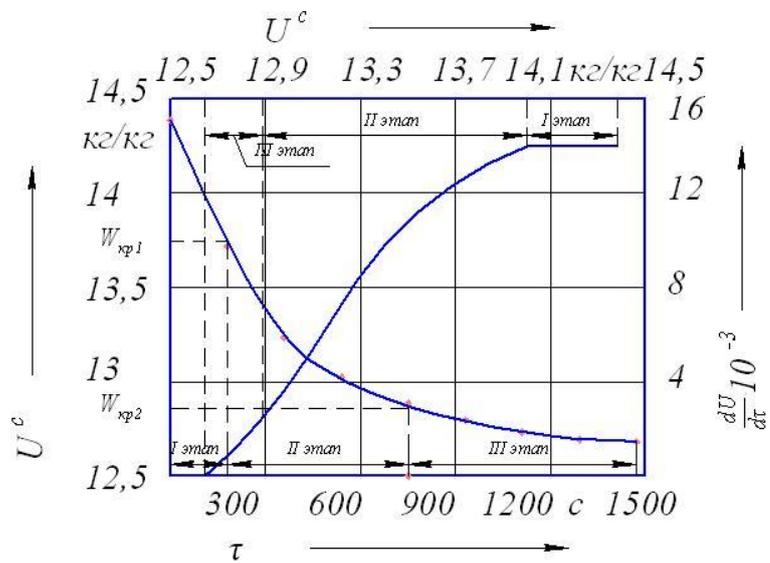


б



в

Рисунок 4.8 - Кинетические зависимости комбинированного режима (таблица 4.1) процесса сушки чеснока: а– кривые сушки и скорости сушки, б– температурные кривые, в – термограммы.



а

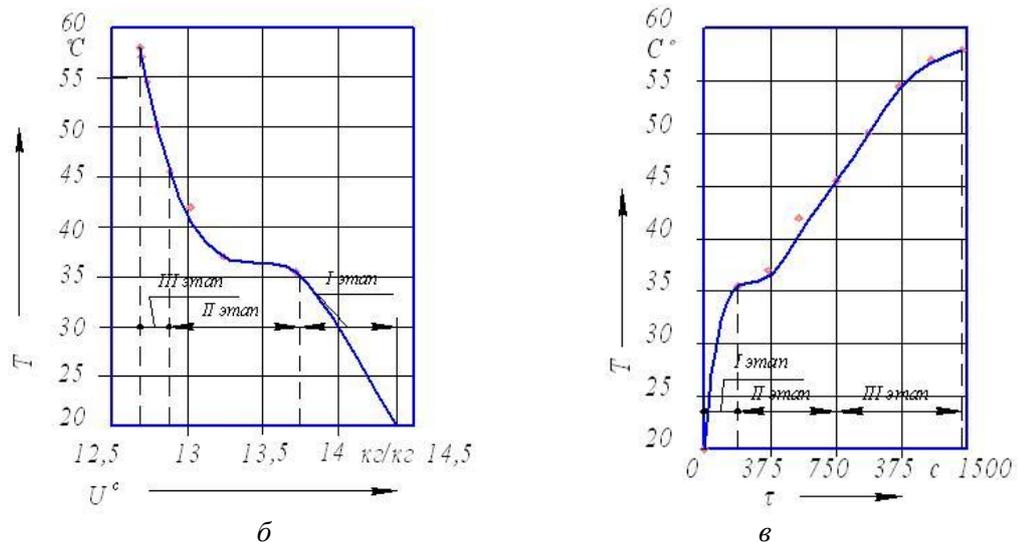


Рисунок 4.9 - Кинетические зависимости комбинированного режима (таблица 4.1) процесса сушки горчичного жмыха: а– кривые сушки и скорости сушки, б– температурные кривые, в – термограммы.

Наилучшим способом СВЧ-конвективной сушки плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха по всем показателям качества и энергетическим затратам являются рекомендованные способы с обоснованием выбора режима и каждого конкретного параметра. Использование предлагаемых режимов комбинированной СВЧ-конвективной сушки плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха позволяет повысить качество получаемых продуктов за счет поддержания рационального температурного воздействия на обрабатываемые продукты, осуществлять процесс удаления испаряемой влаги в соответствии с основными кинетическими закономерностями, минимизировать энергозатраты на сушку плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха за счет использования комбинированного теплоподвода к обрабатываемому продукту, достигнуть равномерной сушки вследствие использования мягких, щадящих режимов обработки.

Глава 5. КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПЛОДОВ ГОРЬКОГО ПЕРЦА, ЧЕСНОКА И ГОРЧИЧНОГО ЖМЫХА

5.1. Определение антиоксидантной активности плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха

Пищевые продукты, у которых антиоксидантная активность, является объектом внимательного изучения, так как определена прямая зависимость между наличием свободных радикалов и появлением самых опасных заболеваний. В результате опасных воздействий свободных радикалов окисляются липиды, наносится вред стенкам сосудов, мембранам. Значительный вред представляет последовательное окисление полиненасыщенных жирных кислот (перекисное окисление липидов), в результате чего образуются гидроперекиси, у которых имеется высокая реакционная способность и повреждающим эффектом. Все эти эффекты приводят к значительным патологическим изменениям в организме, особенно к онкологическим болезням, сердечно-сосудистым, легочным заболеваниям, а также болезням центральной нервной системы. Антиоксиданты на уровне клеток оберегают организм от опасного воздействия свободных радикалов, защищая человека от внезапного старения и болезней [86, 97].

Главные натуральные антиоксиданты – это ароматические оксикислоты, флавоноиды, антоцианы, витамины С и Е и другие. Основную значимость представляют биофлавоноиды, которые обладают противовоспалительными, антиканцерогенными, антиаллергическими, и антисклеротическими свойствами. Действие на здоровье человека свободных радикалов можно минимизировать, из-за постоянного добавления в пищу продуктов, имеющих большую антиоксидантную активность.

Задачей экспериментов является определение общей антиоксидантной активности свежих плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха, а так же продуктов, полученных из данных плодов путем СВЧ-конвективной сушки. Изучаемые свежие плоды горького перца, чеснока и горчичного жмыха, а так же полученные приправы являются

перспективным сырьем для использования в овощесушильной и пищевых концентратной отрасли [51].

На ОАО НПО «Химавтоматика» был разработан способ проведения определения содержания антиоксидантов (СА) в экстрактах растений, напитках, биологически активных добавках (БАД), вытяжках, а также аппарат для ее выявления. Значение содержания антиоксидантов объектах находится количеством в них природных флавоноидов, а именно, веществ вида флавона; а также витаминов и иных групп соединений, которые могут присоединять свободные радикалы.

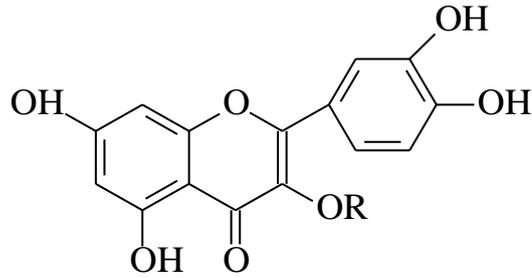
Для изучения АОА был взят комплексный анализатор «Цвет Яуза-01-АА». На анализаторе проводили прямые количественные определения антиоксидантной активности плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха (рисунок 5.1).



Рисунок 5.1 - Анализатор антиоксидантной

Сигнал определяется в виде дифференциальных выходных зависимостей. При помощи определенного программного обеспечения происходит вычисление площадей или высот пиков исследуемого и стандартного объекта. Образец графического изображения исходящего сигнала приведен на рисунке 5.2 - 5.7.

В качестве стандартного объекта в эксперименте был применен рутин (кверцетин-3-рутинозид).



R - î ñàòî é
đàì í î ãëþ êî çû

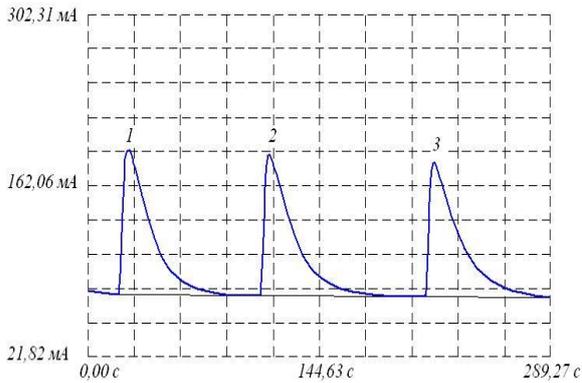


Рисунок 5.2 – Исходящий сигнал получаемый от раствора свежего горького перца

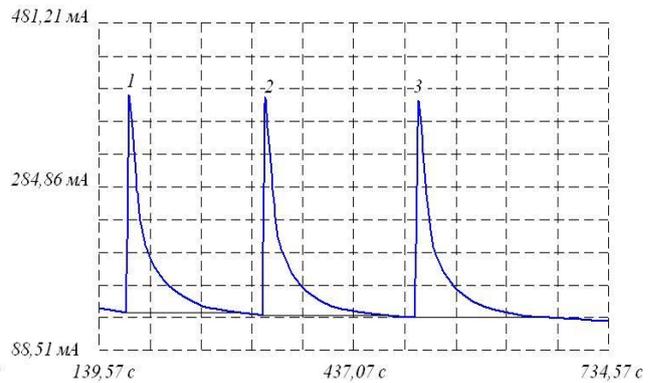


Рисунок 5.3 – Исходящий сигнал получаемый от раствора свежего чеснока

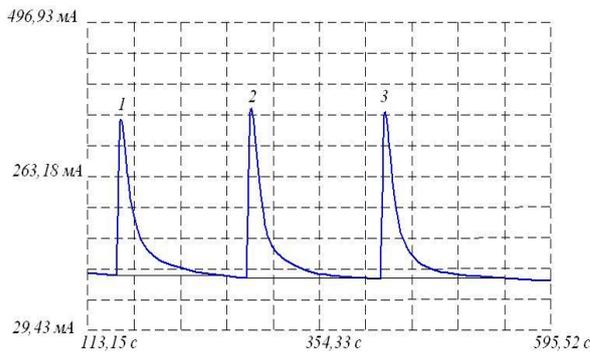


Рисунок 5.4 – Исходящий сигнал получаемый от раствора сушеного горького перца

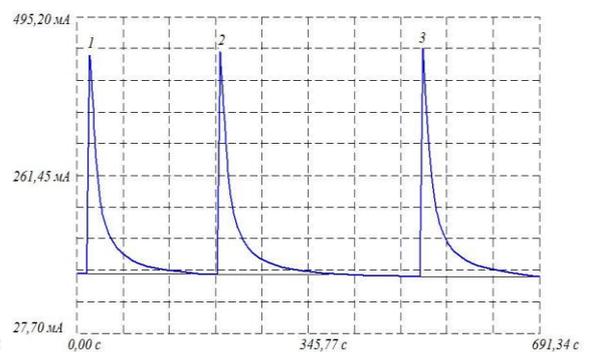


Рисунок 5.5 – Исходящий сигнал получаемый от раствора сушеного чеснока

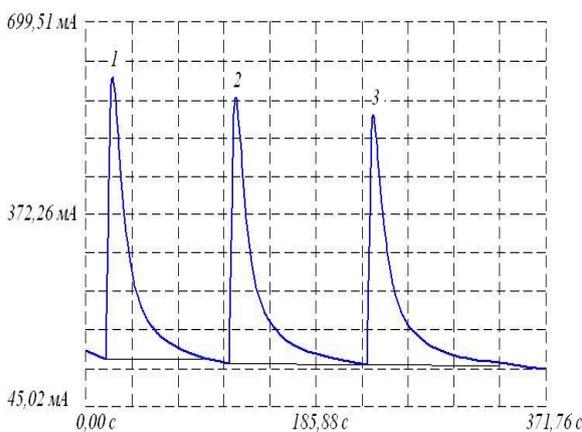


Рисунок 5.6 – Исходящий сигнал получаемый от раствора горчичного жмыха

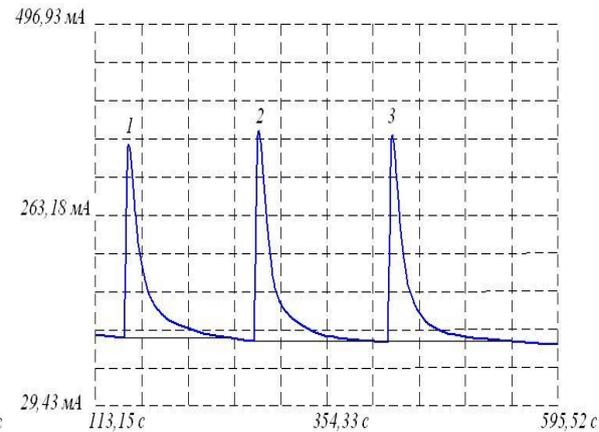


Рисунок 5.7 – Исходящий сигнал получаемый от раствора сушеного горчичного жмыха

Выполнение экспериментов проводили следующим образом. На начальном этапе был определен калибровочная зависимость рутина (рисунок 5.8).

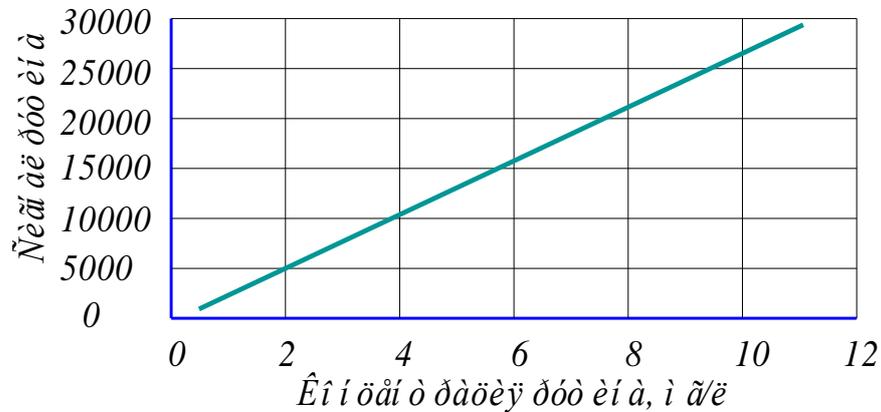


Рисунок 5.8 - Калибровочная зависимость рутина

Далее приготовили образцы сока плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха и растворов вытяжки (точность взвешивания $\pm 0,0002$ г). Выполнили по 3 последовательных вычислений сигналов (площади выходной кривой) изучаемых растворов. За итог брали среднее арифметический показатель за три эксперимента (СКО не более 3 %).

Расчет CA (суммарной антиоксидантной активности, мг/г) для вытяжки изучаемых объектов выполняли по формуле(5.1):

$$CA = \frac{CA_{гр} \cdot V \cdot N}{m \cdot 1000}; \quad (5.1)$$

где m – вес изучаемого компонента, г; V – объем раствора изучаемой пробы, см³; $CA_{гр}$ – величина антиоксидантной активности рутина по калибровочной зависимости, мг/дм³; N – разбавление изучаемого объекта.

Определение суммарной антиоксидантной активности (CA , мг/дм³) для вытяжек изучаемых образцов выполняли по формуле(5.2):

$$CA = CA_{гр} \cdot V; \quad (5.2)$$

где N – разбавление анализируемых образцов; $CA_{гр}$ – количество находящихся антиоксидантов, найденная по калибровочной зависимости, мг/дм³ [13].

При пересчете на СВ (сухое вещество) величина суммарной АОА для вытяжки свежего горького перца составляет 0,003 мг/г сухого вещества, а для вытяжки высушенного горького перца – 0,007 мг/г сухого. При пересчете на СВ (сухое вещество) количество суммарной АОА для вытяжки свежего чеснока составляет 0,019 мг/г сухого вещества, а для вытяжки высушенного чеснока – 0,040 мг/г сухого. При пересчете на СВ (сухое вещество) количество суммарной АОА для вытяжки из горчичного жмыха составляет 0,072 мг/г сухого вещества, а для вытяжки из высушенного горчичного жмыха - 0,092 мг/г сухого вещества.

Таблица 5.1 - Суммарная антиоксидантная активность плодов горького перца, чеснока, и горчичного жмыха, а так же специй из данных плодов

Объем	Разбавление	Концентрация по графику	Суммарная АОА, мг/г сухих веществ	На 100 г продукта
Вытяжка из свежего горького перца				
25	0,5	1,19	0,003	0,012
Вытяжка из сушенного горького перца				
25	0,5	2,87	0,007	0,028
Вытяжка из свежего чеснока				
10	0,5	3,16	0,019	0,19
Вытяжка из сушенного чеснока				
5	0,5	3,95	0,040	0,8
Вытяжка из свежего горчичного жмыха				
10	0,5	4,77	0,072	0,72
Вытяжка из сушенного горчичного жмыха				
10	0,5	3,06	0,092	0,92

Основываясь на исследовании можно сделать вывод, что употребление в пищу полученных путем сушки СВЧ-конвективным способом специй из плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха наиболее существенно для уменьшения опасного действия на организм человека «свободных радикалов».

5.2. Определение химического состава плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха, а так же специй полученных из данных продуктов

Сушеные специи применяются в кулинарии для придания

неповторимого вкуса и аромата различным блюдам. Вкусовые и ароматические свойства специй формируются во время сушки, в результате биохимических процессов, которые приводят к изменению химического состава получаемого продукта [46, 116].

Отличительная особенность рекомендуемой технологии сушки специй от распространенных в производстве способов заключается в том, что процесс переработки плодов идет при сберегающих температурных режимах сушки.

Плоды горького перца, чеснока и горчичного жмыха анализировались по химическим, физико-химическим и органолептическим показателям, а также по значениям аминокислот и минеральных веществ. Выявление изучаемых показателей позволит определить изменения в структуре продуктов, проходящие в процессе сушки, и определить качественные показатели готовых специй [14, 28, 52, 122].

Отбор исследуемых продуктов выполняли по ГОСТ 13341-77 «Овощи сушеные. Методы отбора, правила приемки и подготовка проб», по органолептическим показателям – по ГОСТ 16731–71; изучение содержания влаги в плодах – по ГОСТ 13496.3-92; выявление количества углеводов – по ГОСТ 26176-91; выявление количества золы определяли методом сухого сгущения по ГОСТ 26226-95; выявление количества белка – по ГОСТ 13496.4-93, выявление количества содержащихся витаминов по ГОСТ Р 51938-2002, ГОСТ Р 51122-97, содержание аминокислот по ГОСТ Р 52200-2004 (ИСО 3977-2-1997) и количество содержащихся минеральных веществ по ГОСТ Р 51430-99 (РФ), ГОСТ Р 51429-99 (РФ). Взимание исследуемых проб для микробиологических исследований плодов чеснока, горчичного жмыха и горького перца проводили по ГОСТ 26668-85, а подготовку продуктов к анализу проводили по ГОСТ 26669-85. Выявление количества содержащихся микроорганизмов выявляли в соответствии с рекомендованным ГОСТом 26972-85. Анализ и регистрацию полученных итогов выполняли в соответствии с ГОСТ 26670-85 [16, 45, 60, 69, 94, 96].

Горький перец, поступающий на переработку, по своему качеству должен соответствовать ГОСТ 14260-89.

- внешний вид: имеет форму конуса, редко немного изогнутые, часто с имеющейся пятизубчатой тарелочкой и с небольшой плодоножкой. Стенки у плода ломкие, тонкие, блестящие, снаружи гладкие. Плод внутри полый с плацентой, и прикрепленными к ней многочисленными плоскими почковидными семенами;

- размер: в длину плоды до 16 см, а в толщину до 4 см;

Допустимые отклонения:

- загнивание и перезревание плодов не допускается.

- повреждения болезнями и вредителями не допускаются.

Химический состав изменяется в зависимости от климатических условий, приемов выращивания, географического положения и от биологического сорта. Отбираемый для сушки горький перец, должен быть здоровым, свежим, витамина С, соответствующей окраски, с высоким содержанием провитамина А, сухих растворимых веществ и минеральных соединений [20, 23].

Для сушки горького перца предлагаемым способом, горький перец должен быть свежим, не загнившим, не поврежденным, рекомендуемого цвета, с большим содержанием капсаицина, органических кислот и сухих растворимых веществ.

По своей структуре кольца сушеного горького перца представляют собой тонкие сухие ломтики, имеющие красный цвет и остроту свойственную свежему продукту. Исследовался химический состав свежих плодов горького и высушенного перца, и он приведен в таблице 5.2.

Выявление аминокислотного состава пищевых продуктов – необходимая критерий и важная информация для определения их биологической ценности. Анализ аминокислотного состава сушеного горького перца выполняли на аминокислотном анализаторе «Т 339» способом ионообменной хроматографии на ионитах.

Таблица 2 - Химический состав свежего горького и высушенного перца

№ п.п.	Измеряемые параметры	Единицы измерения	Свежий перец	Высушенный перец
1	Общая влага	%	88,02±0,50	9,17±0,50
2	Углеводы (<i>общий сахар</i>)	%	8,80±0,04	61,76±0,04
3	Массовая доля жира	%	0,44±0,04	4,20±0,04
4	Массовая доля белка	%	1,87±0,02	15,12±0,04
5	Зола	%	0,87±0,04	9,75±0,04
Минеральный состав				
6	Фосфор (P)	мг	43,56±0,04	315,65±0,02
7	Железо (Fe)	мг	1,03±0,04	7,72±0,04
8	Кальций (Ca)	мг	14,07±0,04	104,17±0,02
9	Магний (Mg)	мг	23,19±0,04	171,14±0,02
10	Натрий (Na)	мг	9,07±0,04	67,56±0,04
11	Калий (K)	мг	212,56±0,04	1587,12±0,04
Аминокислотный состав (незаменимые)				
12	Лейцин	г/100 г белка	0,121±0,004	0,639±0,004
13	Валин	г/100 г белка	0,082±0,004	0,442±0,004
14	Изолейцин	г/100 г белка	0,074±0,004	0,407±0,002
15	Метионин + цистин	г/100 г белка	0,065±0,002	0,364±0,002
16	Лизин	г/100 г белка	0,092±0,002	0,482±0,002
17	Фенилаланин + тирозин	г/100 г белка	0,122±0,004	0,634±0,004
18	Треонин	г/100 г белка	0,072±0,004	0,397±0,004
Содержание тяжелых металлов				
19	Свинец (Pb)	мг/г	-	-
20	Ртуть (Hg)	мг/г	-	-
21	Кадмий (Cd)	мг/г	-	-
22	Мышьяк (As)	мг/г	-	-
23	Цезий (Cs ¹³⁷)	мг/г	-	-
24	Стронций (Sr ⁹⁰)	мг/г	-	-
Содержание пестицидов				
25	ДДТ	мг/кг	-	-
26	ГЧЦГ	мг/кг	-	-
Микробиологические показатели				
27	<i>S. aureus</i>	КОЕ/г	-	-
28	КМАФАнМ	КОЕ/г	84	60
29	БГКП (колиформы)	КОЕ/г	-	-
Витаминный состав				
30	Витамин А	мкг%	48,1±0,2	171,5±0,2
31	Тиамин (В ₁)	мг%	0,072±0,004	0,262±0,004
32	Рибофлавин (В ₂)	мг%	0,094±0,004	0,367±0,004
33	Витамин Е	мг%	0,694±0,002	2,516±0,004
34	Витамин С	мг%	143,7±0,2	302,2±0,1
35	Ниацин (РР)	мг%	1,24±0,10	3,09±0,10

У экологически безопасного продукта должно быть малое количество природных токсикантов и отсутствовать «загрязнители», выявление которых является важной

задачей.

Кадмий, мышьяк, ртуть, цезий, свинец, стронций не присутствуют.

Итог экспериментов показал, что горький перец высушенный предлагаемым способом по микробиологическим требованиям соответствует ГОСТ 21833-76 п.п. 2.1, 2.5, 4.4 «Гигиенические требования к безопасности пищевых продуктов и продовольственного сырья и качеству» [29].

Свежий чеснок, поступающий в переработку, по своему качеству должен соответствовать ГОСТ 7977-87 и соответствовать данным требованиям:

- внешний вид: луковицы зрелые, здоровые, твердые, чистые, плотные, целые, без вреда нанесенного сельскохозяйственными вредителями, не проросшие, окраска и форма свойственна для ботанического вида, с сухой чешуйкой, для сортов со стрелками – со стрелкой обрезанной не выше 20 мм, для сортов без стрелок – с удаленными сухими листьями в длину не превышающих 50 мм включительно, с остатками сухих корешков или без них.

- по размеру: размер луковиц по наибольшему поперечному диаметру не менее 25 мм;

- вкус и запах: свойственные для конкретного ботанического вида, без постороннего привкуса и запаха;

- механические повреждения: количество луковиц с небольшими механическими повреждениями не превышает 3,0 % от массы;

- повреждения болезнями и вредителями не допускаются.

- запаривание, подмерзание или загнивание плодов не допускается.

Химический состав изменяется и находится в зависимости от приемов выращивания, сорта и климатических условий.

Количество нитратов, пестицидов и токсичных элементов в продукте не должно быть больше допустимого уровня, установленные санитарными нормами и медико-биологическими требованиями качества пищевых продуктов и продовольственного сырья.

Плод чеснока — коробочка, семян чеснок не образует. Луковка сложная, состоящая из 2—50 зубчиков, каждый из них покрыт твердой чешуйкой. Луковицы могут быть желтоватые, белые, розово-фиолетовые, темно-фиолетовые.

Чеснок для сушки рекомендуемым способ должен быть зрелым, здоровым, без гниения, соответствующей окраски, со большим количеством сухих растворимых веществ и органических кислот.

По своей структуре сушеный чеснок представляет собой тонкие сухие ломтики, имеющие белый или легкий кремовый оттенок, естественный вкус чеснока.

У экологически безопасного продукта практически не должно быть «загрязнителей» и ограниченный объем природных токсикантов, выявление которых является главной задачей [21, 22].

Для совокупной оценки качества сушеного чеснока как пищевого продукта, предназначенного для употребления, в аккредитованных исследовательских лабораториях исследовали показатели безопасности: пестицидов, радионуклидов, количество тяжелых металлов и микотоксинов. Количество токсичных компонентов не определено.

Итог экспериментов показал, что чеснок высушенный по предлагаемой технологии по микробиологическим свойствам подходит требованиям ГОСТ 21833-76 п.п. 2.1, 2.5, 4.4 «Гигиенические требования к безопасности пищевых продуктов и продовольственного сырья и качеству»

Изучался химический состав свежего чеснока и высушенного по предлагаемой технологии он приведен в таблице 5.3.

Также был определен аминокислотный состав чеснока на аминокислотном анализаторе «Г 339» способом ионообменной хроматографии на ионитах.

Таблица 5.3 - Химический состав исходного чеснока и чеснокасушеного

№ п./п.	Измеряемые параметры	Ед. изм./ образцы	Чеснок (исходный образец)	Чеснок (образец после сушки)
1	Массовая доля жира	%	0,49 ± 0,02	1,09 ± 0,04
2	Массовая доля белка	%	6,52 ± 0,04	14,59 ± 0,04
3	Общая влага	%	58,72 ± 0,50	5,62 ± 0,50
4	Зола	%	1,62 ± 0,02	4,59 ± 0,04
5	Углеводы (общий сахар)	%	32,65 ± 0,04	74,11 ± 0,04
Минеральный состав				
6	Кальций (Ca)	мг	181,56 ± 0,04	397,62 ± 0,04
7	Натрий (Na)	мг	17,05 ± 0,02	37,79 ± 0,04
8	Калий (K)	мг	387,90 ± 0,02	862,15 ± 0,02
9	Фосфор (P)	мг	153,25 ± 0,04	343,45 ± 0,02
10	Магний (Mg)	мг	25,14 ± 0,02	56,08 ± 0,04
11	Железо (Fe)	мг	1,62 ± 0,04	3,62 ± 0,02
Аминокислотный состав (незаменимые)				
12	Валин	г/100 г белка	0,297 ± 0,004	0,604 ± 0,004
13	Изолейцин	г/100 г белка	0,223 ± 0,004	0,461 ± 0,002
14	Лейцин	г/100 г белка	0,318 ± 0,004	0,658 ± 0,002
15	Лизин	г/100 г белка	0,279 ± 0,004	0,567 ± 0,002
16	Метионин + цистин	г/100 г белка	0,148 ± 0,002	0,295 ± 0,004
17	Треонин	г/100 г белка	0,167 ± 0,004	0,343 ± 0,002
18	Фенилаланин + тирозин	г/100 г белка	0,272 ± 0,004	0,563 ± 0,004
Витаминный состав				
19	Рибофлавин (B ₂)	мг%	0,08 ± 0,02	0,14 ± 0,02
20	Витамин B ₆	мг%	0,6 ± 0,1	1,1 ± 0,1
21	Тиамин (B ₁)	мг%	0,08 ± 0,02	0,14 ± 0,02
22	Ниацин (PP)	мг%	1,24 ± 0,05	2,19 ± 0,05
23	Витамин С	мг%	10,5 ± 0,2	18,7 ± 0,1

Исходный горчичный жмых, поступающий на переработку, должен по своему качеству соответствовать 13979.4-68 и отвечать следующим требованиям:

- по внешнему виду пластины горчичного жмыха должны быть в виде ракушки или дробленные;
- цвет изменяется от желтого различных оттенков до коричневого различных оттенков;
- запах свойственный горчичному жмыху;
- отсутствие темных включений;
- повреждения вредителями и болезнями не допускаются.
- загнивание жмыха, запаривание или подмерзание не допускается.

Химический состав изменяется и очень сильно зависит от сорта, приемов и выращивания климатических условий.

Содержание токсичных элементов, пестицидов и нитратов в горчичном жмыхе не должно быть больше разрешенного уровня, установленные санитарными требованиями качества продуктов питания и продовольственного сырья и медико-биологическими требованиями.

Горчичный жмых для сушки рекомендуемым способ должен быть здоровым, без гниения, соответствующей окраски, с большим количеством сухих растворимых веществ и органических кислот.

По своей структуре сушеный горчичный жмых представляет собой тонкие сухие ломтики, имеющие легкий коричневатый или желтоватый оттенок [19].

У экологически безопасного продукта должны отсутствовать «загрязнители» и должно быть небольшой объем природных токсикантов, выявление которых является главной задачей.

Для совокупной оценки качества горчичного жмыха высушенного по предлагаемой технологии как пищевого продукта, употребляемого в пищу, в аккредитованных исследовательских лабораториях выявляли показатели безопасности: количество микотоксинов, пестицидов, тяжелых металлов и радионуклидов. Выявление токсичных элементов не определено.

Итоги экспериментов показали, что горчичный жмых высушенный по предлагаемой технологии по микробиологическим критериям подходит требованиям ГОСТ 21833-76 п.п. 2.1, 2.5, 4.4 «Гигиенические требования к безопасности пищевых продуктов и продовольственного сырья и качеству»

Изучался химический состав свежего горчичного жмыха и высушенного по предлагаемой технологии он приведен в таблице 5.4.

Также был определен аминокислотный состав горчичного жмыха на аминокислотном анализаторе «Г 339» способом ионообменной хроматографии на ионитах.

Таблица 5.4 - Химический состав исходного горчичного жмыха и жмыха сушеного

№ п./п.	Измеряемые параметры	Ед. изм./образцы	Горчичный жмых (исходный образец)	Горчичный жмых (образец после сушки)
1	Общая влага	%	17,02 ± 0,50	5,98 ± 0,50
2	Массовая доля белка	%	35,17 ± 0,02	38,91 ± 0,04
3	Массовая доля жира	%	18,03 ± 0,04	19,67 ± 0,02
4	Углеводы (общий сахар)	%	10,89 ± 0,02	12,14 ± 0,02
5	Клетчатка	%	12,26 ± 0,02	13,71 ± 0,04
6	Зола	%	6,63 ± 0,04	9,59 ± 0,04
			Минеральный состав	
7	Натрий (Na)	мг	13,0 ± 0,2	14,5 ± 0,4
8	Калий (K)	мг	578,2 ± 0,4	651,7 ± 0,4
9	Кальций (Ca)	мг	132,2 ± 0,4	147,7 ± 0,4
10	Магний (Mg)	мг	172,6 ± 0,4	194,9 ± 0,2
11	Железо (Fe)	мг	8,1 ± 0,2	9,1 ± 0,4
12	Фосфор (P)	мг	615,1 ± 0,4	696,0 ± 0,4
			Аминокислотный состав (незаменимые)	
13	Валин	г/100 г белка	1,61 ± 0,02	1,45 ± 0,02
14	Изолейцин	г/100 г белка	1,28 ± 0,40	1,17 ± 0,02
15	Лейцин	г/100 г белка	2,19 ± 0,02	2,01 ± 0,04
16	Лизин	г/100 г белка	1,97 ± 0,02	1,78 ± 0,04
17	Метионин + цистин	г/100 г белка	1,37 ± 0,02	1,27 ± 0,02
18	Треонин	г/100 г белка	0,98 ± 0,04	0,89 ± 0,02
19	Фенилаланин + тирозин	г/100 г белка	2,08 ± 0,02	1,87 ± 0,04
			Витаминный состав	
20	Витамин А	мкг%	2,09 ± 0,02	1,65 ± 0,04
21	Тиамин (В ₁)	мг%	0,81 ± 0,04	0,65 ± 0,04
22	Рибофлавин (В ₂)	мг%	0,27 ± 0,02	0,21 ± 0,02
23	Витамин Е	мг%	5,12 ± 0,02	4,15 ± 0,02
24	Витамин С	мг%	7,05 ± 0,04	5,02 ± 0,04
25	Ниацин (РР)	мг%	4,73 ± 0,02	3,67 ± 0,02

Глава 6. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ АППАРАТА, ТЕХНОЛОГИИ И СПОСОБОВ ПРОИЗВОДСТВА СУШЕНЫХ СПЕЦИЙ

6.1. Разработка конструкции аппарата для производства сушеных специй

Установка для сушки специй представлена на рисунок 6.1. состоящая из корпуса 1, имеющего форму спирального короба, выполненного по винтовой линии, цепного транспортера 2 с регулируемым приводом 3, вентилятора 4, распределительного воздуховода 5 и перфорированных лотков 6 [68].

Внутри корпуса 1 поочередно расположены сообщающиеся между собой камеры: камера загрузки, последовательно чередующиеся СВЧ-камеры 7 и камеры охлаждения 8, камера выгрузки,

На внутренней боковой стенке каждой СВЧ-камеры 7 установлены магнетроны 9. Через все камеры проходят два параллельных цепных транспортера 2, на которых шарнирно закреплены перфорированные лотки 6. Регулируемый привод 3 цепного транспортера 2 обеспечивает циклично-непрерывное движение перфорированных лотков 6 с периодическими выстоями. Между поочередно расположенными камерами 7 и 8 установлены перегородки 11, выполненные с возможностью перемещения в вертикальной плоскости. Перегородки 11 предотвращают попадание теплоносителя из камеры СВЧ-нагрева 7 в камеру охлаждения 8, а так же исключают проникновения электромагнитных волн в окружающую среду.

Нижняя часть камер охлаждения 8 соединена с помощью воздуховода 10 с вентилятором 4. Скорость теплоносителя (воздуха), подаваемого в каждую из камер охлаждения 8, регулируется шиберными заслонками 13, установленными на соответствующем воздуховоде 10. Верхние части камер охлаждения 8 соединены с вытяжным диффузором 14 для отвода отработанного теплоносителя (воздуха).

Над камерой загрузки установлен загрузочный бункер 15 с питателем, регулирующим темп подачи продукта на поверхность перфорированного лотка 6. Под камерой выгрузки расположен разгрузочный бункер 16 с ленточным транспортом 12.

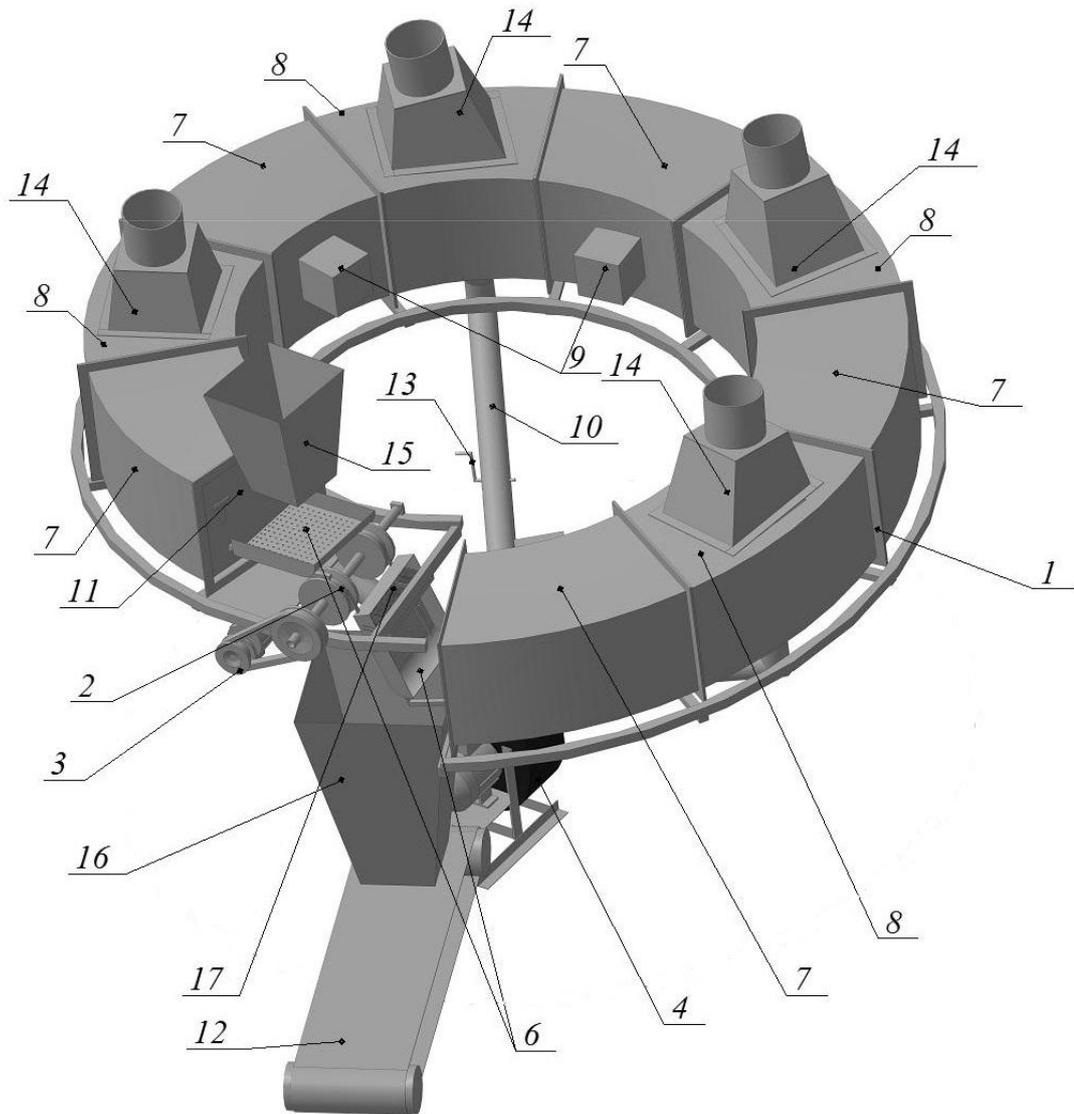


Рисунок 6.1 - Комбинированная СВЧ-конвективная сушилка: 1 – корпус, 2 – цепной транспортер, 3 – привод транспортера, 4 – вентилятор, 5 – распределительный воздуховод, 6 – перфорированный лотки, 7 – камера СВЧ-нагрева, 8 – камера охлаждения, 9 – магнетрон, 10 – воздуховод, 11 – перегородка, 12 – ленточный транспортер, 13 – шиберная заслонка, 14 – вытяжной диффузор, 15 – загрузочный бункер, 16 – разгрузочный бункер, 17 – вращающаяся щетка

Выгрузка высушенного продукта из лотка 6 происходит в разгрузочный бункер 16 путем поворота лотка 6 в вертикальное положение. При этом вращающаяся щетка 17 удаляет прилипший продукт с

перфорированной поверхности лотка 6.

Комбинированная СВЧ-конвективная сушилка работает следующим образом.

Исходный сыпучий продукт подается в загрузочный бункер 15. Включается регулируемый привод питателя, установленного в загрузочном бункере 15. Из загрузочного бункера 15 с помощью регулируемого питателя сыпучий продукт засыпается равномерным слоем на перфорированный лоток 6, который предварительно вымыт и очищен от косточек, плодоножек, листочков и т. п.

Далее включается и регулируемый привод 3 цепных транспортеров 2, и перфорированный лоток 6 с загруженным продуктом перемещает в первую (по ходу движения) СВЧ-камеру 7. После того, как перфорированный лоток 6 вошел в СВЧ-камеру 7, регулируемый привод 3 цепных транспортеров 2 отключается и лоток 6 останавливается в первой СВЧ-камере 7. Одновременно включается магнетрон 9, расположенный в первой СВЧ-камере 7. Отличительной особенностью СВЧ-нагрева является то, что слой продукта нагревается равномерно по всему объему. При этом значительно интенсифицируется внутренний перенос влаги к границе раздела фаз. После того, как продукт, расположенный на лотке 6, нагрелся в первой СВЧ-камере 7 до заданной температуры, магнетрон 9 выключается. Затем приподнимается перегородка 11, расположенная между первой СВЧ-камерой 7 и первой (по ходу движения продукта) камерой охлаждения 8, и включается регулируемый привод 3 цепных транспортеров 2. При этом перфорированный лоток 6 с нагретым продуктом перемещается в первую камеру охлаждения 8.

После того, как перфорированный лоток 6 с продуктом вошел в первую камеру охлаждения 8, регулируемый привод 3 отключается и цепные транспортеры 2 останавливаются. Одновременно включается вентилятор 4 и теплоноситель (воздух) по воздухопроводу 10 подается в первую камеру охлаждения 8. При этом скорость теплоносителя (воздуха) регулируется

шиберной заслонкой 13, расположенной на воздуховоде 10, который соединяет вентилятор 4 и первую камеру охлаждения 8.

Подаваемый вентилятором 4 теплоноситель (воздух) не только сдувает пленку испаряемой влаги с поверхности продукта, но и снижает температуру поверхности продукта для предотвращения его подгорания при дальнейшей тепловой обработке. После того, как испаряемая влага удалена с поверхности продукта, вентилятор 4 выключается.

Затем приподнимается перегородка 11, расположенная между первой (по ходу движения продукта) камерой охлаждения 8 и второй СВЧ-камерой 7, и включается регулируемый привод 3 цепных транспортеров 2. При этом перфорированный лоток 6 с подсушенным и охлажденным продуктом перемещается во вторую (по ходу движения продукта) СВЧ-камеру 7.

Последующая комбинированная обработка (нагрев в СВЧ-камере и охлаждение в камере охлаждения) продукта в остальных камерах сушилки происходит по аналогичной схеме.

Таким образом, продукт, находящийся на перфорированных лотках 6, высушивается до конечной влажности.

Выгрузка продукта из лотка 6 осуществляется путем наклона перфорированных лотков 6 при их выходе из последней (по ходу движения продукта) СВЧ-камеры 7 и изменения профиля движения цепных транспортеров 2. Продукт при повороте перфорированного лотка 6 в вертикальное положение под действием силы тяжести ссыпается в разгрузочный бункер 16. Задняя стенка перфорированных лотков 6 выполнена в виде полукруга что позволяет легко и беспрепятственно ссыпаться продукту. После разгрузки перфорированный лоток 6 возвращается в исходное состояние в камере загрузки за счет изменения профиля движения цепных транспортеров 2. При этом вращающаяся щетка 17 удаляет прилипший продукт с перфорированной поверхности лотка 6. Из разгрузочного бункера 16 высушенный продукт подается на ленточный транспортер 12, который направляет его на дальнейшую переработку.

Цикл работы комбинированной СВЧ-конвективной сушилки повторяется вновь. Продолжительность всех этапов обработки продукта в камере загрузки, СВЧ-камерах 7, камерах охлаждения 8 и камере выгрузки синхронизированы между собой.

Такое чередование обработки продукта (СВЧ-нагрев и конвективное охлаждение) и изменение соотношения продолжительностей периодов обосновано следующим. На начальном этапе процесса сушки удаляется поверхностная влага. Основными параметрами, влияющими на интенсивность ее удаления, является скорость теплоносителя и СВЧ-нагрев. В этот период скорость теплоносителя оказывает существенное влияние на скорость сушки. По мере испарения указанной влаги скорость потока воздуха, как фактор от которого зависит интенсивности сушки, теряет свою значимость. На этапе снижающейся скорости сушки, когда испаряется моно- и полиадсорбционная влага, в большей степени оказывает влияние на скорость процесса температура нагрева продукта, так как на данном этапе только она определяет скорость внутренней диффузии влаги. Поэтому на этой стадии существенное влияние на скорость сушки оказывает СВЧ-нагрев. Поэтому, если в начале сушки скорость влагоудаления ограничивается главным образом скоростью потока воздуха, то в конце – и температурой нагрева продукта. Это и обуславливает предлагаемую последовательность обработки продуктов.

Адаптированный в соответствии с основными кинетическими закономерностями процесса сушки теплоподвод к обрабатываемому продукту позволяет подобрать рациональные режимы обработки продуктов с учетом изменения содержания влаги в продукте его по длине сушилки [91].

6.2. Разработка технологии для производства сушеных специй

Технологическая линия изготовления сушеных специй представлена на рисунок 6.2. Компоненты входящие в состав предложенной линии: бункер

для хранения свежих овощей 1 (горький перец, чеснок и т.д.) с встроенными в нижней части роторными дозаторами 2, весы 3, моечная машина 4, инспекционный транспортер 5, машину для резки 6, машину для удаления семенного гнезда 7, промежуточный бункер 8 (кольца горького перца, пластины чеснока, горчичный жмых и т.д.), комбинированную СВЧ-конвективную сушилку 9, дробилку 10 и фасовочно-упаковочный автомат 11.

Комбинированная СВЧ-конвективная сушилка 9 состоит из корпуса, имеющего форму спирального короба, выполненного по винтовой линии, цепного транспортера 14 с регулируемым приводом 13, вентилятора 18, распределительного воздуховода 19 и перфорированных лотков 12.

Внутри корпуса 9 поочередно расположены сообщающиеся между собой камеры: камера загрузки, последовательно чередующиеся СВЧ-камеры 15 и камеры охлаждения 17, камера выгрузки,

На внутренней боковой стенке каждой СВЧ-камеры 15 установлены магнетроны 16. Через все камеры проходят два параллельных цепных транспортера 14, на которых шарнирно закреплены перфорированные лотки 12. Регулируемый привод 13 цепного транспортера 14 обеспечивает циклично-непрерывное движение перфорированных лотков 12 с периодическими выстоями. Между поочередно расположенными камерами 15 и 17 установлены перегородки, выполненные с возможностью перемещения в вертикальной плоскости. Перегородки предотвращают попадание теплоносителя из камеры СВЧ-нагрева 15 в камеру охлаждения 17, а так же исключают проникновения электромагнитных волн в окружающую среду. Нижняя часть камер охлаждения 17 соединена с помощью воздуховода 19 с вентилятором 18. Скорость теплоносителя (воздуха), подаваемого в каждую из камер охлаждения 17, регулируется шиберными заслонками, установленными на соответствующем воздуховоде 19. Верхние части камер охлаждения 17 соединены с вытяжным диффузором для отвода отработанного теплоносителя (воздуха)

Выгрузка высушенного продукта из лотка 12 происходит в разгрузочный бункер путем поворота лотка 12 в вертикальное положение.

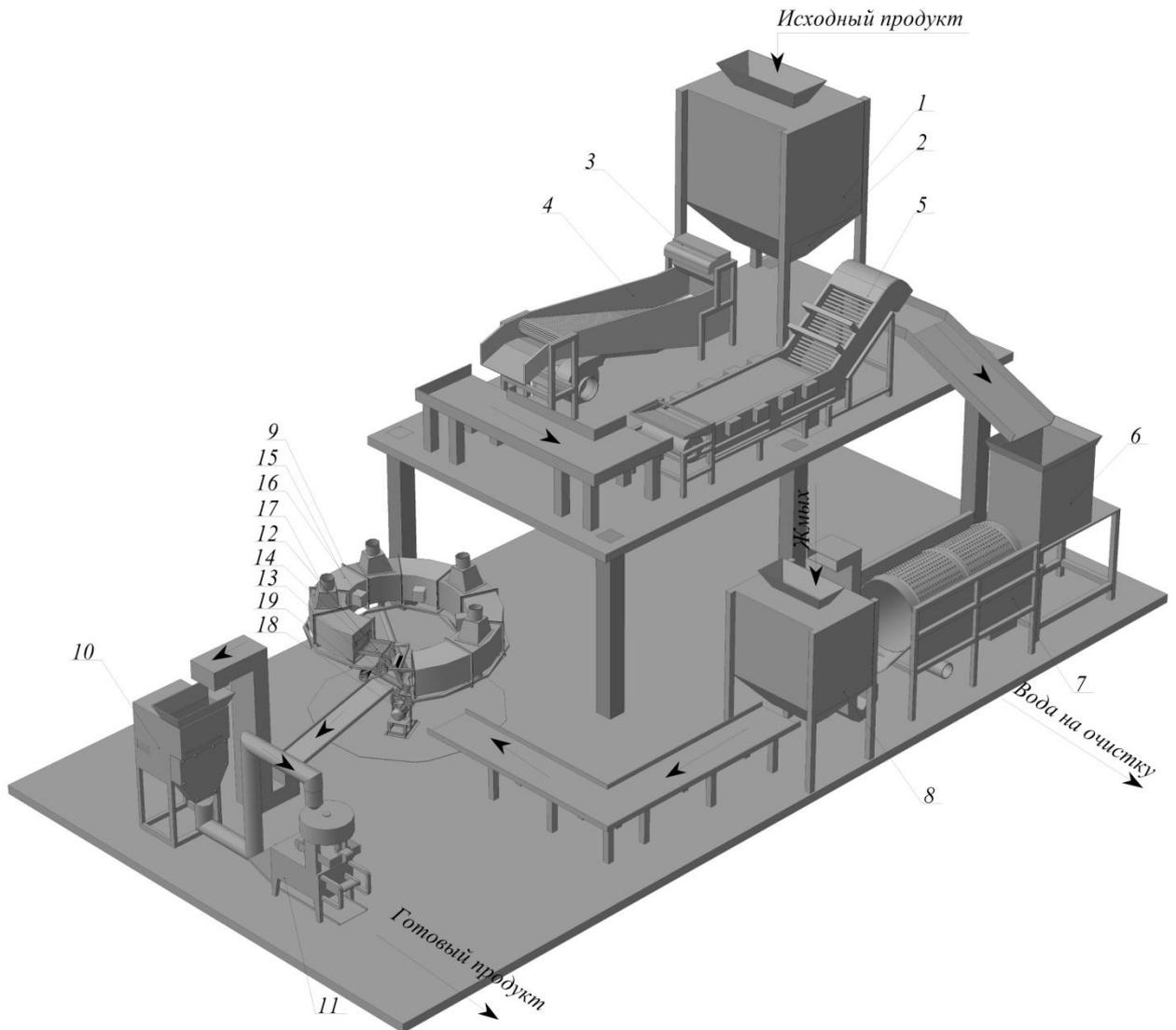


Рисунок 6.2 - Технологическая линия получения сушеных специй: 1 – бункер, 2 – дозатор роторный, 3 – весы, 4 – машина моечная, 5 – транспортер инспекционный, 6 – резательная машина, 7 – машина для удаления семенного гнезда, 8 – промежуточный бункер, 9 – комбинированная СВЧ-конвективная сушилка, 10 – дробилка, 11 – фасовочно-упаковочный автомат, 12 – перфорированные лотки, 13 – привод транспортера, 14 – цепной транспортер, 15 – СВЧ-камера, 16 – магнетрон, 17 – камера охлаждения, 18 – воздуховод, 19 – вентилятор.

Технологическая схема производства сушеных специй также состоит из вспомогательного оборудования, например, транспортеры перегрузочные, станция для очистки отработанной воды и так далее.

Исходное овощное сырье (например, горький перец) из бункера 1 с помощью дозаторов 2 дозируются и направляются на весы 3. Овощи, предназначенные для производства специй, должны быть свежими, здоровыми, с высоким содержанием капсаицина, сухих растворимых веществ и органических кислот. Готовность плодов должна быть потребительской или близкой к технической. Овощи не должны содержать плоды битые, загнившие, поврежденные вредителями и с другими дефектами.

После весов 3 порции горького перца направляются в моечную машину 4, в которой овощи подаются в емкость решетку, которая находится под наклоном. Плоды на выходе из емкости перед подачей на лоток оmyваются струями очищенной воды, которую подают из насадок шелевых коллекторов.

Затем мытые плоды подвергаются инспекции и сортированию, которые проводят на сортировочно-инспекционном транспортере 5. Одновременно с сортированием проводится инспекция плодов, при которой отделяют испорченные экземпляры (поврежденные, загнившие, битые, сильно загрязненные, заплесневелые), предметы и посторонние примеси.

Предварительно вымытый горький перец попадает в машину 6, где происходит резка 6 и затем в машину для отделения семенного гнезда 7. Попадая в зону резки, горький перец захватывается транспортерными лентами и перемещается к ножу, где режется на кружки толщиной 2-3 мм. Далее кружки перца поступают в зону отделения семенного гнезда, представляющую собой вращающийся перфорированный барабан, в который сверху из душа подается вода, которая смывает семена и хвостики перца.

Затем нарезанные кольца овощей, поступают в промежуточный бункер 8. Кольца обрабатываемого продукта из промежуточного бункера 8 засыпаются ровным слоем на перфорированные лотки 12, которые шарнирно закреплены на цепном транспортере 14 через равные промежутки. Затем перфорированные лотки 12 с продуктом цепным транспортером 14 подаются в комбинированную СВЧ-конвективную сушилку 9. Работа

комбинированной СВЧ-конвективной сушилки рассмотрена в п. 6.1. После сушки продукт направляется в дробилку 10, где перемалывается в порошок, и в фасовочно-упаковочный автомат 11.

6.3. Разработка способа производства сушеного горького перца.

Способ производства сушеного горького перца осуществляют следующим образом.

Горький перец подают в моечную машину, в которой плоды подаются в емкость на наклонную решетку. Под решеткой находится барботер. Поднимающиеся потоки газа приводят в движение горький перец в емкости, ускоряя отделение и отмочку загрязнений. С решетки, которая находится под углом, овощи перемещают на роликовый транспортер, где происходит процесс отделения и разрушения загрязнений от плодов за счет взаимодействия плодов при их вращении на роликовом конвейере. Плоды при удалении из емкости перед подачей на лоток оmyвается струями очищенной воды, которую подают из насадок щелевых коллекторов.

Затем мытый горький перец подвергают инспекции и сортированию, которые проводят вручную на сортировочно-инспекционном транспортере. Одновременно с сортированием проводится инспекция плодов, при которой отделяют испорченные экземпляры (поврежденные, загнившие, битые, сильно загрязненные, заплесневелые), предметы и посторонние примеси. Обработанный горький перец очищают от плодоножки и плаценты с семенами. Затем продукт нарезают кольцами толщиной 3 мм.

Нарезание горького перца на кольца больше, чем 3 мм толщины, например, 4 мм, значительно увеличивает продолжительность сушки и снижает производительность линии.

Нарезание горького перца на кольца меньшей, чем 3 мм толщины, например, 2,0 мм приводит к сильному короблению горького перца, что усложняет его дальнейшую обработку.

Затем нарезанные кольца горького перца подвергают комбинированной СВЧ-конвективной сушке. При этом нагрев горького перца проводят путем воздействия на продукт сверхвысокочастотного электромагнитного поля частотой 2450 МГц при одновременном конвективным обдуве воздухом с начальной температурой 293 К в три временных этапа.

Выбор частоты колебания сверхвысокочастотного электромагнитного поля, равным 2450 МГц, обусловлен тем, что на эту частоту приходится максимум электромагнитной энергии и эта частота соответствует максимальной поглощательной способности продукта. Если нагревать продукт сверхвысокочастотным электромагнитным полем с частотой менее, чем 2450 МГц, например, 2250 МГц, то продукт будет нагреваться недостаточно быстро. Если частота сверхвысокочастотного электромагнитного поля будет превышать 2450 МГц, например, 2650 МГц, то это приведет к негативным изменениям пищевых свойств продукта [26].

Одновременно с СВЧ-нагревом горький перец обдувают воздухом с начальной температурой 293 К для удаления испаряемых из продукта водяных паров.

Выбор начальной температуры воздуха 293 К обусловлен тем, что забор воздуха осуществляется из производственных помещений, в которых поддерживается, как правило, именно эта температура.

Использование в качестве теплоносителя воздуха с начальной температурой более 293 К, например, 303 К, вызовет необходимость установки калорифера для дополнительного нагрева воздуха, что может ухудшить качество готового продукта из-за его перегрева, повысить себестоимость выпускаемой продукции и увеличит объем капитальных вложений вследствие установки дополнительного оборудования (калорифера).

Использование в качестве теплоносителя воздуха с начальной температурой менее 293 К, например, 283 К, вызовет необходимость установки охладительных устройств для дополнительного охлаждения

воздуха, что при СВЧ-сушке может вызвать ненужное чрезмерное охлаждение продукта и приведет к возрастанию энергозатрат и увеличению себестоимости выпускаемой продукции.

Сущность выбора ступенчатых режимов комбинированной СВЧ-конвективной сушки горького перца заключается в разделении процесса сушки на три разных по времени этапа, на каждом из которых в зависимости от закона изменения влажности горького перца в текущий момент определяется свой рациональный технологический режим сушки, т. е. температура нагрева колец горького перца сверхвысокочастотным электромагнитным полем и их обдув со скоростью теплоносителя (воздушного потока с начальной температурой 293 К) принимали неизменные значения, величины которых выявили экспериментально. При этом их подбор на каждом этапе необходимо проводить в совокупности с ограничениями, зависящие от технологических требований на качество готового продукта.

На первом временном этапе порезанные кольца горького перца толщиной 3 мм нагревают сверхвысокочастотным электромагнитным полем до температуры 313 К при совокупном обдуве потоком воздуха в течение 5 мин со скоростью воздуха 1,6 м/с (рисунок 6.3). В результате этого удаляется физико-механическая влага, т. е. влага смачивания и влага макро- и микрокапилляров. Главным параметром, оказывающим влияние на интенсивность испарения влаги в данный период, является скорость потока воздуха. Поэтому наиболее рационально в начале процесса применить сушку с наибольшей скоростью потока воздуха и невысокой температурой нагрева продукта. Этому правилу наиболее полно отвечает сушка на первом этапе.

Нагрев продукта до меньшей температуры, чем 313 К, например 305 К снизит эффективность испарения физико-механической влаги. Нагрев продукта до большей температуры, чем 313 К, например 320 К, приведет к чрезмерному перегреву продукта и снижению его качества из-за разложения ценных термолабильных веществ (витаминов, моносахаров, аминокислот и

др.).

Обдув продукта воздушным потоком со скоростью, меньшей, чем 1,6 м/с, например, 1,3 м/с, снизит эффективность удаления испаряемых водяных паров, а, следовательно, уменьшит эффективность теплообмена процесса сушки. Обдув продукта воздушным потоком со скоростью, большей, чем 1,6 м/с, например, 1,9 м/с, приведет к пересушиванию поверхностных слоев горького перца и образованию корочки на поверхности горького перца, что затруднит удаление испаряемой влаги.

Продолжительность первого временного этапа (5 мин) определена экспериментально в результате анализа полученных кривых сушки. Использование большей продолжительности первого временного этапа, например, 6,5 мин, приведет к пересушиванию поверхностных слоев горького перца и затруднению удаления влаги, содержащейся в центральных слоях горького перца. Использование меньшей продолжительности первого временного этапа, например, 5,5 мин, приведет к тому, что не вся физико-механическая влага будет удалена из горького перца, что повлечет за собой увеличение продолжительности последующих временных этапов сушки и ухудшению качества готового сушеного горького перца.

На втором временном этапе предварительно подсушенные кольца горького перца нагревают сверхвысокочастотным электромагнитным полем до температуры 318 К при совокупном обдуве потоком воздуха в течение 15 мин со скоростью воздуха 0,9 м/с (рисунок 6.3). По мере испарения физико-механической влаги скорость потока воздуха, как основной фактор интенсивности сушки, теряет свое преимущество. Поэтому на втором этапе сушку предпочтительнее проводить при уменьшающейся скорости и поднимающейся температуре теплоносителя. В связи с тем, что на интенсивность удаления осмотической (внутриклеточной) и полиадсорбционной влаги наибольшее влияние оказывает температура, как фактор, определяющий интенсивность внутреннего влагопереноса, то продукт нагревают сверхвысокочастотным электромагнитным полем до

температуры 318 К. Нагрев продукта до меньшей температуры, чем 318 К, например, 313 К, снизит эффективность испарения осмотической и полиадсорбционной влаги. Нагрев продукта до большей температуры, чем 318 К, например, 323 К, приведет к чрезмерному перегреву продукта и снижению его качества из-за разложения ценных термолабильных веществ (витаминов, моносахаров, аминокислот и др.). Обдув продукта воздушным потоком со скоростью меньшей, чем 0,9 м/с, например, 0,5 м/с, не обеспечит полного удаления испаряемых водяных паров, а, следовательно, снизит эффективность теплообмена процесса сушки. Обдув продукта воздушным потоком со скоростью, большей, чем 0,9 м/с, например, 1,3 м/с, приведет к пересушиванию поверхностных слоев горького перца и образованию корочки на поверхности горького перца, что затруднит удаление испаряемой влаги.

Продолжительность второго временного этапа (15 мин) определена экспериментально в результате анализа полученных кривых сушки. Использование большей продолжительности второго временного этапа, например 18 мин, приведет к пересушиванию поверхностных слоев горького перца и затруднению удаления влаги, содержащейся в центральных слоях горького перца. Использование меньшей продолжительности второго временного этапа, например 12 мин, приведет к тому, что не вся осмотическая и полиадсорбционная влага будет удалена из горького перца, что повлечет за собой увеличение продолжительности последующих временных этапов сушки и ухудшению качества готового горького перца.

На третьем временном этапе предварительно подсушенные кольца горького перца нагревают сверхвысокочастотным электромагнитным полем до температуры 325 К. Для того, чтобы избежать перегрева продукта и снизить потери теплоты при нагреве и испарении влаги, на данном этапе сушки, работу СВЧ-генератора осуществляют в импульсном режиме. Работа СВЧ-генератора в импульсном режиме осуществляется следующим образом: вначале происходит нагрев продукта СВЧ-волнами до 325 К в течении 7,5

мин, а затем происходит обдув продукта воздухом в течении 1 мин. со скоростью 0,6 м/с, в результате температура снижается до 303 К. Данный режим обработки повторяется на всем протяжении третьего периода. По мере отвода осмотической влаги скорость потока воздуха, как главный фактор интенсивности сушки, теряет свое преимущество. В связи с тем, что на интенсивность удаления моноадсорбционной влаги наибольшее влияние оказывает температура, как фактор, определяющий интенсивность внутреннего влагопереноса, то продукт нагревают сверхвысокочастотным полем до температуры 325 К. Нагрев продукта до меньшей температуры, чем 325 К, например, 320 К, снизит эффективность испарения моноадсорбционной влаги. Нагрев продукта до большей температуры, чем 325 К, например, 330 К приведет к чрезмерному перегреву продукта и снижению его качества из-за разложения ценных термолабильных веществ.

Обдув продукта воздушным потоком со скоростью меньшей, чем 0,6 м/с, например, 0,4 м/с, не обеспечит полного удаления испаряемых водяных паров, а, следовательно, снизит эффективность теплообмена процесса сушки. Обдув продукта воздушным потоком со скоростью, большей, чем 0,6 м/с, например, 0,8 м/с, приведет к пересушиванию поверхностных слоев горького перца и образованию корочки на поверхности горького перца, что затруднит удаление испаряемой влаги.

Продолжительность третьего временного этапа (33 мин) определена экспериментально в результате анализа полученных кривых сушки. Использование большей продолжительности третьего временного этапа, например, 38 мин, приведет к пересушиванию поверхностных слоев горького перца и затруднению удаления влаги, содержащейся в центральных слоях горького перца. Использование меньшей продолжительности третьего временного этапа, например, 27 мин, приведет к тому, что не вся моноадсорбционная влага будет удалена из горького перца, что повлечет за собой увеличение продолжительности последующих временных этапов сушки и ухудшению качества сушеного горького перца.

Адаптированный в соответствии с основными кинетическими закономерностями процесса сушки подвод теплоносителя на трех этапах сушки продукта позволяет выбрать рациональные режимы сушки с учетом изменения влагосодержания продукта по ходу процесса сушки.

Затем на высушенные до конечной влажности 14 % кольца горького перца перемалывают.

На рисунок 6.3. приведены кинетические закономерности процесса СВЧ-конвективной сушки горького перца: а – кривая скорости сушки, кривая сушки; б – температурные кривые; в – кривые термограммы.

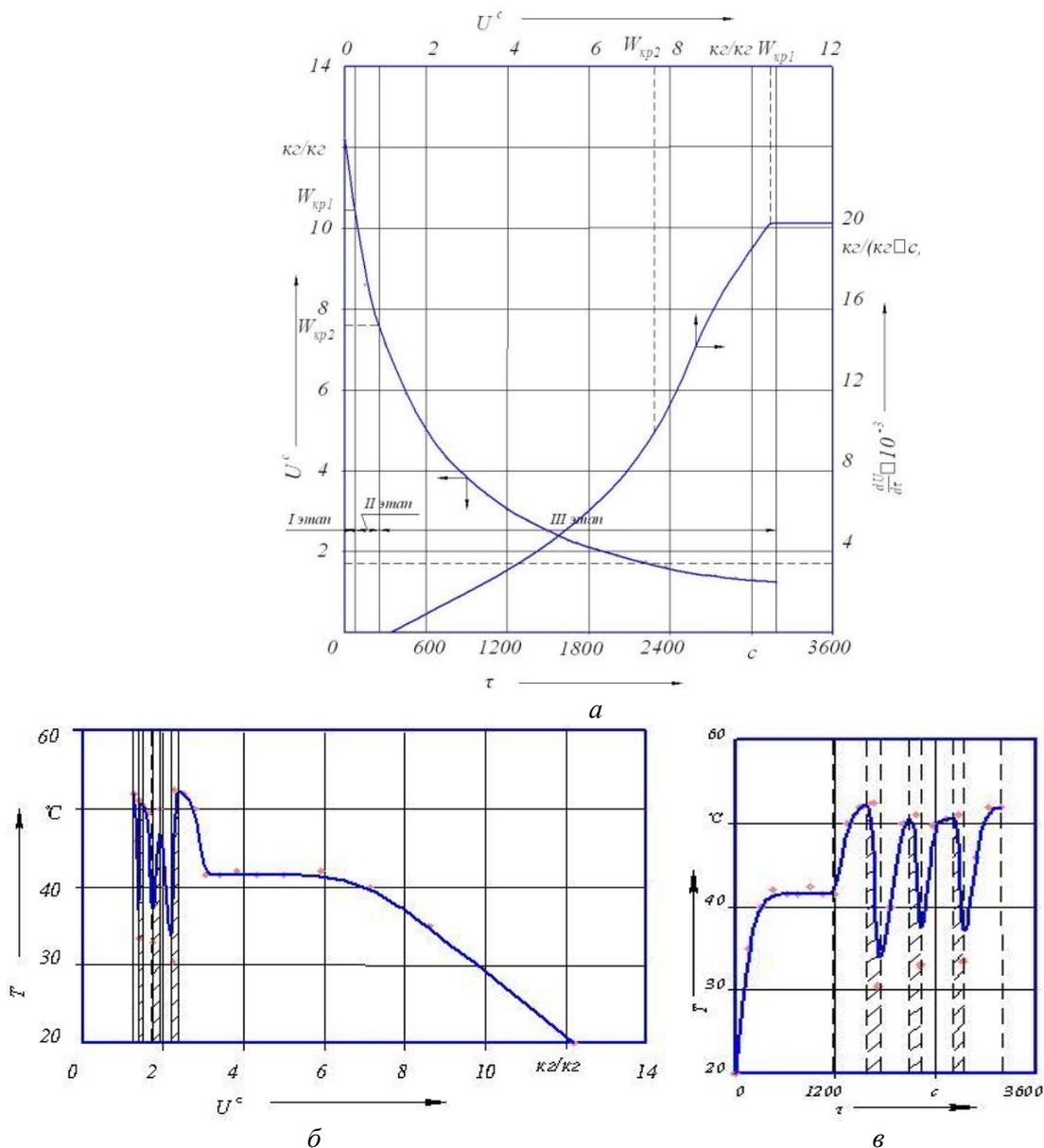


Рисунок 6.3 - Кинетические зависимости комбинированного режима процесса сушки горького перца: а – скорости сушки и кривые сушки, б – температурные кривые, в – кривые термограммы

6.4. Разработка способа производства сушеного чеснока

Способ производства сушеного чеснока осуществляют следующим образом.

Чеснок подают в моечную машину – в емкость на наклонную решетку. Под решеткой находится барботер. Поднимающиеся потоки газа приводят в движение чеснок в емкости, ускоряя отделение и отмочку загрязнений. С решетки, которая находится под углом, овощи перемещают на роликовый транспортер, где происходит процесс отделения и разрушения загрязнений от плодов за счет взаимодействия плодов при их вращении на роликовом конвейере. Плоды при удалении из емкости перед подачей на лоток оmyвается струями очищенной воды, которую подают из насадок щелевых коллекторов.

Затем мытый чеснок подвергают инспекции и сортированию, которые проводят вручную на сортировочно-инспекционном транспортере. Одновременно с сортированием проводится инспекция плодов, при которой отделяют испорченные экземпляры (поврежденные, загнившие, битые, сильно загрязненные, заплесневелые), предметы и посторонние примеси. Обработанный чеснок очищают чешуи. Затем продукт нарезают пластинами толщиной 3 мм.

Нарезание чеснока на пластины больше, чем 3 мм толщины, например, 4 мм, значительно увеличивает продолжительность сушки и снижает производительность линии.

Нарезание чеснока на пластины меньшей, чем 3 мм толщины, например, 2,0 мм приводит к сильному короблению чеснока, что усложняет его дальнейшую обработку.

Затем нарезанные пластины чеснока подвергают комбинированной СВЧ-конвективной сушке. Причем нагрев чеснока проводят путем воздействия на продукт сверхвысокочастотного электромагнитного поля частотой 2450 МГц при одновременном конвективным обдуве воздухом с

начальной температурой 293 К в три временных этапа.

Выбор частоты колебания сверхвысокочастотного электромагнитного поля равным 2450 МГц обусловлен тем, что на эту частоту приходится максимум электромагнитной энергии и эта частота соответствует максимальной поглощательной способности продукта. Если нагревать продукт сверхвысокочастотным электромагнитным полем с частотой менее, чем 2450 МГц, например 2250 МГц, то этой частоты будет недостаточно для нагрева продукта. Если частота сверхвысокочастотного электромагнитного поля будет превышать 2450 МГц, например 2650, то это вызовет его подгорание [128].

Одновременно с СВЧ-нагревом чеснок обдувают воздухом с начальной температурой 293 К для удаления испаряемых из продукта водяных паров.

Выбор начальной температуры воздуха 293 К обусловлен тем, что забор воздуха осуществляется из производственных помещений, в которых поддерживается, как правило, именно эта температура.

Использование в качестве теплоносителя воздуха с начальной температурой более 293 К, например, 303 К, вызовет необходимость установки калорифера для дополнительного нагрева воздуха, что может ухудшить качество готового продукта из-за его перегрева, повысить себестоимость выпускаемой продукции и увеличит объем капитальных вложений вследствие установки дополнительного оборудования (калорифера).

Использование в качестве теплоносителя воздуха с начальной температурой менее 293 К, например, 283 К, вызовет необходимость установки охладительных устройств для дополнительного охлаждения воздуха, что при СВЧ-сушке может вызвать ненужное чрезмерное охлаждение продукта и приведет к возрастанию энергозатрат и увеличению себестоимости выпускаемой продукции.

Сущность выбора ступенчатых режимов комбинированной СВЧ-конвективной сушки чеснока заключается в разделении процесса сушки на

три разных по времени этапа, на каждом из которых в зависимости от закона изменения влажности чеснока в текущий момент определяется свой рациональный технологический режим сушки, т. е. температура нагрева пластин чеснока сверхвысокочастотным электромагнитным полем и их обдув со скоростью теплоносителя (воздушного потока с начальной температурой 293 К) принимали неизменные значения, величины которых выявили экспериментально. При этом их подбор на каждом этапе необходимо проводить в совокупности с ограничениями, зависящие от технологических требований на качество готового продукта.

На первом временном этапе порезанные пластины чеснока толщиной 3 мм нагревают сверхвысокочастотным электромагнитным полем до температуры 300 К при совокупном обдуве потоком воздуха в течение 7,5 мин со скоростью потока воздуха 0,9 м/с (рисунок 6.4). В результате этого испаряется физико-механическая влага, т. е. влага смачивания и влага макро- и микрокапилляров. Главным параметром, оказывающим влияние на интенсивность удаления влаги в этот период, является скорость потока воздуха. Поэтому наиболее рационально в начале процесса использовать сушку с повышенной скоростью теплоносителя и невысокой температурой нагрева продукта. Данному требованию наиболее полно подходит сушка на первом этапе.

Нагрев продукта до меньшей температуры, чем 300 К, например 295 К снизит эффективность испарения физико-механической влаги. Нагрев продукта до большей температуры, чем 300 К, например 305 К, приведет к чрезмерному перегреву продукта и снижению его качества из-за разложения ценных термолабильных веществ (витаминов, моносахаров, аминокислот и др.).

Обдув продукта воздушным потоком со скоростью, меньшей, чем 0,9 м/с, например, 0,7 м/с, снизит эффективность удаления испаряемых водяных паров, а, следовательно, уменьшит эффективность теплообмена процесса сушки. Обдув продукта воздушным потоком со скоростью,

большей, чем 0,9 м/с, например, 1,1 м/с, приведет к пересушиванию поверхностных слоев чеснока и образованию корочки на поверхности чеснока, что затруднит удаление испаряемой влаги.

Продолжительность первого временного этапа (7,5 мин) определена экспериментально в результате анализа полученных кривых сушки. Использование большей продолжительности первого временного этапа, например, 9 мин, приведет к пересушиванию поверхностных слоев чеснока и затруднению удаления влаги, содержащейся в центральных слоях чеснока. Использование меньшей продолжительности первого временного этапа, например, 6 мин, приведет к тому, что не вся физико-механическая влага будет удалена из чеснока, что повлечет за собой увеличение продолжительности последующих временных этапов сушки и ухудшению качества готового сушеного чеснока.

На втором временном этапе предварительно подсушенные пластины чеснока нагревают сверхвысокочастотным электромагнитным полем до температуры 316 К при совокупном обдуве потоком воздуха в течение 12 мин со скоростью потока воздуха 0,7 м/с (рисунок 6.4). По мере испарения физико-механической влаги скорость потока воздуха, как основной фактор интенсивности сушки, теряет свое преимущество. Поэтому на втором этапе сушку предпочтительнее продолжать при уменьшающейся скорости и поднимающейся температуре потока воздуха. В связи с тем, что на интенсивность удаления осмотической (внутриклеточной) и полиадсорбционной влаги наибольшее влияние оказывает температура, как фактор, определяющий интенсивность внутреннего влагопереноса, то продукт нагревают сверхвысокочастотным электромагнитным полем до температуры 316 К. Нагрев продукта до меньшей температуры, чем 316 К, например, 310 К, снизит эффективность испарения осмотической и полиадсорбционной влаги. Нагрев продукта до большей температуры, чем 316 К, например, 322 К, приведет к чрезмерному перегреву продукта и снижению его качества из-за разложения ценных термолабильных веществ

(витаминов, моносахаров, аминокислот и др.). Обдув продукта воздушным потоком со скоростью меньшей, чем 0,7 м/с, например, 0,4 м/с, не обеспечит полного удаления испаряемых водяных паров, а, следовательно, снизит эффективность тепломассообмена процесса сушки. Обдув продукта воздушным потоком со скоростью, большей, чем 0,7 м/с, например, 1,0 м/с, приведет к пересушиванию поверхностных слоев чеснока и образованию корочки на поверхности чеснока, что затруднит удаление испаряемой влаги.

Продолжительность второго временного этапа (12 мин) определена экспериментально в результате анализа полученных кривых сушки. Использование большей продолжительности второго временного этапа, например 17 мин, приведет к пересушиванию поверхностных слоев чеснока и затруднению удаления влаги, содержащейся в центральных слоях чеснока. Использование меньшей продолжительности второго временного этапа, например 7 мин, приведет к тому, что не вся осмотическая и полиадсорбционная влага будет удалена из чеснока, что повлечет за собой увеличение продолжительности последующих временных этапов сушки и ухудшению качества готового продукта.

На третьем временном этапе предварительно подсушенные пластины чеснока нагревают сверхвысокочастотным электромагнитным полем до температуры 320 К при совокупном обдуве потоком воздуха в течение 20 мин со скоростью потока воздуха 0,5 м/с (рисунок 6.4). По мере уменьшения количества осмотической влаги скорость теплоносителя, как главный фактор интенсивности сушки, теряет свое преимущество. В связи с тем, что на интенсивность удаления моноадсорбционной влаги наибольшее влияние оказывает температура, как фактор, определяющий интенсивность внутреннего влагопереноса, то продукт нагревают сверхвысокочастотным полем до температуры 320 К. Нагрев продукта до меньшей температуры, чем 320 К, например, 315 К, снизит эффективность испарения моноадсорбционной влаги. Нагрев продукта до большей температуры, чем 320 К, например, 325 К приведет к чрезмерному перегреву продукта и

снижению его качества чеснока из-за разложения ценных термолабильных веществ.

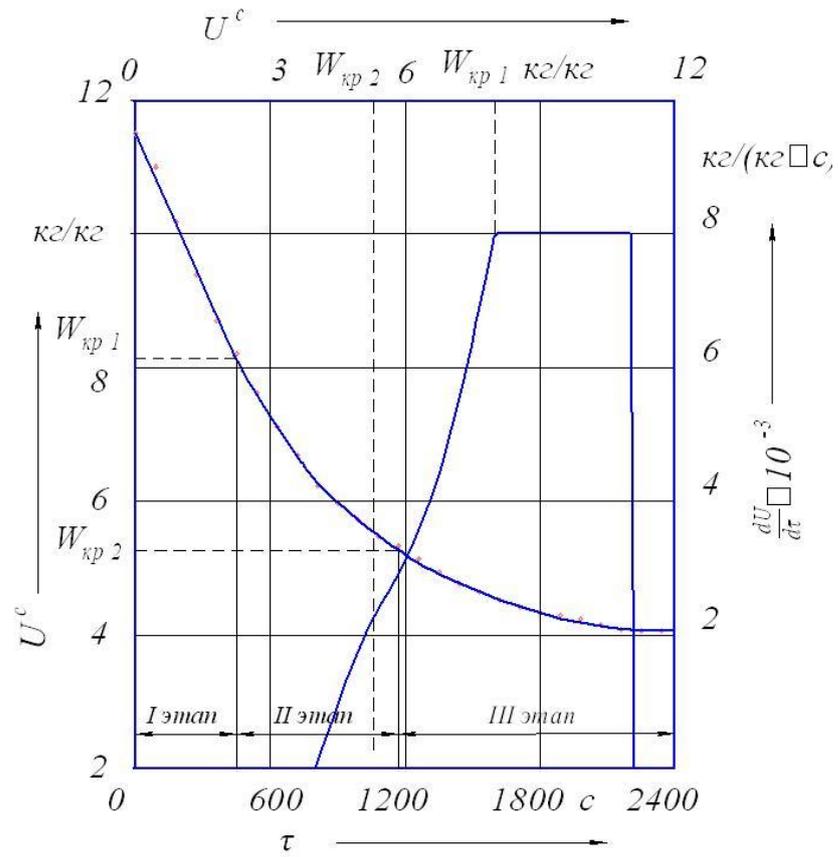
Обдув продукта воздушным потоком со скоростью меньшей, чем 0,5 м/с, например, 0,3 м/с, не обеспечит полного удаления испаряемых водяных паров, а, следовательно, снизит эффективность теплообмена процесса сушки. Обдув продукта воздушным потоком со скоростью, большей, чем 0,5 м/с, например, 0,7 м/с, приведет к пересушиванию поверхностных слоев чеснока и образованию корочки на поверхности чеснока, что затруднит удаление испаряемой влаги.

Продолжительность третьего временного этапа (20 мин) определена экспериментально в результате анализа полученных кривых сушки. Использование большей продолжительности третьего временного этапа, например, 25 мин, приведет к пересушиванию поверхностных слоев чеснока и затруднению удаления влаги, содержащейся в центральных слоях чеснока. Использование меньшей продолжительности третьего временного этапа, например, 15 мин, приведет к тому, что не вся моноадсорбционная влага будет удалена из чеснока, что повлечет за собой увеличение продолжительности последующих временных этапов сушки и ухудшению качества сушеного чеснока.

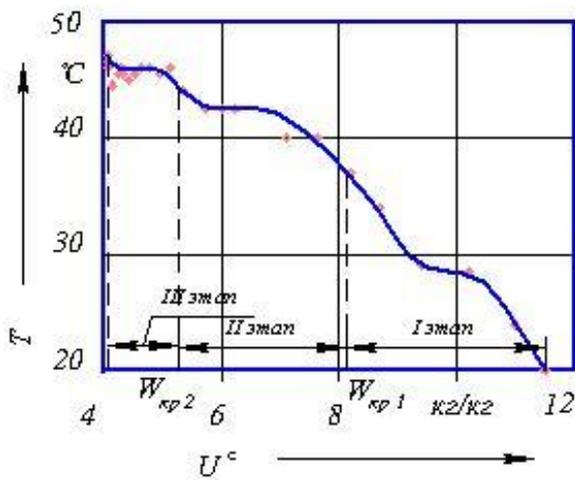
Адаптированный в соответствии с основными кинетическими закономерностями процесса сушки подвод теплоносителя на трех этапах сушки продукта позволяет выбрать рациональные режимы сушки с учетом изменения влагосодержания продукта по ходу процесса сушки.

Затем на высушенные до конечной влажности 8 % пластины чеснока перемалывают.

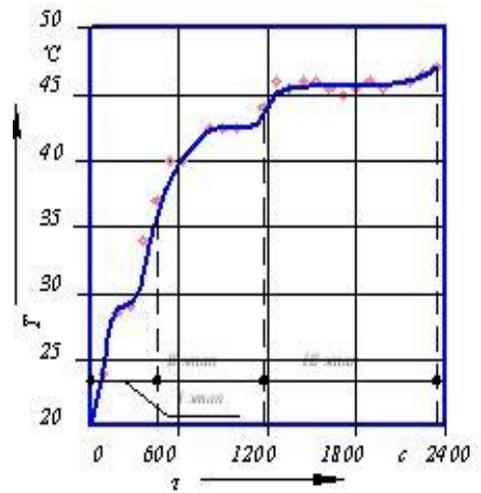
На рисунок 6.4 приведены основные кинетические закономерности процесса СВЧ-конвективной сушки чеснока: а кривая скорости сушки, кривая сушки; б – температурная кривая; в – кривая термограммы.



a



б



в

Рисунок 6.4 - Кинетические зависимости комбинированного режима процесса сушки чеснока: а – кривые скорости сушки и кривые сушки, б – температурные кривые, в – кривые термограммы.

6.5. Оценка энергетической эффективности процесса сушки специй посредством эксергетического анализа

В условиях сохранения энергоресурсов на данный момент имеет особое экономическое значение. Для разработки ресурсосберегающих технологий, совершенствования технологического и энергетического оборудования нужны показатели эффективности энергии и качества ее использования. В результате чего, основной задачей исследований является оценка термодинамического совершенства работы теплотехнологической системы, сравнение ее с существующими в промышленности образцами и нахождение «узких» мест для модернизации технологии.

Выполнение эксергетического анализа разрабатываемой технологии производства сушеных специй выполняли по методике [6]. Соответствуя данной методике, технология представлялась в виде теплотехнологической системы (рисунок 6.5), условно отделив её замкнутой контрольной плоскостью от окружающей среды. Внутри системы выделены контрольные плоскости с учетом проходящих теплообменных процессов:

- I Мойка
- II Резка
- III Очистка
- IV Сушка
- V Измельчение

Схемы обмена рассматриваемых теплотехнологических систем сушки специй энергетическими потоками, материальными и тепловыми с окружающей средой, а также между контрольными поверхностями показана на рисунке 6.6.

Технология-прототип состоит из ряда схожих операций [68]. В отличие от технологии-прототипа в рассматриваемой технологии используется комбинированная СВЧ-конвективная сушилка на этапе сушки, рабочий цикл

в которой состоит из поочередно протекающих процессов СВЧ-нагрева и конвективного охлаждения.

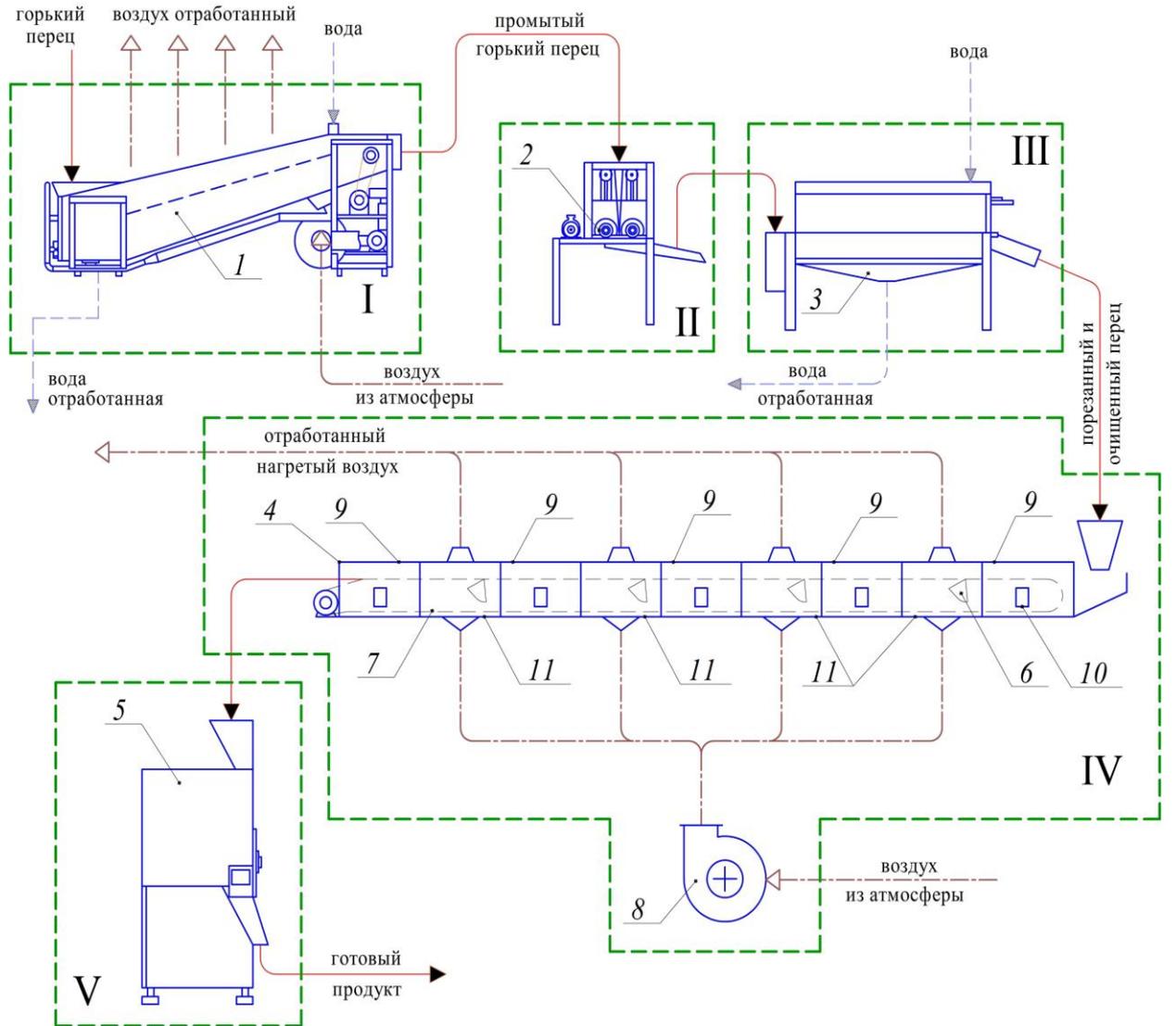


Рисунок 6.5 - Схема технологического процесса: \longrightarrow – продукт; \dashrightarrow – вода; \dashrightarrow – воздух; \dashrightarrow – разделительных поверхностей.

Эксергия энергетических и материальных потоков, а также внешние и внутренние эксергетические потери, составляют эксергетический баланс теплотехнологической системы производства сушеных специй (таблица 6.1). Наименование потоков показано в таблице 6.2 (рисунок 6.7). При разработке эксергетической диаграммы Грассмана-Шаргута (рисунок 6.7) в качестве единого эксергетического параметра выбрана эксергетическая мощность E , кДж/ч.

Таблица 6.1 - Эксергетический баланс исследуемой линии получения сушеного горького перца

Контрольная поверхность	Подвод эксергии				Отвод и потери эксергии			
	Наименование	Обозначение	E , кДж/ч	% суммарной эксергии	Наименование	Обозначение	E , кДж/ч	% суммарной эксергии
I	Мойка	E_I^B	0	0	Внутренние потери	D_I^i	13076	20,76
		$E_I^{пер}$	1395	2,21	Внешние потери (отработанный воздух)	D_I^{e1}	0	0
		$E_I^{возд}$	0	0	Внешние потери (отработанная вода)	D_I^{e2}	324	0,51
		E_I^M	14400	22,86				
II	Резка	E_{II}^M	13000	20,64	Внутренние потери	D_{II}^i	12000	19,05
III	Очистка	E_{III}^M	5400	8,57	Внутренние потери	D_{III}^i	4797	7,61
		E_{III}^B	0	0	Внешние потери	D_{III}^e	603	0,96
IV	Сушка	$E_{IV}^{возд}$	0	0	Внутренние потери	D_{IV}^i	12327	19,57
		E_{IV}^{M1}	3600	5,71	Внешние потери	D_{IV}^e	2582	4,10
		E_{IV}^{M2}	5400	8,57				
		E_{IV}^{M3}	14400	22,86				
V	Измельчение	E_V^M	5400	8,57	Готовый продукт	$E^{тп}$	10721	17,02
					Внутренние потери	D_V^i	5856	9,30
					Внешние потери	D_V^e	709	1,13
И Т О Г О:			62995	100	–	–	62995	100
Эксергетический КПД:			$\eta_{экс} = E^{тп} / \sum E_i^3 = 17,02\%$					

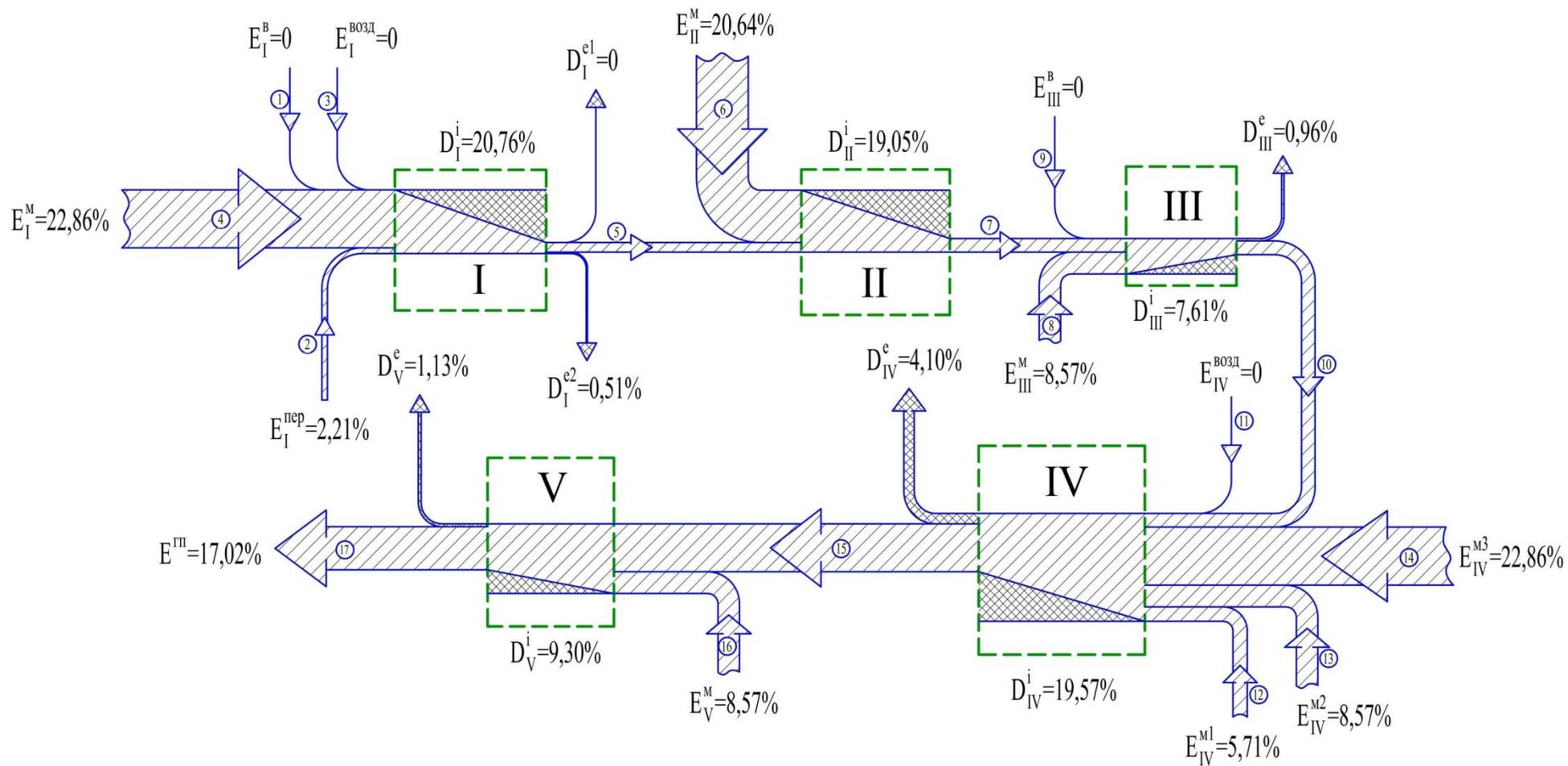


Рисунок. 6.7 - Диаграмма Грассмана-Шаргута для исследуемой технологии. I-V – номера контрольных поверхностей.

Таблица 6.2 - Наименование потоков на диаграмме Грассмана-Шаргута изучаемой технологии

№ потока	Обозначение потока	E , кДж/ч
1	Вода	0
2	Горький перец	1395
3	Воздух из атмосферы	0
4	Привод	14400
5	Промытый горький перец	–
6	Привод	13000
7	Порезанный горький перец	–
8	Привод барабана	5400
9	Вода	0
10	Очищенный горький перец	–
11	Воздух из атмосферы	0
12	Привод транспортера	3600
13	Привод вентилятора	5400
14	Электроэнергия магнетронов	14400
15	Высушенный продукт	–
16	Привод дробилки	5400
17	Готовый продукт	10721

6.6. Расчет ожидаемого экономического эффекта от использования комбинированной СВЧ-конвективной сушилки при производстве сушеных специй

При проведении маркетингового исследования выявлено, что в настоящее время в Воронежской области нет предприятий, использующих в производстве комбинированной СВЧ-конвективной сушилки, в том числе и при производстве сушеных специй.

Сложившиеся закономерности изменяющейся окружающей среды, инвестиционной политики области, определяющие скорость увеличения регионального, местного рынка, увеличение направленности на качество выпускаемой готовой продукции в границах продовольственной

безопасности Российской Федерации требуют от отраслевых предприятий производства инновационного продукта с использованием инновационных технологий, соответствующих потребностям современного потребителя [81].

Исследования подтвердили, что на отраслевом рынке сушеных специй местного производства не реализуется, что обуславливает потребность в инновационной технологии на региональном рынке. Рынок специй характеризуется стабильными, высокими темпами роста в натуральном выражении. Главной причиной сложившейся ситуации является увееличение потребления продуктов. Величина рынка в 2010 г. составляла около 120 тыс. т, в 2011 – 142,2 тыс. т, а в 2012 г. – 158,5 тыс. т., что на 38,5 тыс. т больше по сравнению с 2010 г. По прогнозам, прирост рынка в перспективе составит около 20 % в год. Однако для более эффективного функционирования отраслевых технологий необходимо использование инновационных, ресурсосберегающих техники и технологий, к которым относится, в том числе, комбинированная СВЧ-конвективная сушилка

Реализация сушеных специй с использованием комбинированной СВЧ-конвективной сушилки планируется крупных городах Центрального Черноземья и в Воронежской области и, а также – в северных регионах Российской Федерации.

Для выявления времени окупаемости затрат на реализацию проекта и экономического эффекта за год, в котором обосновывается целесообразность данного мероприятия по замене существующего оборудования – микроволновая сушилка «Муссон – 2 модульный» на комбинированную СВЧ-конвективную сушилку при производстве сушеных специй использованы следующие исходные данные, представленные в таблице 6.3.

Таблица 6.3 - Начальные нормативные величины для расчета

Обозначение показателей	размерность измерения	Варианты сушки продуктов					
		Базовый			Проектируемый		
		горький перец	чеснок	горчи- ный жмых	горький перец	чеснок	горчи- ный жмых
Производительность по готовому продукту	кг./ч	48			80		
Себестоимость продукта	р./кг.	365	260	195	320	215	170
Цена продукта	р./кг.	500	350	250	500	350	250
Установленная мощность оборудования	кВт	16,0			6,5		
Количество смен в году	смен	496			496		
Стоимость 1 кВтч электроэнергии	р.	6,0			6,0		
Срок службы до первого капремонта	лет	3			5		
Стоимость 1 м ³ производственных помещений	р.	15000			15000		
Норма амортизационных отчислений для оборудования	%	14			14		
Амортизация, текущий ремонт, содержание здания	%	4,4			4,4		
Норма расходов на содержание, текущий ремонт оборудования	%	6,0			6,0		

Предполагается, что рекомендуемое оборудование для производства сушеных специй будет иметь следующие преимуществами по сравнению с базовым:

- ✓ Повышение скорости процесса удаления влаги в совокупности с основными кинетическими зависимостями за счет применения комбинированного энергоподвода к обрабатываемым плодам;
- ✓ получение равномерной сушки в результате применения мягких, щадящих способов обработки при использовании инновационного оборудования;
- ✓ осуществление непрерывной работы и уменьшение времени простоев при изготовлении специй;

✓ уменьшение трудоемкости и времени процесса сушки, что приводит к увеличению объема производимой продукции и эффективности использования производственной мощности

✓ улучшение качества получаемых специй за счет создания комбинированного, рационального теплового воздействия на перерабатываемый продукт;

✓ увеличение конкурентоспособности производимой продукции и части присутствия на специализированном рынке, и как следствие обеспечение адаптивности и устойчивости развития предприятия.

6.7.1. Расчет капиталовложений

Капитальные затраты (К), тыс. р., на внедрение проекта, конструирование и проектирование направлены на монтаж и приобретение СВЧ-конвективной сушилки [102].

Величина стоимости базовой сушилки – сушилки «Муссон – 2 модульный» показана в таблице 6.4.

Таблица 6.4 - Стоимость базового оборудования

Наименование оборудования	Стоимость, р.	Транспортно монтажные работы (10%), р.	Итого, р.
«Муссон – 2 модульный»	797600,00	79760,00	877360,00

Стоимость внедряемого оборудования для производства сушеных специй в рублях приведена в таблице 6.5.

Затраты на проектирование рассчитаем, исходя из трудоемкости проектируемых работ, приведены в таблице 6.6.

$$K_{\Pi} = T_{\Pi} \cdot C_{\text{чч}}, \quad (6.1)$$

где T_{Π} – трудоемкость проектных работ, чел·ч; $C_{\text{чч}}$ – средняя стоимость одного человека-часа, р.

Таблица 6.5 - Расчет материальных затрат на оборудование комбинированной СВЧ-конвективной сушилки

Наименование материальных и топливно-энергетических элементов	Единицы измерения	Цена, р.	Расход	Сумма, р.
Сталь нержавеющая 08Х18Н10 для корпуса сушильной установки (1мХ2м; толщина листа 2мм)	лист	24200	8	193600
Уголок 25×25×3	кг	289	300	86700
Вентилятор ВЦ 24-12, правый	шт	5000	1	5000
Блок управления магнетроном	шт	5000	5	25000
Привод транспортера	шт	20000	1	20000
Шкаф автоматического управления	-	-	-	40000
Всего (Z_m)				370300

Таблица 6.6 - Расчет трудозатрат и средств на оплату труда

Вид работ	Трудоемкость, чел/ч	Разряд	Часовой тариф, р.	Оплата труда, р.
Сварочные	2	5	120	240
Слесарные	3	6	150	450
Сборочные	2	5	130	260
Итого (Z_{mp})				950

Однако значение данного показателя должно быть скорректировано с учетом начислений и дополнительной заработной платы:

$$Z_o = Z_{mp} \cdot K_z, \quad (6.2)$$

где K_z – коэффициент, учитывающий дополнительную зарплату и начисления. В расчетах следует использовать $K_z = 2,0$.

$$Z_o = 950 \cdot 2 = 1900 \text{ р.}$$

Полная себестоимость изготовления оборудования составит:

$$C_{пол} = (1 + K_n) \cdot (Z_m + Z_o), \quad (6.3)$$

$$C_{пол} = (1+2,0) \cdot (370300 + 1900) = 1116600 \text{ р.}$$

где K_n – коэффициент, учитывающий накладные расходы ($K_n = 2,0 - 3,0$).

Поскольку сушилку, рекомендуется собирать собственными силами, то ее стоимость приравнивается по полной себестоимости затрат на сборку, в

данном случае $K_{\delta} = C_{пол}$.

На протяжении проектирования (В) 10 рабочих дней и рабочего дня 8 часов, четверо проектировщиков имеют трудоемкость:

$$T_n = 4 \cdot B \cdot 8 = 4 \cdot 10 \cdot 8 = 320 \text{ чел}\cdot\text{ч}; \quad (6.4)$$

Тогда, $K_n = 320 \cdot 190 = 60800 \text{ р.}$

$$K = C_{пол} + K_n, \quad (6.5)$$

$K = 1116600 + 60800 = 1177400 \text{ р.}$

Производительность внедряемой установки составляет:

$$B_1 = 0,048 \cdot 7,5 \cdot 496 = 178,56 \text{ т/год};$$

$$B_2 = 0,080 \cdot 7,5 \cdot 496 = 297,60 \text{ т/год},$$

где 7,5 – время работы оборудования в смену, ч;

496 – количество смен в году.

Коэффициент, учитывающий увеличение производительности оборудования, $B_2/B_1 = 297,60 / 178,56 = 1,67 \cdot 100 = 166,67 \%$.

Затраты на эксплуатацию составляют: расходы на содержание рабочей силы; затраты на электроэнергию; амортизационные отчисления на капитальный ремонт аппаратов; расходы на текущий ремонт и содержание оборудования; расходы на амортизацию, текущий ремонт и аренда производственных помещений [30, 97, 98].

1) Расчет расходов на содержание рабочей силы:

При существующем варианте обслуживание оборудования осуществляется двумя инженерами третьего разряда и одним человеком, отвечающим за мойку сырья второго разряда:

$$3 \cdot 15000 \cdot 12 = 540000 \text{ р.}$$

$$540000 \cdot 0,2 = 108000 \text{ р.}$$

$$1 \cdot 12000 \cdot 12 = 144000 \text{ р.}$$

$$144000 \cdot 0,2 = 28800 \text{ р.}$$

В общем на содержание рабочей силы не обходимы расходы:

$$N = (540000 + 108000 + 144000 + 28800) \cdot 0,302 = 247881,60 \text{ р.}$$

$$540000,0 + 108000,0 + 144000,0 + 28800,0 + 247881,6 = 1068681,60 \text{ р.}$$

Проектируемую комбинированную СВЧ-конвективную сушилку предполагается обслуживание одним оператором четвертого разряда:

$$1 \cdot 18000 \cdot 12 = 216000 \text{ р.}$$

$$216000 \cdot 0,2 = 43200 \text{ р.}$$

Все затраты при обслуживании внедряемого аппарата составляет:

$$(216000 + 43200) \cdot 0,302 = 78278,40 \text{ р.}$$

$$216000 + 43200 + 78278,40 = 337478,40 \text{ р.}$$

2) Расчет затрат на электроэнергию:

Затраты на электроэнергию приведены в таблице 6.7.

3) Амортизационные отчисления на капитальный ремонт оборудования:

Размер амортизационных отчислений на капитальный ремонт оборудования для пищевых концентратной промышленности составляет 14 %.

$$\text{Базовый вариант: } 877360,00 \cdot 0,14 = 122830,40 \text{ р.}$$

$$\text{Проектируемый вариант: } 370300,00 \cdot 0,14 = 51842,00 \text{ р.}$$

Таблица 6.7 - Затраты на электроэнергию

Наименование оборудования	Установочная мощность оборудования, кВт	Время работы оборудования в смену, ч	Количество смен в году	Коэффициент использования мощности электродвигателей	Стоимость 1 кВтч электроэнергии, р.	Затраты на один год, р.
1. Базовое: Сушилка «Муссо - 2» модульный	16,0	7,5	496	0,85	6,0	303552,0
2. Новое: комбинированная СВЧ-конвективная сушилка Вентилятор Всего:	6,5 1,5	7,5	496	0,85	6,0	123318,0 28458,0 151776,0

4) Сумма расходов на текущий ремонт и содержание оборудования:

Норма расхода на текущий ремонт и содержание оборудования составит 6 %:

Базовый вариант:

$$877360,00 \cdot 0,06 = 52641,60 \text{ р.}$$

Проектируемый вариант:

$$370300,00 \cdot 0,06 = 22218,00 \text{ р.}$$

6.6.2. Расчет экономии текущих затрат при реализации проекта

В таблице 6.8 приведены эксплуатационные затраты при эксплуатации рекомендуемого оборудования:

Годовая экономия по затратам на:

- электроэнергию: $303552,0 - 151776,0 = 151776,00 \text{ р./год}$;

- текущий ремонт и содержание оборудования:

$$52641,60 - 22218,00 = 30423,60 \text{ р./год.}$$

Экономия по данным показателям составит:

$$\text{Э} = 151776,00 + 30423,60 = 182199,60 \text{ р./год.}$$

Вместе с тем, по другим показателям суммарные затраты составляют:

$$731203,20 + 70988,40 = 802191,60 \text{ р./год.}$$

Общая экономия составляет:

$$\text{Э}_T = 802191,60 + 182199,60 = 984391,20 \text{ р./год.}$$

Таблица 6.8 - Эксплуатационные затраты

Статьи затрат	Базовый вариант	Проектируемый вариант	Результат, снижение(-), увеличение(+)
1. Расходы на содержание рабочей силы	1068681,60	337478,40	-731203,20
2. Амортизационные отчисления на капитальный ремонт оборудования	122830,40	51842,00	-70988,40
3. Расходы на текущий ремонт и содержание оборудования	52641,60	22218,00	-30423,60
4. Затраты на электроэнергию	303552,00	151776,00	-151776,00
5. Экономия	-	-	-984391,20

6.7.3. Расчет экономических показателей

Показатель рентабельности продукции:

$$P = (П / С) \times 100 \%,$$

где $П = Ц - С$ – прибыль, р.; $С$ – себестоимость, р.; $Ц$ – цена продукции, р. (планируется, что средняя цена готового продукта ($Ц$) будет равна = 367 р./кг).

Рентабельность продукции в среднем до внедрения проекта:

$$P = ((367,00 - 273,33)/273,33) \times 100 = 34,30 \%$$

Рентабельность продукции в среднем после внедрения проекта:

$$P = ((367,00 - 235,00)/235,00) \times 100 = 56,17 \%$$

Увеличение рентабельности составит 21,87 %.

Себестоимость продукции до реализации проекта в среднем составит 273,33 р./кг, при этом на постоянные расходы приходится 45 % – 122,99 р., переменные расходы составляют 55 % – 150,33 р./кг.

Следовательно, при условии сохранения закупочной цены сырья в среднем размере 367,0 р./кг, себестоимость готового продукта после реализации проекта в среднем составит 235,0 р./кг, что меньше себестоимости до реализации проекта на 38,33 р. или 16,31 %.

Обобщенный результат после реализации внедряемого проекта представлены в таблице 6.9.

Вычисление экономических показателей показывает о целесообразном внедрения новой сушилки, то есть замена базовой сушилки «Муссон – 2 модульный» на разработанную комбинированную СВЧ-конвективную сушилку. Проект доказывает целесообразность, выраженную в снижении затрат на электроэнергию связанную с этапом сушки продукции на 151776,00 р.

Таблица 6.9 - Результаты реализации проекта

Наименование показателя	Величина показателя					
	горький перец		чеснок		горчичный жмых	
	до	после	до	после	до	после
Объем производства, т/год	178,56	297,6	178,56	297,6	178,56	297,6
Цена реализации, р./кг	500	500	350	350	250	250
Себестоимость, р./кг	365	320	260	215	195	170
Стоимость реализованной продукции, тыс. р.	89280	148800	62496	104160	44640	74400
Полная себестоимость продукции, тыс. р.	65174,4	95232,0	46425,6	63984,0	34819,2	50592,0
Прибыль от реализации продукции, тыс. р.	24105,6	53568,0	16070,4	40176,0	9820,8	23808,0
Численность персонала, чел.	3	1	3	1	3	1
Производительность труда, тыс. р.	29760	148800	20832	104160	14880	74400
Стоимость активных фондов, р.	877360	370300	877360	370300	877360	370300
Фондоотдача активной части фондов, р./р.	0,102	0,402	0,071	0,281	0,051	0,201
Рентабельность продукции, %	36,99	56,25	34,62	62,79	28,21	47,06
Срок окупаемости проекта, мес.	–	0,08	–	0,11	–	0,19

В результате, по проекту сокращение эксплуатационных затрат составит 30423,60 р. Эффективность экономических показателей составит примерно 105,81 р. на один рубль капитальных вложений, что приводит к окупаемости затраты менее чем за 1 месяц. Следует отметить, что будет достигнут также социальный эффект, выраженный в увеличении качества готовых продуктов, усовершенствовании условий и безопасности труда обслуживающего персонала.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Плоды горького перца, чеснока и горчичного жмыха изучены как объекты исследования. Определены коэффициент теплопроводности, температуропроводности и теплоемкости методом нестационарного теплового режима для интервала температур 293...348 К. Установили, что с повышением температуры теплофизические характеристики плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха увеличиваются. В результате дифференциально-термического анализа выявили формы связи влаги в продукте и температурные интервалы, соответствующие испарению влаги с различной формой связи.

2. Исследовали кинетику процесса комбинированной СВЧ-конвективной сушки специй при стационарных режимах и следующих технологических параметрах: скорость теплоносителя 0,338...1,535 м/с, температура потока воздуха 293 К, мощность магнетрона 600...800 Вт и частота электромагнитного поля 2450 МГц.

3. В зависимости от формы связи влаги в продукте и изученных стационарных режимах были разработаны и обоснованы оптимальные ступенчатые режимы сушки специй из плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха.

4. Исследованы диэлектрические характеристики среды, определен коэффициент диэлектрических потерь плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха.

5. Определена антиоксидантная активность и активность воды в плодах горького перца, чеснока и горчичного жмыха, показатели качества свежих высушенных по предлагаемой технологии горького перца, чеснока и горчичного жмыха. Выявлено, что готовые специи из плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха обладают высокими потребительскими

свойствами и обладают большим количеством ценных термолабильных веществ (витаминов, минералов веществ и аминокислот).

6. Разработана математическая модель процесса СВЧ-конвективной сушки специй, в которой описывается изменения температуры и влагосодержания в первом и втором периодах сушки.

7. Разработана технологическая линия, технология и конструкция аппарата для производства специй из плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха.

8. Проведена оценка энергетической эффективности разработанной технологической линии по производству специй, методом эксергетического анализа. Эксергетический КПД равен 17,02 %, что значительно выше, чем при использовании технологии-прототипа, включающей ленточную конвективную сушилку, на 7,8 %.

9. Проведены производственные испытания способа получения специй на ООО «Живица»

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Альтман Дж.** Устройства СВЧ [Текст] / Дж Альтман, Мир - Москва, 2010. - 488 с.
2. **Архангельский Ю.С.** Аналитический обзор применения СВЧ электротехнологических установок / Ю.С. Архангельский, С.В. Тригорлый // Электротехнология на рубеже веков: сб. науч. ст. по материалам конф. / СГТУ Саратов, 2001.-С. 16-19.
3. **Афанасьев А.М.** Математическое моделирование професов тепло- и массопереноса при воздействии интенсивного СВЧ излучения на влагосодержащие объекты слоистой структуры / А. М. Афанасьев // диссертация канд. физ. – мат. наук, – Волгоград, 2002 – 176 с.
4. **Березин, В.М** Электронные приборы СВЧ [Текст] / В.М.Березин, В.С.Буряк, Э.М. Гутцайт, [и др.] - М.: Высшая школа, 2012. – 296 с.
5. **Богатырева Т.Г.** Технологии пищевых продуктов с длительными сроками хранения [Текст] / Т.Г. Богатырева, Н.В Лабутина. – СПб.: Профессия, 2013. – 184 с.
6. **Бродянский, В.М.** Эксергетический метод и его приложения [Текст] / В.М. Бродянский, В. Фатшер, К. Михалек. – Под ред. В.М. Бродянского. – М.: Энергоатоиздат, 1988. – 288 с.
7. **Будников, Д.А.** Интенсификация сушки зерна активным вентилированием с использованием электромагнитного поля СВЧ / Д.А. Будников // диссертация канд. техн. наук, – зерноград, 2008 – 164 с.
8. **Бузетти, К.Д.** Технология сушки : [учебник] / Г.Д. Кавецкий, К.Д. Бузетти .— М. : КолосС, 2012. – 256 с.
9. **Васильев, В. Н.** Технология сушки. Основы тепло- и массопереноса [Текст] / В. Н. Васильев, В. Е. Куцакова, С. В. Фролов. – СПб.: ГИОРД, 2013. – 224 с.

10. **Ваншин, В.В.** Технология пищевого концентрата производства [Текст]: учеб. пособие / Е.А. Ваншина, В.В. Ваншин. – Оренбург : ОГУ, 2012 – 180 с.
11. **Вольман В.И.** Справочник по расчету и конструированию СВЧ полосковых устройств [Текст] / В.И. Вольман – Москва, 2011. – 527 с.
12. **Вытовтов, А.А.** Теоретические и практические основы органолептического анализа продуктов питания [Текст] / Вытовтов, А.А. – СПб.: ГИОРД, 2010. – 232 с.
13. **Галынкин, В.А.** Микробиологические основы ХАССП при производстве пищевых продуктов [Текст] / Галынкин В. А., Заикина Н. А., Карцев В. В., Шевелева С. А., Белова Л. В., Пушкарев А. А. – М.: Проспект Науки, 2011 – 288 с.
14. Гигиенические требования к качеству и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов [Текст]: СанПиН 2.3.2.1078-01 п. 6.6.1. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 269 с.
15. **Гинзбург, А.С.** Теплофизические характеристики пищевых продуктов: Справочник [Текст] / А. С. Гинзбург, М. А. Громов, Г. И. Красовская. – М.: Агропромиздат, 1990. – 287 с.
16. **Гореньков, Э.С.** Технология консервирования растительного сырья [Текст] / Э. С. Гореньков, А. Н. Горенькова, О. И. Кутина, Т. В. Шленская – СПб.: ГИОРД, 2014. – 320 с.
17. Горький перец [Электронный ресурс]. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Горький_перец.
18. Горчица сарептская [Электронный ресурс]. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Горчица_сарептская.
19. [ГОСТ 13979.0-86. Жмыхи, шроты и горчичный порошок. Правила приемки](#) и методы отбора проб. [Текст]. – Введ. 1986 – 12 – 12. – М.: Госстандарт СССР: Изд – во стандартов, 1988. 5 с.
20. **ГОСТ 14260 - 89.** Плоды перца стручкового. Технические условия [Текст]. – Введ. 1990 – 01 – 01. – М.: Госстандарт СССР: Изд – во

стандартов, 1989. 9 с.: ил.; 25 см.

21. [ГОСТ 16729 - 71. Чеснок сушеный. Технические условия.](#) [Текст]. – Введ. 1971 – 09 – 01. – М.: Госстандарт СССР: Изд – во стандартов, 1971. 4 с.

22. [ГОСТ 27569 - 87: Чеснок свежий реализуемый. Технические условия](#) [Текст]. Введ. 1987 – 12 – 24. – М.: Госстандарт СССР: Изд – во стандартов, 1990. – 7 с.

23. **ГОСТ 28875 - 90.** Пряности. Приемка и методы анализа [Текст]. – Введ. 1991 – 07 – 01. – М.: Госстандарт СССР: Изд – во стандартов, 1991. 19 с.

24. **Гуляев, В.Н.** Справочник технолога пищевого концентратного и овощесушильного производства [Текст] / В.Н. Гуляев, Н.В. Дремина, З.А. Кац [и др.]. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 488 с.

25. **Гуляев В.Н.** Сушеные овощи и фрукты [Текст] / В.Н. Гуляев. – М.: Пищ. пром-ть, 1980. – 190 с.

26. **Гуйго, Э.И.** Сублимационная сушка пищевых продуктов [Текст] / Гуйго Э. И., Журавская Н. К., Каухчешвили Э. И. – М.: Пищевая промышленность, 2011. – 360 с.

27. **Данилин А. А.** Измерения в технике СВЧ [Текст] / А.А. Данилин – М.: Радиотехника, 2011. – 184 с.

28. **Донченко Л.В.** Безопасность пищевого сырья и продуктов их переработки/ Донченко Л.В., Надыкта В.Д. – М.: Пищепромиздат, 1999. – 356 с.

29. **Дорохин Р.В.** Комплексная оценка качества сушеного горького перца [Текст] / Дорохин Р.В. // Аграрный вестник Урала. – 2013. – № 1. – С. 40-42.

30. **Дубцов, Г.Г.** Товароведение пищевых продуктов [Текст] / Дубцов Г. Г. – М.: Академия, 2013. – 264 с.

31. **Дунаева Т. Ю.** Применение методов математического моделирования для оптимизации сушильных установок СВЧ

диэлектрического нагрева / Т.Ю. Дунаева // Вестник Саратовского государственного технического университета. Саратов, 2006. – № 1(10). – С. 137-141.

32. **Диденко А. Н.** СВЧ-энергетика. Теория и практика [Текст] / А.Н. Диденко – М.: Наука, 2013. – 448 с.

33. **Ершов, В.Д.** Комплексная механизация производственных процессов в общественном питании. Часть I Комплексная механизация технологических процессов [Текст] / Ершов, В.Д. – СПб.: ГИОРД, 2012. – 224 с.

34. **Замвальд, А.** Сушка фруктов, овощей, зелени: пер. с немецкого языка [Текст] / А. Замвальд – издательство АСТ, Астрель, 2002. – С. 128.

35. **Иванова, Л.** Пряности. Специи. Приправы [Текст] / Л. Иванова – Смоленск: Русич, 1999. – 624 с.

36. Инновационные технологии переработки плодоовощной продукции [Текст] / С. Родригес, Ф. А. Н. Фернадес. Пер. с английского язык. – СПб.: Профессия, 2014. – 456 с.

37. Информационный обзор новости АПК : Россия и мир: итоги, прогнозы, события, Мониторинг СМИ 22. 12.2012.

38. **Исупов, В. П.** Пищевые добавки и пряности [Текст] / Исупов, В. П. – СПб.: ГИОРД, 2000. – 176 с.

39. **Калашников, Г. В.** Ресурсосберегающие технологии пищевых концентратов [Текст] / Г. В. Калашников, А. Н. Остриков. – Воронеж: ВГУ, 2001. – 355 с.

40. **Касторных, М.С.** Товароведение и экспертиза пищевых жиров, молока и молочных продуктов [Текст]/ М.С. Касторных, В.А. Кузьмина, Ю.С. Пучкова – М.: Дашков и Ко, 2012. - 328 с.

41. **Касьяненко, В.П.** Обеззараживание зерна и комбикормов в поле СВЧ / В.П. Касьяненко // диссертация канд. техн. наук – Москва, 2002 – 107 с.

42. **Касьяненко, Т.Г.** Теория и практика оценки машин и оборудования [Текст]: Учебник для вузов / Т.Г. Касьяненко, Г.А. Маховиков. – М.: Феникс, 2009 – 592 с.

43. **Керженцев, В.А.** Технологическое оборудование пищевых производств. Ч. 3. Дозировочное и упаковочное оборудование : конспект лекций / В.А. Керженцев. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2010. – 76 с.

44. **Красников, В. В.** Моделирование качества продуктов и управления условиями их термообработки и хранения [Текст] / В. В. Красников // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 1994. – № 2. – С. 57-60.

45. **Крахмалева, Т.М.** Пищевая химия : учеб. пособие / Э.Ш. Манеева, Т.М. Крахмалева. — Оренбург : ОГУ, 2012. – 154 с.

46. **Куницына, М.** Справочник технолога плодоовощного производства [Текст] / М. Куницына – С.-Пб.: ПрофиКС, 2001. – 478 с.

47. **Левенсон, Л.Б.** Кинематика механизмов; Госмашметиздат; Издание 4-е, перераб. и доп. – Москва, 2010. – 480 с.

48. Лекции по СВЧ электронике для физиков [Текст]: в 2 т. / Д. И. Трубецков, А. Е. Храмов – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. – 1144 с.

49. Лук, чеснок, острый перец [Текст]: / В. М. Рошаль. – М.: ЭКСМО-Пресс, 2002. – 61 с.

50. **Лыков, А. В.** Тепломассообмен [Текст] / А. В. Лыков. – М.: Энергия, 1978. – 479 с.

51. **Маликов, М.Ф.** Точные измерения; М.: Стандартгиз - Москва, 2010. – 134 с.

52. **Мармузова, Л.В.** Основы микробиологии, санитарий и гигиены в пищевой промышленности [Текст]: учебник 7-е изд. / Л.В. Мармузова – М.: Академия, 2013 – 160 с.

53. **Матюхина, З.П.** Товароведение пищевых продуктов [Текст]: 4-е изд. /З.П. Матюхина – М.: Академия, 2012 – 336 с.

54. Методы исследования свойств сырья и продуктов питания: Учебное пособие / И. П. Ковалева, И. М. Титова, О. П. Чернега. - СПб. : Проспект Науки, 2012. - 168 с.

55. **Могильный, М.П.** Технология продукции общественного

- питания [Текст] / Могильный М.П. [и др.] – СПб.: Профессия, 2013. – 2013 с.
56. Мир пряностей и специй [Текст]: справочное пособие / М.: Ведананда, 2010. – 192 с.
57. Настольная книга производителя и переработчика плодоовощной продукции [Текст] / Синха Н. К., Хью И. Г. Пер. английский язык. – СПб.: Профессия, 2013. – 896 с.
58. Научная библиотека диссертаций и авторефератов [dissercat](http://www.dissercat.com/)<http://www.dissercat.com/>
59. **Нефедов, Е. И.** Устройство СВЧ и антенны [Текст] / Е.И. Нефедов – М.: Академия, 2009. – 384 с.
60. **Нечаев, А.П.** Пищевая химия [Текст] / А. П. Нечаев – СПб.: Гиорд. – 2001. – 581 с.
61. Оборудование Mettler-Toledo [Электронный ресурс]. URL:<http://ru.mt.com/ru/ru/home.html>
62. **Октябрьская, Т. А.** Перец [Текст] / Т. А. Октябрьская, Л. Б. Разинова. – М.: Изд. Дом МСП, 2004. – 190 с.
63. **Осипов, Н.Е.** Автоматизация технологических процессов: Учеб. пособие / Н.Е. Осипов —: изд-во ЛКИ, 2009 .— 130с.
64. **Остриков, А.Н.** Исследование СВЧ-конвективной сушки горького перца при переменном теплоподводе [Текст] / А. Н. Остриков, Р. В. Дорохин // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2012 - № 4. - С. 7-9.
65. **Остриков, А.Н.** Теплофизические свойства горького перца, высушенного СВЧ-конвективным способом сушки при переменном теплоподводе [Текст] / А. Н. Остриков, Р. В. Дорохин // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2013. – № 4. – С. 90-93.
66. **Остриков, А.Н.** Исследование СВЧ-конвективной сушки чеснока при переменном теплоподводе [Текст] / А. Н. Остриков, Р. В. Дорохин // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2013. – № 5-6.

– С. 69-71.

67. **Остриков, А.Н.** Исследование СВЧ-конвективной сушки горчичного жмыха при переменном теплоподводе [Текст] / А. Н. Остриков, Р. В. Дорохин // Хранение и переработка сельхозсырья. 2013. – № 1. – С. 21-24.

68. **Пат. 2364515 РФ**, МПК F26B 15/26, F26B 3/347 Комбинированная СВЧ-конвективная сушилка [Текст] / Остриков А.Н., Дорохин Р.В. Воронеж гос. ун-т инж. техн. - № 2011106688/13, Заявлено 07.03.2012; Опубл. 20.09.2013; Бюл. № 26.

69. Пищевая химия: учебник. 5-е изд., испр. и доп. / А.П. Нечаев, С.Е. Траубенберг, А.А. Кочеткова [и др.] – СПб.: ГИОРД, 2011. – 672 с.

70. **Плановский, А.Н.**, Сушка дисперсных материалов в химической промышленности [Текст] / А.Н. Плановский, В.И. Муштаев, В.М. Ульянов – М.: Химия, 2011. – 288 с.

71. Потребительская корзина [Электронный ресурс]. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Потребительская_корзина

72. Промышленность России [Текст] / М.: Росстат, 2010. – 456 с.

73. Промышленность в России 2012 [Текст] / М.: Росстат, 2012. – 448 с.

74. Промышленная технология продукции общественного питания: Учебник / Ершов В.Д. – СПб.: ГИОРД, 2010. – 232 с.

75. **Рагозин, Б.В.** Формула здоровья. Целебные свойства пряностей [Текст] / Б.В. Рагозин – М.: Философская Книга, 2010. – 240 с.

76. **Рогов, И.А.** Техника сверхвысокочастотного нагрева пищевых продуктов / И.А. Рогов, С.В. Некрутман, Г.В. Лысов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1976. – 199 с.

77. **Рогов, И.А.** Электрофизические методы обработки пищевых продуктов / И.А. Рогов. — М.: Агропромиздат, 1988. – 272 с.

78. **Рудобашта, С.П.** Теплотехника : [учебник] / С.П. Рудобашта. – М. : КолосС, 2010. – 600 с.

79. **Рыбин, А.В.** Управление качеством в отраслях пищевой промышленности [Текст]: Учебное пособие / А.В. Рыбин, М.Д. Магомедов,

Н.И. Дунченко – М.: Дашков и Ко, 2014. – 212 с.

80. **Самарский, А.А.** Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры /А.А. Самарский, А.П. Михайлов. М.: Наука, 1997. – 215 с.

81. **Сарафанова, Л. А.** Современные пищевые ингредиенты. Особенности применения [Текст] / Л. А. Сарафанова. – СПб.: Профессия, 2009. – 208 с.

82. Сборник рецептур на продукцию общественного питания. Сборник технических нормативов [Текст] / М.П. Могильный – СПб.: Профессия, 2011. – 1008 с.

83. СВЧ. Готовим с увлечением; Сэр – Вит – Москва, 2009. – 464 с.

84. **Сокольский, И.Н.** Книга пряностей [Текст] / И.Н Сокольский – М.: Диля, 2011. – 352 с.

85. Справочник работника общественного питания [Текст] / М.П. Могильный – СПб.: Профессия, 2011. – 656 с.

86. Теоретические основы пищевых технологий: В 2-х книгах. Книга 2.Отв. редактор В.А. Панфилов. – М.: Колосс, 2009. – 800 с.

87. Теоретические основы технологии переработки продукции растениеводства / Ю.А. Ромадина, А.В. Волкова. – Самара : РИЦ СГСХА, 2012. – 308 с.

88. Теория рассеяния электромагнитных волн в угловых структурах / А.Ф. Крячко, В.М. Лихачев, С.Н. Смирнов, А.И. Сташкевич, С.-Петерб. гос. политехн. ун-т. — СПб.: Наука, 2008. – 8 л.

89. Технология консервирования: Учебное пособие / Т. Ф. Киселева, В. А. Помозова, Э. С. Гореньков // СПб.: Проспект Науки, 2011. – 416 с.

90. Технология хранения, переработки и стандартизация продукции растениеводства. / С.А. Семина, Н.И. Остробородова. – Пенза : РИО ПГСХА, 2012. – 55 с.

91. Технический регламент о безопасности машин и оборудования. постановления правительства Российской федерации № 753 [Текст] / М.: Кодекс, 2010. – 40 с.

92. **Ткач, В.В.** Разработка и научное обоснование способа производства порошкообразного фабриката концентрата квасного сусла в аппарате с СВЧ-энергоподводом / В.В. Ткач // диссертация канд. техн. наук – Воронеж, 2009. – 166 с.

93. **Толстов, В.А.** Эффективность электротехнологических установок / В.А. Толстов, Ю.С. Архангельский. Саратов: СГТУ, 2000. – 148 с.

94. Федеральный закон "О качестве и безопасности пищевых продуктов" / М.: Проспект, 2010. – 186 с.

95. Физико-механические свойства сырья и готовой продукции: Учебн. пособие для вузов / Арет В. А., Николаев Л. К., Николаев Б. Л. – СПб.: ГИОРД, 2009. – 448 с.

96. Химический состав и калорийность российских продуктов питания. Справочник / В. А. Тутельян – СПб.: Профессия, 2012. – 284 с.

97. Химия пищевых продуктов [Текст] / О. Р. Феннема [и др.]. Пер. английский язык. – СПб.: Профессия, 2012. – 1040 с.

98. **Чагин, О.В.** Оборудование для сушки пищевых продуктов [Текст] / О.В. Чагин, Н.Р. Кокина, В.В. Пастин // М.: Предприятие "Мир географии", 2013. – 147 с.

99. Чеснок [Электронный ресурс]. URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/чеснок>.

100. **Четвериков, Е.А.** Повышение эффективности сушки семян с твердой оболочкой за счет периодического воздействия энергетических потоков в микроволново-конвективных установок. На примере сушки семян расторопши / Е.А. Четвериков // диссертация канд. техн. наук – Саратов, 2003. – 154 с.

101. **Чефанов, В.М.** Основы гидравлики и теплотехники [Текст]: Учебное пособие. / В.М. Чефанов, В.Н. Посохин, З.Х. Замалеев. – М.: Лань, 2014. – 352 с.

102. Экономика перерабатывающих отраслей АПК: Практикум. / Т. В. Смирнова, М. Н. Малыш - СПб.: Проспект Науки, 2009. – 152 с

103. Экспертиза специализированных пищевых продуктов. Качество и безопасность / Л.А. Маюрникова, В.М. Позняковский, Б.П. Суханов, Г.А. Гореликов // под ред. В.М. Позняковского. – СПб.: ГИОРД, 2012. – 424 с.

104. Электронные устройства СВЧ (комплект из 2 книг)/ Радиотехника - Москва, 2012. – 419 с.

105. [Anita Lupinska](#), [Michal Araszkiwicz](#), [Microwave drying of rapeseeds on a semi-industrial scale with inner emission of microwaves](#) / [Anita Lupinska](#), [Michal Araszkiwicz](#), [Antoni Koziol](#), [Michal Lupinski](#) // [Drying Technology](#). – 2009. – p. 1332-1377

106. Die schnelle Mikrowelle – kurze Behandlungszeiten für die Haltbarmachung von Lebensmitteln / Workshop KIN Neumünster, 26. Feb 2013. – Germany – p. 29 – 30.

107. Deutsche Wirtschaft im Aufschwung – Gefriertrocknen mit Mikrowellen / Wirtschaft heute, 2013. – p. 21-22.

108. [Gökçe Dadalı](#), [Dilek Kılıç Apar](#) [Microwave drying kinetics of okra](#) / [Gökçe Dadalı](#), [Dilek Kılıç Apar](#), [Belma Özbek](#) // [Drying Technology](#), 2007. – p. 917 – 924.

109. **Mr Morschhäuser, Mr Scholz** Microwave Assisted Processing at Commercial Scale / Mr Morschhäuser, Mr Scholz, Mr Fairweather, Mr Gibson, Mr Krull, Mr Kappe // presented during the Zing Conference, Nappa 23 July 2013. – p. 56.

110. **Mr Yang Hou Chen, Mr Peter Püschner** Heat Transfer with the Speed of Light using Microwaves in Industrial Chemical Processes / Mr Yang Hou Chen, Mr Peter Püschner // presented on AchemAsia, Beijing, China, 2013. – p. 7.

111. **Ms Sabine Ambros, S.A.W. Bauer** The Potential of the Microwave-Vacuum Technique in Drying of Probiotic and Starter Cultures / Ms Sabine Ambros, S.A.W. Bauer, Ulrich Kulozik, Petra Först // Technische Universität München, - Xiamen, China, 2012. – p. 13.

112. [Roman Morschhäuser](#), **Matthias Krull** Microwave-assisted continuous flow synthesis on industrial scale / [Roman Morschhäuser](#), Matthias

Krull, Christoph Kayser, Cornelia Boberski, Ralf Bierbaum, Peter A. Püschner, Toma N. Glasnov, C. Oliver Kappe // Green Processing and Synthesis V. 1, Issue 3. - Germany, 2012. – p. 281–290.

113. State of the Art Microwave - Vacuum Drying of Food / 17th International Drying Symposium. - Magdeburg/Germany, 03.10.2010 - 06.10.2010. – p. 14.

114. [S. Vongpradubchai, P. Rattanadecho](#) [Microwave and hot air drying of wood using a rectangular waveguide](#) / [S. Vongpradubchai, P. Rattanadecho](#) // [Drying Technology](#). – 2011. – vol. 29. – p. 451-460.

115. [Xian-ju Song, Min Zhang](#) [Drying characteristics and kinetics of vacuum microwave-dried potato slices](#) / [Xian-ju Song, Min Zhang, Arun S. Mujumdar, Liuping Fan](#) // [Drying Technology](#). – 2009. – vol. 27. – p. 969 – 974.

116. [A. Łupińska, A. Koziol](#) [The Changes of Quality in Rapeseeds during Microwave Drying](#) / [A. Łupińska, A. Koziol, M. Araszkiwicz, M. Łupiński](#) // [Drying Technology](#). – 2009. – vol. 27. – p. 857 – 862.

117. [Javier R. Arballo, Laura A. Campañone](#) [Modeling of microwave drying of fruits](#) / [Javier R. Arballo, Laura A. Campañone & Rodolfo H. Mascheroni](#) // [Drying Technology](#). – 2010. – vol. 28. – p. 1178 – 1184.

118. [S. J. Kowalski, K. Rajewska](#) [Convective Drying Enhanced with Microwave and Infrared Radiation](#) / [S. J. Kowalski, K. Rajewska](#) // [Drying Technology](#). – 2009. – vol. 27. – p. 878 – 887.

119. [Z. Y. Li, R. F. Wang, T. Kudra](#) [Uniformity Issue in Microwave Drying](#) / [Z. Y. Li, R. F. Wang, T. Kudra](#) // [Drying Technology](#). – 2011. – vol. 29. – p. 652 – 660.

120. **H. Schubert, M Regier** The microwave processing of foods / H. Schubert, M Regier - Woodhead Publishing, 2005. – p. 360.

121. **Bernard Schweigert, Richard Mudgett** Microwaves in the food processing industry / Bernard Schweigert, Richard Mudgett - Academic Press, 1985. – p. 234.

122. **H. L. Meiselman** Meals in science and practice / H. L. Meiselman -

Woodhead Publishing, 2009. – p. 704.

123. **N.I. Lebovka, H. Mhemdi** [Treatment of potato tissue by pulsed electric fields with time-variable strength: Theoretical and experimental analysis](#) / N.I. Lebovka, H. Mhemdi, N. Grimi, O. Bals, E. Vorobiev // Journal of Food Engineering. – 2014. – Vol. 137. – p. 23-31.

124. **Manish Dak, N.K. Pareek** [Effective moisture diffusivity of pomegranate arils under going microwave-vacuum drying](#) / Manish Dak, N.K. Pareek // Journal of Food Engineering. – Vol. 122. – February 2014. – p. 117-121.

125. **Kisselmina Y. Koné, Cyril Druon** [Power density control in microwave assisted air drying to improve quality of food](#) / Kisselmina Y. Koné, Cyril Druon, Etienne Z. Gnimpieba, Michel Delmotte, Albert Duquenoy, Jean-Claude Laguerre // Journal of Food Engineering. – Vol. 119. – Issue 4. – December 2013. – p. 750-757.

126. **M. Zielinska, P. Zapotoczny** [A multi-stage combined heat pump and microwave vacuum drying of green peas](#) / M. Zielinska, P. Zapotoczny, O. Alves-Filho, T.M. Eikevik, W. Blaszcak // Journal of Food Engineering. – Vol. 115. – Issue 3. – April 2013. – p. 347-356.

127. **Yuchuan Wang, Min Zhang** [Effect of blanching on microwave freeze drying of stem lettuce cubes in a circular conduit drying chamber](#) / Yuchuan Wang, Min Zhang, Arun S. Mujumdar, Kebitsamang Joseph Mothibe, S.M. Roknul Azam // Journal of Food Engineering. – Vol. 113. – Issue 2. – November 2012. – p. 177-185.

128. **G. Cuccurullo, L. Giordano** [Infrared thermography assisted control for apples microwave drying](#) / G. Cuccurullo, L. Giordano, D. Albanese, L. Cinquanta, M. Di Matteo // Journal of Food Engineering. – Vol. 112. – Issue 4. – October 2012. – p. 319-325.

129. **Loredana Malafrente, Gaetano Lamberti** [Combined convective and microwave assisted drying: Experiments and modeling](#) / Loredana Malafrente, Gaetano Lamberti, Anna Angela Barba, Birgitta Raaholt, Emma Holtz, Lilia Ahrné // Journal of Food Engineering. – Vol. 112. – Issue 4. – October 2012. – p. 304-312.

130. **Adam Figiel** Drying [kinetics and quality of beetroots dehydrated by combination of convective and vacuum-microwave methods](#) / Adam Figiel // Journal of Food Engineering. – Vol. 98. – Issue 4. – June 2010. – p. 461-470.
131. **Zhenfeng Li, G.S.V. Raghavan** [Optimal power control strategies in microwave drying](#) / Zhenfeng Li, G.S.V. Raghavan, Valérie Orsat // Journal of Food Engineering. – Vol. 99. – Issue 3. – August 2010. – p. 263-268.
132. **Zhenfeng Li, G.S.V. Raghavan** [Temperature and power control in microwave drying](#) / Zhenfeng Li, G.S.V. Raghavan, Valérie Orsat // Journal of Food Engineering. – Vol. 97. – Issue 4. – April 2010. – p. 478-483.
133. **Leyla Nesrin Kahyaoglu** [Physical properties of parboiled wheat and bulgur produced using spouted bed and microwave assisted spouted bed drying](#) / Leyla Nesrin Kahyaoglu, Serpil Sahin, Gulum Sumnu // Journal of Food Engineering. – Vol. 98. – Issue 2. – May 2010. – P. 159-169.
134. **G.E. Botha, J.C. Oliveira** Microwave [assisted air drying of osmotically treated pineapple with variable power programmes](#) / G.E. Botha, J.C. Oliveira, L. Ahrné // Journal of Food Engineering. – Vol. 108. – Issue 2. – January 2012. – P. 304-311.
135. **Ángel Calín-Sánchez, Antoni Szumny** [Effects of vacuum level and microwave power on rosemary volatile composition during vacuum–microwave drying](#) / Ángel Calín-Sánchez, Antoni Szumny, Adam Figiel, Klaudiusz Jałoszyński, Maciej Adamski, Ángel A. Carbonell-Barrachina // Journal of Food Engineering. – Vol. 103. – Issue 2. – March 2011. – P. 219-227.

П Р И Л О Ж Е Н И Я

ПРИЛОЖЕНИЕ А

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ СУШЕНОГО ГОРЬКОГО ПЕРЦА

ДАТА 13.09.2011

ВРЕМЯ 12.00

ОБЪЕКТ: ГОРЬКИЙ ПЕРЕЦ

ТОЛЩИНА ПЛАСТИНЫ: $2,0 \cdot 10^{-3}$ м

ВРЕМЯ, МИН.	МАССА ПРОДУКТА, Г.	ТЕМПЕРАТУРА, °С			МОЩНОСТЬ МАГНЕТРОН А, Вт.	СКОРОСТЬ ВОЗДУХА, М/С
		ИСХОДНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ОТРАБОТАННОГ О ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ПРОДУКТА		
0	12,45	22,3	27,5	24,0	600	0,338
5	8,68	25,0	27,9	35,0		
10	7,17	34,6	38,7	42,0		
15	6,39	36,8	41,3	51,0		
20	6,02	33,3	38,0	51,5		
25	5,74	39,2	44,1	51,5		
30	5,39	37,6	41,9	43,5		
35	5,28	33,3	38,3	49,0		
40	5,26	31,1	36,6	49,0		
45	5,24	41,1	46,7	50,0		
50	5,22	40,5	46,3	51,5		
55	5,13	42,8	47,6	45,5		
60	5,12	42,4	48,1	43,0		

ДАТА 13.09.2011

ВРЕМЯ 14.00

ОБЪЕКТ: ГОРЬКИЙ ПЕРЕЦ

ТОЛЩИНА ПЛАСТИНЫ: $2,0 \cdot 10^{-3}$ м

ВРЕМЯ, МИН.	МАССА ПРОДУКТА, Г.	ТЕМПЕРАТУРА, °С			МОЩНОСТЬ МАГНЕТРОН А, Вт.	СКОРОСТЬ ВОЗДУХА, М/С
		ИСХОДНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ОТРАБОТАННОГ О ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ПРОДУКТА		
0	8,92	23,9	28,2	23,0	600	0,678
5	6,02	28,5	31,0	36,5		
10	4,67	32,3	34,3	39,5		
15	3,86	36,0	38,8	41,0		
20	3,37	35,2	37,4	42,0		
25	2,90	36,5	38,5	42,0		
30	2,62	39,3	41,1	44,0		
35	2,34	37,8	39,9	44,5		
40	2,16	38,3	40,0	44,5		
45	2,00	40,0	41,7	45,0		
50	1,89	38,5	40,3	45,0		
55	1,78	36,9	38,8	45,5		
60	1,72	36,1	38,1	46,0		

ДАТА 14.09.2011

ВРЕМЯ 12.00

ОБЪЕКТ: ГОРЬКИЙ ПЕРЕЦ

ТОЛЩИНА ПЛАСТИНЫ: $2,0 \cdot 10^{-3}$ м

ВРЕМЯ, МИН.	МАССА ПРОДУКТА, Г.	ТЕМПЕРАТУРА, °С			МОЩНОСТЬ МАГНЕТРОН А, Вт.	СКОРОСТЬ ВОЗДУХА, М/С
		ИСХОДНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ОТРАБОТАННОГ О ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ПРОДУКТА		
0	18,74	21,7	22,2	22,0	600	0,900
5	10,81	29,9	31,1	38,0		
10	7,94	32,3	33,3	39,5		
15	6,25	35,4	36,6	39,0		
20	4,62	36,7	37,8	39,5		
25	4,51	37,6	38,7	39,5		
30	4,03	30,3	31,2	38,5		
35	3,73	38,1	39,4	39,5		
40	3,48	37,9	39,9	40,5		
45	3,34	38,2	39,6	40,5		
50	3,24	38,8	40,5	39,5		
55	3,19	36,7	38,7	40,5		
60	3,16	38,9	40,7	41,0		

ДАТА 14.09.2011

ВРЕМЯ 14.00

ОБЪЕКТ: ГОРЬКИЙ ПЕРЕЦ

ТОЛЩИНА ПЛАСТИНЫ: $2,0 \cdot 10^{-3}$ м

ВРЕМЯ, МИН.	МАССА ПРОДУКТА, Г.	ТЕМПЕРАТУРА, °С			МОЩНОСТЬ МАГНЕТРОН А, Вт.	СКОРОСТЬ ВОЗДУХА, М/С
		ИСХОДНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ОТРАБОТАННОГ О ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ПРОДУКТА		
0	22,40	30,2	34,4	21,0	600	1,238
5	17,17	34,7	35,2	39,0		
10	9,62	36,2	36,8	39,5		
15	7,58	36,5	37,3	38,0		
20	6,22	36,4	37,1	40,0		
25	5,20	34,1	37,3	40,5		
30	4,55	35,3	36,8	41,0		
35	4,09	35,9	37,5	42,5		
40	3,81	35,8	37,3	36,5		
45	3,59	36,3	37,6	46,0		
50	3,47	36,2	37,1	41,0		
55	3,36	36,5	37,3	43,0		
60	3,28	36,5	37,5	43,0		

ДАТА 15.09.2011

ВРЕМЯ 12.00

ОБЪЕКТ: ГОРЬКИЙ ПЕРЕЦ

ТОЛЩИНА ПЛАСТИНЫ: $2,0 \cdot 10^{-3}$ м

ВРЕМЯ, МИН.	МАССА ПРОДУКТА, Г.	ТЕМПЕРАТУРА, °С			МОЩНОСТЬ МАГНЕТРОН А, Вт.	СКОРОСТЬ ВОЗДУХА, М/С
		ИСХОДНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ОТРАБОТАННОГ О ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ПРОДУКТА		
0	17,74	21,6	23,4	25,5	600	1,575
5	10,34	27,7	39,5	34,5		
10	7,15	28,8	30,0	34,0		
15	5,57	30,8	32,1	34,0		
20	4,41	33,0	35,1	35,0		
25	3,71	33,0	34,9	35,5		
30	3,25	33,4	34,8	36,0		
35	2,86	32,6	35,0	36,5		
40	2,60	33,7	35,4	37,5		
45	2,43	33,6	34,9	39,0		
50	2,35	34,3	36,2	41,5		
55	2,27	34,3	36,1	43,0		
60	2,23	33,8	35,5	44,0		

ДАТА 20.09.2011

ВРЕМЯ 12.00

ОБЪЕКТ: ГОРЬКИЙ ПЕРЕЦ

ТОЛЩИНА ПЛАСТИНЫ: $2,0 \cdot 10^{-3}$ м

ВРЕМЯ, МИН.	МАССА ПРОДУКТА, Г.	ТЕМПЕРАТУРА, °С			МОЩНОСТЬ МАГНЕТРОН А, Вт.	СКОРОСТЬ ВОЗДУХА, М/С
		ИСХОДНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ОТРАБОТАННОГ О ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ПРОДУКТА		
0	16,38	19,6	20,1	23,5	800	0,338
5	11,72	32,8	34,5	41,0		
10	8,12	40,2	41,8	39,5		
15	6,33	43,9	45,6	43,5		
20	5,45	46,1	47,3	44,0		
25	4,78	46,5	48,3	44,5		
30	4,23	47,2	49,9	46,0		
35	4,04	44,5	47,8	46,0		
40	3,97	47,9	50,9	47,0		
45	3,89	47,4	50,7	47,0		
50	3,87	49,1	51,8	46,0		
55	3,86	49,5	52,7	46,0		
60	3,84	48,4	52,0	45,0		

ДАТА 20.09.2011

ВРЕМЯ 14.00

ОБЪЕКТ: ГОРЬКИЙ ПЕРЕЦ

ТОЛЩИНА ПЛАСТИНЫ: $2,0 \cdot 10^{-3}$ м

ВРЕМЯ, МИН.	МАССА ПРОДУКТА, Г.	ТЕМПЕРАТУРА, °С			МОЩНОСТЬ МАГНЕТРОН А, Вт.	СКОРОСТЬ ВОЗДУХА, М/С
		ИСХОДНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ОТРАБОТАННОГ О ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ПРОДУКТА		
0	14,71	29,1	35,0	25,0	800	0,678
5	8,70	36,0	40,0	41,0		
10	5,96	38,3	41,2	42,5		
15	4,68	39,9	42,0	44,0		
20	3,93	40,1	42,8	44,0		
25	3,50	40,6	42,6	44,5		
30	3,24	40,4	43,2	45,5		
35	3,08	40,6	43,2	45,0		
40	3,01	40,3	43,1	49,5		
45	2,94	40,6	43,0	45,5		
50	2,90	40,3	43,5	46,5		
55	2,83	40,5	43,4	44,5		
60	2,83	40,0	43,5	42,0		

ДАТА 22.09.2011

ВРЕМЯ 12.00

ОБЪЕКТ: ГОРЬКИЙ ПЕРЕЦ

ТОЛЩИНА ПЛАСТИНЫ: $2,0 \cdot 10^{-3}$ м

ВРЕМЯ, МИН.	МАССА ПРОДУКТА, Г.	ТЕМПЕРАТУРА, °С			МОЩНОСТЬ МАГНЕТРОН А, Вт.	СКОРОСТЬ ВОЗДУХА, М/С
		ИСХОДНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ОТРАБОТАННОГ О ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ПРОДУКТА		
0	18,03	25,1	29,7	22,5	800	0,900
5	10,00	34,0	38,2	39,0		
10	6,76	38,6	40,9	40,0		
15	5,32	42,1	43,4	43,0		
20	4,50	42,3	43,7	43,0		
25	4,00	43,1	44,7	44,5		
30	3,73	43,0	45,1	51,0		
35	3,56	43,1	45,2	45,0		
40	3,47	43,2	45,6	45,5		
45	3,40	43,1	45,5	47,0		
50	3,37	43,1	45,7	45,7		
55	3,36	42,1	44,9	45,0		
60	3,35	43,3	46,0	45,0		

ДАТА 22.09.2011

ВРЕМЯ 14.00

ОБЪЕКТ: ГОРЬКИЙ ПЕРЕЦ

ТОЛЩИНА ПЛАСТИНЫ: $2,0 \cdot 10^{-3}$ м

ВРЕМЯ, МИН.	МАССА ПРОДУКТА, Г.	ТЕМПЕРАТУРА, °С			МОЩНОСТЬ МАГНЕТРОН А, Вт.	СКОРОСТЬ ВОЗДУХА, М/С
		ИСХОДНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ОТРАБОТАННОГ О ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ПРОДУКТА		
0	18,75	21,0	21,6	23,0	800	1,238
5	10,09	29,6	31,4	34,5		
10	7,37	32,7	35,5	42,0		
15	6,05	34,1	35,6	43,5		
20	5,26	35,6	36,2	44,0		
25	4,81	36,1	36,7	45,5		
30	4,51	36,8	36,8	47,0		
35	4,40	36,1	36,6	45,5		
40	4,24	37,0	37,0	46,0		
45	4,17	36,6	37,0	46,5		
50	4,11	37,5	37,9	47,0		
55	4,06	36,8	37,5	47,0		
60	4,06	37,1	37,7	47,5		

ДАТА 23.09.2011

ВРЕМЯ 12.00

ОБЪЕКТ: ГОРЬКИЙ ПЕРЕЦ

ТОЛЩИНА ПЛАСТИНЫ: $2,0 \cdot 10^{-3}$ м

ВРЕМЯ, МИН.	МАССА ПРОДУКТА, Г.	ТЕМПЕРАТУРА, °С			МОЩНОСТЬ МАГНЕТРОН А, Вт.	СКОРОСТЬ ВОЗДУХА, М/С
		ИСХОДНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ОТРАБОТАННОГ О ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ПРОДУКТА		
0	26,15	21,1	21,6	24,0	800	1,538
5	14,00	30,2	28,4	38,5		
10	10,15	32,7	30,8	36,0		
15	8,48	34,3	32,0	36,0		
20	7,14	35,0	33,4	35,5		
25	6,20	34,8	34,2	38,0		
30	5,35	33,6	33,2	41,0		
35	4,90	34,3	34,0	38,5		
40	4,59	34,0	34,4	40,5		
45	4,38	34,9	34,4	42,5		
50	4,24	31,5	31,6	43,0		
55	4,10	34,8	34,7	42,5		
60	4,02	34,3	34,7	42,5		

Приложение Б

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ СУШЕНОГО ЧЕСНОКА

ДАТА 04.02.13

ВРЕМЯ 12.00

ОБЪЕКТ: ЧЕСНОК

ТОЛЩИНА ПЛАСТИНЫ: $1,5 \cdot 10^{-3}$ м

ВРЕМЯ, МИН.	МАССА ПРОДУКТА, Г.	ТЕМПЕРАТУРА, °С			МОЩНОСТЬ МАГНЕТРОН А, Вт.	СКОРОСТЬ ВОЗДУХА, М/С
		ИСХОДНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ОТРАБОТАННОГ О ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ПРОДУКТА		
0	9,38	20,1	20,8	21,0	600	0,338
3	7,49	24,3	24,7	38,5		
6	6,15	27,2	27,4	41,0		
9	5,49	27,2	28,2	40,0		
12	5,12	29,0	30,1	41,0		
15	4,84	22,4	23,6	40,5		
18	4,65	30,3	31,9	38,0		
21	4,49	30,9	32,4	39,5		
24	4,38	31,4	33,1	41,0		
27	4,27	31,4	33,3	42,5		
30	4,19	31,5	33,4	41,5		
33	4,12	31,1	33,2	40,5		
36	4,07	31,7	33,7	42,0		

ДАТА 06.02.13

ВРЕМЯ 12.00

ОБЪЕКТ: ЧЕСНОК

ТОЛЩИНА ПЛАСТИНЫ: $1,5 \cdot 10^{-3}$ м

ВРЕМЯ, МИН.	МАССА ПРОДУКТА, Г.	ТЕМПЕРАТУРА, °С			МОЩНОСТЬ МАГНЕТРОН А, Вт.	СКОРОСТЬ ВОЗДУХА, М/С
		ИСХОДНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ОТРАБОТАННОГ О ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ПРОДУКТА		
0	7,51	21,0	19,2	21,0	600	0,678
3	6,28	25,0	25,1	34,0		
6	5,20	28,0	28,7	38,4		
9	4,52	22,4	26,0	40,5		
12	3,83	23,1	26,7	42,5		
15	3,50	22,8	27,0	40,5		
18	3,37	22,5	29,8	41,0		
21	3,22	24,5	29,9	40,5		
24	3,05	24,9	34,2	41,0		
27	3,03	24,1	32,5	40,5		
30	2,98	23,0	30,2	40,5		
33	2,94	24,5	31,0	40,5		
36	2,87	22,1	32,1	42,5		

ДАТА 08.02.13

ВРЕМЯ 12.00

ОБЪЕКТ: ЧЕСНОК

ТОЛЩИНА ПЛАСТИНЫ: $1,5 \cdot 10^{-3}$ м

ВРЕМЯ, МИН.	МАССА ПРОДУКТА, Г.	ТЕМПЕРАТУРА, °С			МОЩНОСТЬ МАГНЕТРОН А, Вт.	СКОРОСТЬ ВОЗДУХА, М/С
		ИСХОДНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ОТРАБОТАННОГ О ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ПРОДУКТА		
0	9,41	18,5	19,8	20,5	600	0,900
3	7,36	23,2	25,8	35,0		
6	5,77	26,6	30,0	41,0		
9	4,98	29,0	32,3	41,0		
12	4,47	30,9	33,2	38,5		
15	4,13	32,4	35,3	43,5		
18	3,88	33,6	36,4	42,5		
21	3,72	34,1	36,1	43,0		
24	3,62	34,4	36,5	43,0		
27	3,57	35,0	37,0	42,0		
30	3,54	33,6	35,7	42,0		
33	3,51	32,0	34,5	42,5		
36	3,48	33,0	36,4	41,0		

ДАТА 06.02.13

ВРЕМЯ 12.00

ОБЪЕКТ: ЧЕСНОК

ТОЛЩИНА ПЛАСТИНЫ: $1,5 \cdot 10^{-3}$ м

ВРЕМЯ, МИН.	МАССА ПРОДУКТА, Г.	ТЕМПЕРАТУРА, °С			МОЩНОСТЬ МАГНЕТРОН А, Вт.	СКОРОСТЬ ВОЗДУХА, М/С
		ИСХОДНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ОТРАБОТАННОГ О ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ПРОДУКТА		
0	6,53	17,6	21,1	20,0	700	0,338
3	5,32	22,2	29,1	35,0		
6	4,55	21,9	29,7	41,0		
9	4,13	22,1	34,0	43,0		
12	3,89	22,8	34,7	46,0		
15	3,73	21,4	31,6	46,0		
18	3,62	22,1	32,4	46,0		
21	3,52	21,9	31,4	45,5		
24	3,23	21,3	31,6	46,0		
27	3,42	22,0	32,4	46,0		
30	3,38	22,0	31,3	46,5		
33	3,37	22,6	33,6	46,5		
36	3,37	23,3	34,1	47,0		

ДАТА 08.02.13

ВРЕМЯ 12.00

ОБЪЕКТ: ЧЕСНОК

ТОЛЩИНА ПЛАСТИНЫ: $1,5 \cdot 10^{-3}$ м

ВРЕМЯ, МИН.	МАССА ПРОДУКТА, Г.	ТЕМПЕРАТУРА, °С			МОЩНОСТЬ МАГНЕТРОН А, Вт.	СКОРОСТЬ ВОЗДУХА, М/С
		ИСХОДНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ОТРАБОТАННОГ О ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ПРОДУКТА		
0	6,38	18,7	22,8	21	700	0,678
3	5,18	20,6	29,8	40,0		
6	4,43	21,0	31,3	44,0		
9	4,03	21,6	30,7	45,5		
12	3,78	22,4	31,7	45,0		
15	3,63	22,4	31,7	45,5		
18	3,53	21,9	30,9	45,0		
21	3,48	22,0	31,4	45,5		
24	3,42	22,0	31,3	46,0		
27	3,38	22,4	32,1	45,5		
30	3,33	22,3	31,2	45,0		
33	3,34	23,3	33,1	45,0		
36	3,31	21,5	31,2	47,0		

ДАТА 24.02.13

ВРЕМЯ 12.00

ОБЪЕКТ: ЧЕСНОК

ТОЛЩИНА ПЛАСТИНЫ: $1,5 \cdot 10^{-3}$ м

ВРЕМЯ, МИН.	МАССА ПРОДУКТА, Г.	ТЕМПЕРАТУРА, °С			МОЩНОСТЬ МАГНЕТРОН А, Вт.	СКОРОСТЬ ВОЗДУХА, М/С
		ИСХОДНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ОТРАБОТАННОГ О ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ПРОДУКТА		
0	6,71	16,6	18,0	21,0	700	0,900
3	5,28	22,4	27,2	35,0		
6	4,40	23,2	26,6	41,0		
9	3,97	24,4	33,9	43,0		
12	3,64	23,7	32,6	46,0		
15	3,47	21,8	32,8	46,0		
18	3,40	23,4	32,1	46,0		
21	3,32	26,0	37,5	45,5		
24	3,27	24,0	33,2	46,0		
27	3,22	24,4	33,7	46,0		
30	3,18	21,2	32,0	46,5		
33	3,15	22,6	34,0	46,5		
36	3,15	23,6	34,0	47,0		

ДАТА 08.02.13

ВРЕМЯ 12.00

ОБЪЕКТ: ЧЕСНОК

ТОЛЩИНА ПЛАСТИНЫ: $1,5 \cdot 10^{-3}$ м

ВРЕМЯ, МИН.	МАССА ПРОДУКТА, Г.	ТЕМПЕРАТУРА, °С			МОЩНОСТЬ МАГНЕТРОН А, Вт.	СКОРОСТЬ ВОЗДУХА, М/С
		ИСХОДНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ОТРАБОТАННОГ О ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ПРОДУКТА		
0	7,70	19,9	25,3	20,0	800	0,338
3	5,71	28,1	39,4	39,0		
6	4,37	25,4	35,1	45,3		
9	3,85	25,5	35,3	50,5		
12	3,47	24,7	34,1	52,0		
15	3,34	25,4	34,8	53,0		
18	3,18	22,4	36,2	51,0		
21	3,08	24,0	36,3	50,1		
24	3,04	25,2	35,1	50,0		
27	2,96	24,7	34,2	50,0		
30	2,93	24,3	37,8	50,5		
33	2,90	24,0	37,0	50,7		
36	2,85	21,9	38,6	51,0		

ДАТА 11.02.13

ВРЕМЯ 12.00

ОБЪЕКТ: ЧЕСНОК

ТОЛЩИНА ПЛАСТИНЫ: $1,5 \cdot 10^{-3}$ м

ВРЕМЯ, МИН.	МАССА ПРОДУКТА, Г.	ТЕМПЕРАТУРА, °С			МОЩНОСТЬ МАГНЕТРОН А, Вт.	СКОРОСТЬ ВОЗДУХА, М/С
		ИСХОДНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ОТРАБОТАННОГ О ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ПРОДУКТА		
0	6,85	20,8	24,7	20,0	800	0,678
3	4,77	22,8	32,4	40,0		
6	3,73	23,8	34,0	45,5		
9	3,18	24,1	34,6	46,5		
12	2,87	24,5	33,4	45,5		
15	2,65	28,5	37,6	49,0		
18	2,57	24,7	34,3	45,0		
21	2,51	23,8	34,6	45,0		
24	2,48	24,1	32,8	45,5		
27	2,45	24,2	34,4	46,0		
30	2,44	24,1	33,2	46,5		
33	2,40	24,3	35,8	47,0		
36	2,40	24,3	34,8	46,5		

ДАТА 11.02.13

ВРЕМЯ 14.00

ОБЪЕКТ: ЧЕСНОК

ТОЛЩИНА ПЛАСТИНЫ: $1,5 \cdot 10^{-3}$ м

ВРЕМЯ, МИН.	МАССА ПРОДУКТА, Г.	ТЕМПЕРАТУРА, °С			МОЩНОСТЬ МАГНЕТРОН А, Вт.	СКОРОСТЬ ВОЗДУХА, М/С
		ИСХОДНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ОТРАБОТАННОГ О ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ПРОДУКТА		
0	6,66	17,8	18,7	20,0	800	0,900
3	4,03	23,1	25,4	35,0		
6	2,89	21,5	27,7	40,0		
9	2,44	18,7	28,1	41,0		
12	2,44	26,5	32,5	45,0		
15	2,32	23,3	34,9	45,0		
18	2,28	23,8	33,3	45,0		
21	2,24	24,1	33,9	45,5		
24	2,21	23,6	34,6	45,5		
27	2,20	23,3	34,1	45,5		
30	2,17	25,6	33,3	47,0		

Приложение В

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ СУШЕНОГО ГОРЧИЧНОГО ЖМЫХА

Дата 27.08.13

Время 12.00

Объект: Горчичный жмых

Толщина пластины: $1,0 \cdot 10^{-3}$ м

Время, мин.	Масса продукта, г.	Температура, °С			Мощность магнетрон А, Вт.	Скорость воздуха, м/с
		Исходного теплоносителя	Отработанног о теплоносителя	Продукта		
0	11,43	22,1	26,4	21,5	600	0,338
3	10,93	25,3	33,7	36,0		
6	10,68	24,9	34,1	38,0		
9	10,56	25,1	34,0	43,5		
12	10,50	24,4	32,6	45,0		
15	10,44	25,4	34,2	47,0		
18	10,38	25,3	33,9	49,0		
21	10,31	24,9	35,0	50,5		
24	10,31	25,9	34,6	51,0		
27	10,31	26,4	33,3	51,0		

ДАТА 27.08.13

ВРЕМЯ 14.00

ОБЪЕКТ: ГОРЧИЧНЫЙ ЖМЫХ

ТОЛЩИНА ПЛАСТИНЫ: $1,0 \cdot 10^{-3}$ м

ВРЕМЯ, МИН.	МАССА ПРОДУКТА, Г.	ТЕМПЕРАТУРА, °С			МОЩНОСТЬ МАГНЕТРОН А, Вт.	СКОРОСТЬ ВОЗДУХА, М/С
		ИСХОДНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ОТРАБОТАННОГ О ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ПРОДУКТА		
0	11,96	22,6	25,7	21,5	600	0,678
3	11,43	25,2	36,2	36,0		
6	11,15	25,7	36,8	38,0		
9	11,00	25,8	36,3	43,5		
12	10,93	25,5	36,3	45,0		
15	10,84	25,7	38,0	49,5		
18	10,82	25,6	37,4	50,0		
21	10,80	25,2	37,2	50,5		
24	10,76	25,5	36,7	51,0		
27	10,76	25,0	36,8	51,5		

ДАТА 28.08.13

ВРЕМЯ 12.00

ОБЪЕКТ: ГОРЧИЧНЫЙ ЖМЫХ

ТОЛЩИНА ПЛАСТИНЫ: $1,0 \cdot 10^{-3}$ м

ВРЕМЯ, МИН.	МАССА ПРОДУКТА, Г.	ТЕМПЕРАТУРА, °С			МОЩНОСТЬ МАГНЕТРОН А, Вт.	СКОРОСТЬ ВОЗДУХА, М/С
		ИСХОДНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ОТРАБОТАННОГ О ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ПРОДУКТА		
0	11,30	21,9	24,9	20,0	600	0,900
3	10,80	24,0	37,1	36,0		
6	10,48	24,4	38,9	37,5		
9	10,31	24,7	40,0	43,5		
12	10,25	25,0	40,0	46,0		
15	10,18	25,1	39,3	48,5		
18	10,14	25,0	39,5	50,0		
21	10,12	25,6	40,2	50,5		
24	10,10	24,5	38,2	50,0		
27	10,10	25,6	40,6	51,0		

ДАТА 28.08.13

ВРЕМЯ 14.00

ОБЪЕКТ: ГОРЧИЧНЫЙ ЖМЫХ

ТОЛЩИНА ПЛАСТИНЫ: $1,0 \cdot 10^{-3}$ м

ВРЕМЯ, МИН.	МАССА ПРОДУКТА, Г.	ТЕМПЕРАТУРА, °С			МОЩНОСТЬ МАГНЕТРОН А, Вт.	СКОРОСТЬ ВОЗДУХА, М/С
		ИСХОДНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ОТРАБОТАННОГ О ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ПРОДУКТА		
0	11,82	22,5	25,7	22,0	700	0,338
3	11,28	24,4	32,9	37,5		
6	10,97	24,7	33,6	37,5		
9	10,81	24,7	33,9	45,0		
12	10,70	25,0	33,8	48,0		
15	10,65	24,5	33,9	49,0		
18	10,60	25,2	33,8	50,0		
21	10,57	25,1	33,5	50,5		
24	10,52	25,0	33,6	50,5		
27	10,51	24,8	33,7	51,0		
30	10,47	25,1	33,7	52,0		

ДАТА 29.08.13

ВРЕМЯ 12.00

ОБЪЕКТ: ГОРЧИЧНЫЙ ЖМЫХ

ТОЛЩИНА ПЛАСТИНЫ: $1,0 \cdot 10^{-3}$ м

ВРЕМЯ, МИН.	МАССА ПРОДУКТА, Г.	ТЕМПЕРАТУРА, °С			МОЩНОСТЬ МАГНЕТРОН А, Вт.	СКОРОСТЬ ВОЗДУХА, М/С
		ИСХОДНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ОТРАБОТАННОГ О ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ПРОДУКТА		
0	11,66	20,9	21,6	21,5	700	0,678
3	11,10	25,0	29,3	38,0		
6	10,79	25,7	31,8	38,0		
9	10,64	26,6	34,3	42,0		
12	10,54	26,6	35,6	45,5		
15	10,49	27,0	37,0	47,0		
18	10,43	27,2	37,7	49,5		
21	10,39	27,1	38,2	50,0		
24	10,36	26,7	38,2	50,5		
27	10,33	27,4	38,8	50,5		
30	10,31	27,4	38,4	52,0		

ДАТА 29.08.13

ВРЕМЯ 14.00

ОБЪЕКТ: ГОРЧИЧНЫЙ ЖМЫХ

ТОЛЩИНА ПЛАСТИНЫ: $1,0 \cdot 10^{-3}$ м

ВРЕМЯ, МИН.	МАССА ПРОДУКТА, Г.	ТЕМПЕРАТУРА, °С			МОЩНОСТЬ МАГНЕТРОН А, Вт.	СКОРОСТЬ ВОЗДУХА, М/С
		ИСХОДНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ОТРАБОТАННОГ О ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ПРОДУКТА		
0	11,49	20,4	20,9	22,0	700	0,900
3	10,93	24,6	28,3	34,5		
6	10,65	26,3	33,4	37,0		
9	10,48	26,4	36,4	40,0		
12	10,37	26,4	37,7	43,0		
15	10,31	26,7	39,9	45,5		
18	10,27	26,8	39,3	47,5		
21	10,23	26,9	40,2	49,0		
24	10,20	27,2	40,5	50,0		
27	10,16	27,7	42,0	50,5		
30	10,15	27,1	40,9	52,0		

ДАТА 04.09.13

ВРЕМЯ 12.00

ОБЪЕКТ: ГОРЧИЧНЫЙ ЖМЫХ

ТОЛЩИНА ПЛАСТИНЫ: $1,0 \cdot 10^{-3}$ м

ВРЕМЯ, МИН.	МАССА ПРОДУКТА, Г.	ТЕМПЕРАТУРА, °С			МОЩНОСТЬ МАГНЕТРОН А, Вт.	СКОРОСТЬ ВОЗДУХА, М/С
		ИСХОДНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ОТРАБОТАННОГ О ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ПРОДУКТА		
0	11,32	23,6	26,9	21,5	800	0,338
3	10,83	27,3	40,2	39,0		
6	10,43	29,7	44,0	41,5		
9	10,31	29,0	43,1	47,5		
12	10,21	30,1	45,2	52,0		
15	10,15	29,9	45,9	54,0		
18	10,11	29,6	46,0	55,5		
21	10,11	29,9	46,0	57,0		
24	10,11	30,1	47,0	59,0		

ДАТА 04.09.13

ВРЕМЯ 14.00

ОБЪЕКТ: ГОРЧИЧНЫЙ ЖМЫХ

ТОЛЩИНА ПЛАСТИНЫ: $1,0 \cdot 10^{-3}$ м

ВРЕМЯ, МИН.	МАССА ПРОДУКТА, Г.	ТЕМПЕРАТУРА, °С			МОЩНОСТЬ МАГНЕТРОН А, Вт.	СКОРОСТЬ ВОЗДУХА, М/С
		ИСХОДНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ОТРАБОТАННОГ О ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ПРОДУКТА		
0	11,62	23,9	27,6	21,5	800	0,678
3	11,01	29,6	41,5	37,5		
6	10,68	29,6	41,6	39,0		
9	10,54	28,8	41,0	45,5		
12	10,44	29,8	42,5	50,5		
15	10,38	28,8	41,0	55,5		
18	10,35	29,2	42,0	56,5		
21	10,34	28,5	42,1	57,0		
24	10,34	29,0	42,1	58,5		

ДАТА 05.09.13

ВРЕМЯ 12.00

ОБЪЕКТ: ГОРЧИЧНЫЙ ЖМЫХ

ТОЛЩИНА ПЛАСТИНЫ: $1,0 \cdot 10^{-3}$ м

ВРЕМЯ, МИН.	МАССА ПРОДУКТА, Г.	ТЕМПЕРАТУРА, °С			МОЩНОСТЬ МАГНЕТРОН А, Вт.	СКОРОСТЬ ВОЗДУХА, М/С
		ИСХОДНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ОТРАБОТАННОГ О ТЕПЛОНОСИТЕЛ Я	ПРОДУКТА		
0	11,85	23,9	27,9		800	0,900
3	11,15	28,3	39,2			
6	10,90	28,0	39,4			
9	10,72	29,3	39,9			
12	10,62	28,4	40,0			
15	10,57	28,5	39,4			
18	10,55	29,1	39,4			
21	10,54	29,4	39,3			
24	10,54	28,3	39,5			

Химический состав свежего и высушенного горького перца



Федеральное агентство
по техническому регулированию и метрологии

Федеральное государственное учреждение
«МЕНДЕЛЕЕВСКИЙ ЦЕНТР СТАНДАРТИЗАЦИИ,
МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ

**ОРЕХОВО-ЗУЕВСКИЙ ФИЛИАЛ
ФГУ «Менделеевский ЦСМ»**

ул. Коминтерна, д. 1, г. Орехово-Зуево, Московская обл., 142608
тел.: (495) 412-14-09; факс: (495) 412-07-94
e-mail: ezcsm@ozcsm.ru www.ozcsm.ru

Банк получателя: Отделение №1 Московского ГТУ Банка России
г. Москва 705, БИК 044583001,
расчетный счет 40503810900001009012,
получатель: ИНН 5044000470 КПП 504401001
УФК по Московской области (Отделение по Солнечногорскому
муниципальному району УФК по МО (ФГУ «Менделеевский ЦСМ»
л/с 03481455600)

№ _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Директор
испытательного центра
пищевой продукции



Фролова И.В.

» _____ 2012 г.

АКТ № - 1917 Л

о проведении лабораторных испытаний
перца

Цель испытаний: определение химического, минерального, витаминного и аминокислотного состава образцов перца

Опыты проведены с использованием высокоэффективного жидкостного хроматографа HP 3900 MXL, оснащенного изократическим насосом, устройством для введения образца и спектрофотометрическим детектором (колонок: Hypesil ODS; 200×2,1мм; размер частиц 5 мкм; Hp-Innowax; 30 м ×0,25 мкм [каталожный номер 19091N-133, 135]), а также газового хроматографа, оснащенного пламенно-ионизационным детектором и системой электронного регулирования давления HP 3000 CR и Капель 105.

Методики проведения исследований представлены в Приложении 1.

Заказчик: Воронежский государственный университет инженерных технологий,
Дорохин Р. В.

Результаты испытаний: результаты проведения опытов представлены в Приложении 2.

Заключение: определен химический, минеральный, витаминный и аминокислотный составы образцов. Экспериментальные данные позволяют рекомендовать проведение опытно-промышленных испытаний.

Начальник испытательной
лаборатории, д.х.н.

Инженер-исследователь



Волкова Н.Ф.

Подкопаев Р.Н.

Приложение 1

МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

В соответствии с целью и задачами лабораторных испытаний в качестве объектов исследований использовали образцы перца.

Наименование определяемых характеристик, показателей	Обозначение НД, регламентирующих значения характеристик, показателей	Обозначение НД на методы испытаний и исследований (измерений)	Примечание
1	2	3	4
Витамины	–	ГОСТ 30417-96, ГОСТ Р 52741-2007, ГОСТ Р 50928-96, МУК 2015.5-99	
Аминокислоты	–	ГОСТ Р 52200-2004 (ИСО 3977-2-1997)	
Минеральный состав	–	ГОСТ Р 51429-99 (РФ), ГОСТ Р 51430-99 (РФ)	
Углеводы (общий сахар)	–	ГОСТ Р 52187-2003, ГОСТ 8756.13-87	

Приложение 2

№ п.п.	Измеряемые параметры	Ед. изм./ образцы	Перец (исходный образец)	Перец (образец после сушки)
1	Общая влага	%	88,02 ± 0,50	9,17 ± 0,50
2	Массовая доля белка	%	1,87 ± 0,02	15,12 ± 0,04
3	Массовая доля жира	%	0,44 ± 0,04	4,20 ± 0,04
4	Углеводы (общий сахар)	%	8,80 ± 0,04	61,76 ± 0,04
5	Зола	%	0,87 ± 0,04	9,75 ± 0,04
Минеральный состав				
6	Натрий (Na)	мг	9,07 ± 0,04	67,56 ± 0,04
7	Калий (K)	мг	212,56 ± 0,04	1587,12 ± 0,04
8	Кальций (Ca)	мг	14,07 ± 0,04	104,17 ± 0,02
9	Магний (Mg)	мг	23,19 ± 0,04	171,14 ± 0,02
10	Железо (Fe)	мг	1,03 ± 0,04	7,72 ± 0,04
11	Фосфор (P)	мг	43,56 ± 0,04	315,65 ± 0,02
Аминокислотный состав (незаменимые)				
12	Валин	г/100 г белка	0,082 ± 0,004	0,442 ± 0,004
13	Изолейцин	г/100 г белка	0,074 ± 0,004	0,407 ± 0,002
14	Лейцин	г/100 г белка	0,121 ± 0,004	0,639 ± 0,004
15	Лизин	г/100 г белка	0,092 ± 0,002	0,482 ± 0,002
16	Метионин + цистин	г/100 г белка	0,065 ± 0,002	0,364 ± 0,002
17	Треонин	г/100 г белка	0,072 ± 0,004	0,397 ± 0,004
18	Фенилаланин + тирозин	г/100 г белка	0,122 ± 0,004	0,634 ± 0,004
Содержание тяжелых металлов				
19	Ртуть (Hg)	мг/г	-	-
20	Свинец (Pb)	мг/г	-	-
21	Мышьяк (As)	мг/г	-	-
22	Кадмий (Cd)	мг/г	-	-
23	Цезий (Cs ¹³⁷)	мг/г	-	-
24	Стронций (Sr ⁹⁰)	мг/г	-	-
Содержание пестицидов				
25	ГЧЦГ	мг/кг	-	-
26	ДДТ	мг/кг	-	-
Микробиологические показатели				
27	КМАФАнМ	КОЕ/г	84	60
28	<i>S. aureus</i>	КОЕ/г	-	-
29	БГКП (колиформы)	КОЕ/г	-	-
Витаминный состав				
30	Витамин А	мкг%	48,1 ± 0,2	171,5 ± 0,2
31	Тиамин (В ₁)	мг%	0,072 ± 0,004	0,262 ± 0,004
32	Рибофлавин (В ₂)	мг%	0,094 ± 0,004	0,367 ± 0,004
33	Витамин Е	мг%	0,694 ± 0,002	2,516 ± 0,004
34	Витамин С	мг%	143,7 ± 0,2	302,2 ± 0,1
35	Ниацин (РР)	мг%	1,24 ± 0,10	3,09 ± 0,10

Химический состав свежего и высушенного чеснока



Федеральное агентство
по техническому регулированию и метрологии

Федеральное государственное учреждение
«МЕНДЕЛЕЕВСКИЙ ЦЕНТР СТАНДАРТИЗАЦИИ,
МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ

**ОРЕХОВО-ЗУЕВСКИЙ ФИЛИАЛ
ФГУ «Менделеевский ЦСМ»**

ул. Коминтерна, д. 1, г. Орехово-Зуево, Московская обл., 142608
тел.: (495) 412-14-09; факс: (495) 412-07-94
e-mail: ezcsm@ozcsm.ru www.ozcsm.ru

Банк получателя: Отделение №1 Московского ГТУ Банка России
г. Москва 705, БИК 044583001,
расчетный счет 40503810900001009012,
получатель: ИНН 5044000470 КПП 504401001
УФК по Московской области (Отделение по Солнечногорскому
муниципальному району УФК по МО (ФГУ «Менделеевский ЦСМ»
л/с 03481455600)

УТВЕРЖДАЮ

Директор
испытательного центра
пищевой продукции



Фролова И.В.

» _____ 2012 г.

№ _____ от _____

А К Т № - 1 9 1 7 Л

о проведении лабораторных испытаний
перца

Цель испытаний: определение химического, минерального, витаминного и аминокислотного состава образцов перца

Опыты проведены с использованием высокоэффективного жидкостного хроматографа HP 3900 MXL, оснащенного изократическим насосом, устройством для введения образца и спектрофотометрическим детектором (колонок: Hypesil ODS; 200×2,1мм; размер частиц 5 мкм; Hp-Innowax; 30 м ×0,25 мкм [каталожный номер 19091N-133, 135]), а также газового хроматографа, оснащенного пламенно-ионизационным детектором и системой электронного регулирования давления HP 3000 CR и Капель 105.

Методики проведения исследований представлены в Приложении 1.

Заказчик: Воронежский государственный университет инженерных технологий,
Дорохин Р. В.

Результаты испытаний: результаты проведения опытов представлены в Приложении 2.

Заключение: определен химический, минеральный, витаминный и аминокислотный составы образцов. Экспериментальные данные позволяют рекомендовать проведение опытно-промышленных испытаний.

Начальник испытательной
лаборатории, д.х.н.

Инженер-исследователь



Волкова Н.Ф.

Подкопаев Р.Н.

Приложение 1

МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

В соответствии с целью и задачами лабораторных испытаний в качестве объектов исследований использовали образцы перца.

Наименование определяемых характеристик, показателей	Обозначение НД, регламентирующих значения характеристик, показателей	Обозначение НД на методы испытаний и исследований (измерений)	Примечание
1	2	3	4
Витамины	–	ГОСТ 30417-96, ГОСТ Р 52741-2007, ГОСТ Р 50928-96, МУК 2015.5-99	
Аминокислоты	–	ГОСТ Р 52200-2004 (ИСО 3977-2-1997)	
Минеральный состав	–	ГОСТ Р 51429-99 (РФ), ГОСТ Р 51430-99 (РФ)	
Углеводы (общий сахар)	–	ГОСТ Р 52187-2003, ГОСТ 8756.13-87	

Приложение 2

№ п.п.	Измеряемые параметры	Ед. изм./ образцы	Перец (исходный образец)	Перец (образец после сушки)
1	Общая влага	%	88,02 ± 0,50	9,17 ± 0,50
2	Массовая доля белка	%	1,87 ± 0,02	15,12 ± 0,04
3	Массовая доля жира	%	0,44 ± 0,04	4,20 ± 0,04
4	Углеводы (общий сахар)	%	8,80 ± 0,04	61,76 ± 0,04
5	Зола	%	0,87 ± 0,04	9,75 ± 0,04
Минеральный состав				
6	Натрий (Na)	мг	9,07 ± 0,04	67,56 ± 0,04
7	Калий (K)	мг	212,56 ± 0,04	1587,12 ± 0,04
8	Кальций (Ca)	мг	14,07 ± 0,04	104,17 ± 0,02
9	Магний (Mg)	мг	23,19 ± 0,04	171,14 ± 0,02
10	Железо (Fe)	мг	1,03 ± 0,04	7,72 ± 0,04
11	Фосфор (P)	мг	43,56 ± 0,04	315,65 ± 0,02
Аминокислотный состав (незаменимые)				
12	Валин	г/100 г белка	0,082 ± 0,004	0,442 ± 0,004
13	Изолейцин	г/100 г белка	0,074 ± 0,004	0,407 ± 0,002
14	Лейцин	г/100 г белка	0,121 ± 0,004	0,639 ± 0,004
15	Лизин	г/100 г белка	0,092 ± 0,002	0,482 ± 0,002
16	Метионин + цистин	г/100 г белка	0,065 ± 0,002	0,364 ± 0,002
17	Треонин	г/100 г белка	0,072 ± 0,004	0,397 ± 0,004
18	Фенилаланин + тирозин	г/100 г белка	0,122 ± 0,004	0,634 ± 0,004
Содержание тяжелых металлов				
19	Ртуть (Hg)	мг/г	-	-
20	Свинец (Pb)	мг/г	-	-
21	Мышьяк (As)	мг/г	-	-
22	Кадмий (Cd)	мг/г	-	-
23	Цезий (Cs ¹³⁷)	мг/г	-	-
24	Стронций (Sr ⁹⁰)	мг/г	-	-
Содержание пестицидов				
25	ГЧЦГ	мг/кг	-	-
26	ДДТ	мг/кг	-	-
Микробиологические показатели				
27	КМАФАнМ	КОЕ/г	84	60
28	<i>S. aureus</i>	КОЕ/г	-	-
29	БГКП (колиформы)	КОЕ/г	-	-
Витаминный состав				
30	Витамин А	мкг%	48,1 ± 0,2	171,5 ± 0,2
31	Тиамин (В ₁)	мг%	0,072 ± 0,004	0,262 ± 0,004
32	Рибофлавин (В ₂)	мг%	0,094 ± 0,004	0,367 ± 0,004
33	Витамин Е	мг%	0,694 ± 0,002	2,516 ± 0,004
34	Витамин С	мг%	143,7 ± 0,2	302,2 ± 0,1
35	Ниацин (РР)	мг%	1,24 ± 0,10	3,09 ± 0,10

Химический состав свежего и высушенного горчичного жмыха



Федеральное агентство
по техническому регулированию и метрологии

Федеральное государственное учреждение
«МЕНДЕЛЕЕВСКИЙ ЦЕНТР СТАНДАРТИЗАЦИИ,
МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ»

**ОРЕХОВО-ЗУЕВСКИЙ ФИЛИАЛ
ФГУ «Менделеевский ЦСМ»**

ул. Коминтерна, д. 1, г. Орехово-Зуево, Московская обл., 142608
тел.: (495) 412-14-09; факс: (495) 412-07-94
e-mail: ezcsm@ozcsm.ru www.ozcsm.ru

Банк получателя: Отделение №1 Московского ГТУ Банка России
г. Москва 705, БИК 044583001,
расчетный счет 4050381090001009012,
получатель: ИНН 5044000470 КПП 504401001
УФК по Московской области (Отделение по Солнечногорскому
муниципальному району УФК по МО (ФГУ «Менделеевский ЦСМ»
л/с 03481455600)

№ _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Директор
испытательного центра
пищевой продукции



Фролова И.В.

» _____ 2013 г.

А К Т № - 19597 Л

о проведении лабораторных испытаний
горчичного жмыха

Цель испытаний: определение химического, минерального, витаминного и аминокислотного состава образцов горчичного жмыха.

Опыты проведены с использованием высокоэффективного жидкостного хроматографа HP 3900 MXL, оснащенного изократическим насосом, устройством для введения образца и спектрофотометрическим детектором (колонки: Hypesil ODS; 200×2,1мм; размер частиц 5 мкм; Hp-Innowax; 30 м ×0,25 мкм [каталожный номер 19091N-133, 135]), а также газового хроматографа, оснащенного пламенно-ионизационным детектором и системой электронного регулирования давления HP 3000 CR и Капель 105.

Методики проведения исследований представлены в Приложении 1.

Заказчик: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», Дорохин Р. В.

Результаты испытаний: результаты проведения опытов представлены в Приложении 2.

Заключение: определен химический, минеральный, витаминный и аминокислотный составы образцов. Экспериментальные данные позволяют рекомендовать проведение опытно-промышленных испытаний.

Начальник испытательной
лаборатории, д.х.н.

Инженер-исследователь



Волкова Н.Ф.

Подкопаев Р.Н.

Приложение 1

МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

В соответствии с целью и задачами лабораторных испытаний в качестве объектов исследований использовали образцы горчичного жмыха.

Наименование определяемых характеристик, показателей	Обозначение НД, регламентирующих значения характеристик, показателей	Обозначение НД на методы испытаний и исследований (измерений)	Примечание
1	2	3	4
Витамины	–	ГОСТ 30417-96, ГОСТ Р 52741-2007, ГОСТ Р 50928-96, МУК 2015.5-99	
Аминокислоты	–	ГОСТ Р 52200-2004 (ИСО 3977-2-1997)	
Минеральный состав	–	ГОСТ Р 51429-99 (РФ), ГОСТ Р 51430-99 (РФ)	
Углеводы (общий сахар)	–	ГОСТ Р 52187-2003, ГОСТ 8756.13-87	

Приложение 2

№ п./п.	Измеряемые параметры	Ед. изм./ образцы	Горчичный жмых (исходный образец)	Горчичный жмых (образец после сушки)
1	Общая влага	%	17,02 ± 0,50	5,98 ± 0,50
2	Массовая доля белка	%	35,17 ± 0,02	38,91 ± 0,04
3	Массовая доля жира	%	18,03 ± 0,04	19,67 ± 0,02
4	Углеводы (общий сахар)	%	10,89 ± 0,02	12,14 ± 0,02
5	Клетчатка	%	12,26 ± 0,02	13,71 ± 0,04
6	Зола	%	6,63 ± 0,04	9,59 ± 0,04
Минеральный состав				
7	Натрий (Na)	мг	13,0 ± 0,2	14,5 ± 0,4
8	Калий (K)	мг	578,2 ± 0,4	651,7 ± 0,4
9	Кальций (Ca)	мг	132,2 ± 0,4	147,7 ± 0,4
10	Магний (Mg)	мг	172,6 ± 0,4	194,9 ± 0,2
11	Железо (Fe)	мг	8,1 ± 0,2	9,1 ± 0,4
12	Фосфор (P)	мг	615,1 ± 0,4	696,0 ± 0,4
Аминокислотный состав (незаменимые)				
13	Валин	г/100 г белка	1,61 ± 0,02	1,45 ± 0,02
14	Изолейцин	г/100 г белка	1,28 ± 0,40	1,17 ± 0,02
15	Лейцин	г/100 г белка	2,19 ± 0,02	2,01 ± 0,04
16	Лизин	г/100 г белка	1,97 ± 0,02	1,78 ± 0,04
17	Метионин + цистин	г/100 г белка	1,37 ± 0,02	1,27 ± 0,02
18	Треонин	г/100 г белка	0,98 ± 0,04	0,89 ± 0,02
19	Фенилаланин + тирозин	г/100 г белка	2,08 ± 0,02	1,87 ± 0,04
Витаминный состав				
20	Витамин А	мкг%	2,09 ± 0,02	1,65 ± 0,04
21	Тиамин (В ₁)	мг%	0,81 ± 0,04	0,65 ± 0,04
22	Рибофлавин (В ₂)	мг%	0,27 ± 0,02	0,21 ± 0,02
23	Витамин Е	мг%	5,12 ± 0,02	4,15 ± 0,02
24	Витамин С	мг%	7,05 ± 0,04	5,02 ± 0,04
25	Ниацин (РР)	мг%	4,73 ± 0,02	3,67 ± 0,02

Определение теплофизических характеристик свежего горького перца, чеснока и горчичного жмыха

Определение зависимости теплофизических характеристик плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха проводились на измерительной установке Cossfield RT-1394H (National Instruments).

Методика проведения эксперимента включала следующие операции: навеска заданной массы (15 г) исследуемого продукта помещается в полусферическое углубление внешнего цилиндра установки; установку внутреннего цилиндра; включение термостата; регистрацию установившейся среднеинтегральной температуры в слое нагревателя измерительного устройства; отключение нагревателя измерительного устройства; регистрацию через заданный интервал времени $\Delta\tau = 20$ °С среднеинтегральной температуры нагревателя измерительного устройства; отключение привода внешнего цилиндра при достижении стационарной температуры; определение теплофизических характеристик исследуемого вида горького перца по экспериментальной информации с использованием расчетных соотношений, полученных в ходе решения обратной задачи теплопроводности с применением пакета программ Lab View 7.0.

Методика проведения эксперимента при определении плотности образцов горького перца, чеснока и горчичного жмыха заключается в том, что навеска заданной массы (15 г) исследуемого объекта помещается в полусферическое углубление внешнего цилиндра установки Cossfield RT-1394H (National Instruments), определение плотности исследуемого образца удовлетворяющей условию:

$$\sum_{i=1}^{i=K} (\sigma - \rho \cdot \gamma_i^n)^2 \rightarrow \min. \quad (1)$$

Температуропроводность a_M ($\text{м}^2/\text{с}$) продуктов определяется по уравнению

$$a_M = \frac{x^2}{4(z'')\tau''}, \quad (2)$$

где x – толщина образца, м; z'' – интеграл Гаусса, определяемый в зависимости от отношения τ''/τ' ; τ'' , τ' – время изменения температуры в плоскости соприкосновения продуктов с эталоном, с.

Теплопроводность λ_M ($\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$) плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха определяется по эмпирической формуле

$$\lambda_M = \lambda_3 \frac{1-h}{1+h} \sqrt{\frac{a_M}{a_3}}, \quad (3)$$

где λ_M , a_M – теплопроводность и температуропроводность образца исследуемого продукта; λ_3 , a_3 – теплопроводность и температуропроводность эталона; h – вспомогательная величина, определяемая по формуле

$$h = \frac{t''}{t_{\text{гр}}[1-\Phi(z'')]} - 1, \quad (4)$$

где t'' – температура в плоскости соприкосновения образца продукта и эталона, определяемая по полученной диаграмме, $^{\circ}\text{С}$; $t_{\text{гр}}$ – температура греющей поверхности, $^{\circ}\text{С}$; $\Phi(z'')$ – функция Гаусса.

Удельная теплоемкость исследуемого продукта c_M ($\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$) определяется по зависимости

$$c_M = \lambda_M / (a_M \rho_M), \quad (5)$$

где ρ_M – плотность образца, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Определение теплофизических характеристик и плотности образцов горького перца, чеснока и горчичного жмыха



Федеральное агентство
по техническому регулированию и метрологии

Федеральное государственное учреждение
«МЕНДЕЛЕЕВСКИЙ ЦЕНТР СТАНДАРТИЗАЦИИ,
МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ»

**ОРЕХОВО-ЗУЕВСКИЙ ФИЛИАЛ
ФГУ «Менделеевский ЦСМ»**

ул. Коминтерна, д. 1, г. Орехово-Зуево, Московская обл., 142608
тел.: (495) 412-14-09; факс: (495) 412-07-94
e-mail: ezcsm@ozcsm.ru www.ozcsm.ru

Банк получателя: Отделение №1 Московского ГТУ Банка России
г. Москва 705, БИК 044583001,
расчетный счет 40503810900001009012,
получатель: ИНН 5044000470 КПП 504401001
УФК по Московской области (Отделение по Солнечногорскому
муниципальному району УФК по МО (ФГУ «Менделеевский ЦСМ»
л/с 03481455600)

№ _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Директор
испытательного центра
пищевой продукции



Фролова И.В.

» _____ 2012 г.

А К Т № 1 9 2 3 - Л

о проведении лабораторных испытаний
перца

Цель испытаний: определение теплофизических характеристик и плотности образцов перца.

Опыты проведены на установке для определения теплофизических и реологических характеристик вязкоупругих жидкостей *Cossfield* RT-1394H (National Instruments).

Методики проведения опытов представлены в Приложении 1.

Заказчик: Воронежский государственный университет инженерных технологий,
Дорохин Р. В.

Результаты испытаний: результаты опытов по определению теплофизических характеристик и плотности перца представлены в Приложении 2.

Заключение: определены основные теплофизические параметры и плотность представленных образцов. Экспериментальные данные позволяют рекомендовать проведение опытно-промышленных испытаний.

Начальник испытательной
лаборатории, д.х.н.

Инженер-исследователь



Волкова Н.Ф.

Подкопаев Р.Н.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБРАЗЦОВ ПЕРЦА

На первом этапе выполняются следующие операции:

- навеска заданной массы (15 г) исследуемого объекта помещается в полусферическое углубление внешнего цилиндра установки *Cossfield* RT-1394H (National Instruments);
- установка внутреннего цилиндра;
- включение термостата;
- приведение во вращение внешнего цилиндра измерительного устройства с заданной угловой скоростью $\omega = 0,1$ м/с, обеспечивающей создание в слое исследуемой жидкости скорости сдвига $\gamma = 2,5$ м/с;
- включение нагревателя измерительного устройства;
- регистрация установившейся среднеинтегральной температуры в слое нагревателя измерительного устройства;

Второй этап включает в себя следующие операции:

- отключение нагревателя измерительного устройства;
- регистрация через заданный интервал времени $\Delta t = 20$ °С среднеинтегральной температуры нагревателя измерительного устройства;
- отключение привода внешнего цилиндра при достижении стационарной температуры;
- определение теплофизических характеристик исследуемого материала по экспериментальной информации с использованием расчетных соотношений, полученным в ходе решения обратной задачи теплопроводности с применением пакета программ Lab View 7.0.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПЛОТНОСТИ ОБРАЗЦОВ ПЕРЦА

1. Навеска заданной массы (15 г) исследуемого объекта помещается в полусферическое углубление внешнего цилиндра установки *Cossfield* RT-1394H (National Instruments);
2. Установка внутреннего цилиндра;
3. Включение термостата;
4. Приведение во вращение внешнего цилиндра измерительного устройства с заданной угловой скоростью $\omega = 0,1$ м/с, обеспечивающей создание в образце скорости сдвига $\gamma = 1,0$ м/с;
5. Регистрация частоты выходного сигнала датчика силы и определение по расчетным соотношениям установившегося значения величины касательного напряжения σ при фиксированной скорости сдвига γ и температуре 20 °С;
6. Увеличение скорости сдвига в слое исследуемого образца на $\Delta\gamma = 0,05$ м/с;
7. Выполнение заданного числа k раз пунктов 4 - 6 настоящей методики;
8. Определение плотности исследуемого образца удовлетворяющей условию;

$$\sum_{i=1}^{i=k} (\sigma - \rho \cdot \gamma_i^n)^2 \rightarrow \min$$

Приложение 2

№ п./п.	Интервал температур	Ед. изм.	Образцы перца			
			W ~ 88,02 %		W ~ 9,17 %	
			<i>исходная</i>		<i>после сушки</i>	
			Коэффициент температуропроводности (a), $\times 10^8$ м ² /с			
1	20	°С	6,81	± 0,04	6,47	± 0,04
2	40	°С	6,87	± 0,04	6,53	± 0,04
3	60	°С	6,94	± 0,04	6,58	± 0,02
4	80	°С	6,99	± 0,04	6,64	± 0,02
			Коэффициент теплопроводности (λ), Вт/(м·К)			
5	20	°С	0,277	± 0,002	0,182	± 0,004
6	40	°С	0,282	± 0,002	0,186	± 0,002
7	60	°С	0,287	± 0,002	0,190	± 0,002
8	80	°С	0,290	± 0,002	0,194	± 0,004
			Массовая удельная теплоемкость (c), Дж/(кг·К)			
9	20	°С	3778,15	± 0,05	2390,01	± 0,04
10	40	°С	3807,02	± 0,05	2422,52	± 0,04
11	60	°С	3838,31	± 0,05	2453,17	± 0,05
12	80	°С	3860,05	± 0,05	2487,02	± 0,05
13	Плотность (ρ)	кг/м ³	1076,4		1175,2	



Федеральное агентство
по техническому регулированию и метрологии

Федеральное государственное учреждение
«МЕНДЕЛЕЕВСКИЙ ЦЕНТР СТАНДАРТИЗАЦИИ,
МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ

**ОРЕХОВО-ЗУЕВСКИЙ ФИЛИАЛ
ФГУ «Менделеевский ЦСМ»**

ул. Коминтерна, д. 1, г. Орехово-Зуево, Московская обл., 142608
тел.: (495) 412-14-09; факс: (495) 412-07-94
e-mail: ezcsm@ozcsm.ru www.ozcsm.ru

Банк получателя: Отделение №1 Московского ГТУ Банка России
г. Москва 705, БИК 044583001,
расчетный счет 40503810900001009012,
получатель: ИНН 5044000470 КПП 504401001
УФК по Московской области (Отделение по Солнечногорскому
муниципальному району УФК по МО (ФГУ «Менделеевский ЦСМ»
л/с 03481455600)

УТВЕРЖДАЮ

Директор
испытательного центра
пищевой продукции



Фролова И.В.

» _____ 2013 г.

А К Т № 1 9 1 7 8 - Л

о проведении лабораторных испытаний
чеснока

Цель испытаний: определение теплофизических характеристик и плотности образцов чеснока.

Опыты проведены на установке для определения теплофизических и реологических характеристик вязкоупругих жидкостей *Cossfield* RT-1394H (National Instruments).

Методики проведения опытов представлены в Приложении 1.

Заказчик: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», Дорохин Р. В.

Результаты испытаний: результаты опытов по определению теплофизических характеристик и плотности образцов представлены в Приложении 2.

Заключение: определены основные теплофизические параметры и плотность представленных образцов. Экспериментальные данные позволяют рекомендовать проведение опытно-промышленных испытаний.

Начальник испытательной
лаборатории, д.х.н.

Инженер-исследователь



Волкова Н.Ф.

Подкопаев Р.Н.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБРАЗЦОВ

На первом этапе выполняются следующие операции:

- навеска заданной массы (10 г) исследуемого объекта помещается в полусферическое углубление внешнего цилиндра установки *Cossfield* RT-1394H (National Instruments);
- установка внутреннего цилиндра;
- включение термостата;
- приведение во вращение внешнего цилиндра измерительного устройства с заданной угловой скоростью $\omega = 0,1$ м/с, обеспечивающей создание в слое исследуемой жидкости скорости сдвига $\gamma = 2,5$ м/с;
- включение нагревателя измерительного устройства;
- регистрация установившейся среднеинтегральной температуры в слое нагревателя измерительного устройства;

Второй этап включает в себя следующие операции:

- отключение нагревателя измерительного устройства;
- регистрация через заданный интервал времени $\Delta t = 10$ °С среднеинтегральной температуры нагревателя измерительного устройства;
- отключение привода внешнего цилиндра при достижении стационарной температуры;
- определение теплофизических характеристик исследуемого материала по экспериментальной информации с использованием расчетных соотношений, полученным в ходе решения обратной задачи теплопроводности с применением пакета программ Lab View 7.0.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПЛОТНОСТИ ОБРАЗЦОВ

1. Навеска заданной массы (10 г) исследуемого объекта помещается в полусферическое углубление внешнего цилиндра установки *Cossfield* RT-1394H (National Instruments);
2. Установка внутреннего цилиндра;
3. Включение термостата;
4. Приведение во вращение внешнего цилиндра измерительного устройства с заданной угловой скоростью $\omega = 0,1$ м/с, обеспечивающей создание в образце скорости сдвига $\gamma = 1,0$ м/с;
5. Регистрация частоты выходного сигнала датчика силы и определение по расчетным соотношениям установившегося значения величины касательного напряжения σ при фиксированной скорости сдвига γ и температуре 10 °С;
6. Увеличение скорости сдвига в слое исследуемого образца на $\Delta\gamma = 0,05$ м/с;
7. Выполнение заданного числа k раз пунктов 4 - 6 настоящей методики;
8. Определение плотности исследуемого образца удовлетворяющей условию;

$$\sum_{i=1}^{i=k} (\sigma - \rho \cdot \gamma_i^n)^2 \rightarrow \min$$

Приложение 2

№ п./п.	Интервал температур	Ед. изм.	Образцы чеснока	
			W ~ 58,72 %	W ~ 5,62 %
			<i>исходный</i>	<i>после сушки</i>
			Коэффициент температуропроводности (a), $\times 10^8$ м ² /с	
1	20	°С	6,97 ± 0,04	6,52 ± 0,04
2	40	°С	6,93 ± 0,02	6,47 ± 0,02
3	60	°С	6,88 ± 0,04	6,42 ± 0,04
4	80	°С	6,85 ± 0,02	6,38 ± 0,04
			Коэффициент теплопроводности (λ), Вт/(м·К)	
5	20	°С	0,275 ± 0,004	0,197 ± 0,002
6	40	°С	0,277 ± 0,002	0,199 ± 0,002
7	60	°С	0,279 ± 0,002	0,201 ± 0,004
8	80	°С	0,281 ± 0,004	0,203 ± 0,002
			Массовая удельная теплоемкость (c), Дж/(кг·К)	
9	20	°С	3307,51 ± 0,15	2314,15 ± 0,15
10	40	°С	3351,02 ± 0,10	2359,07 ± 0,15
11	60	°С	3394,75 ± 0,15	2401,71 ± 0,15
12	80	°С	3439,67 ± 0,15	2443,05 ± 0,10
13	Плотность (ρ)	кг/м ³	1192,9	1303,9



Федеральное агентство
по техническому регулированию и метрологии

Федеральное государственное учреждение
«МЕНДЕЛЕЕВСКИЙ ЦЕНТР СТАНДАРТИЗАЦИИ,
МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ»

**ОРЕХОВО-ЗУЕВСКИЙ ФИЛИАЛ
ФГУ «Менделеевский ЦСМ»**

ул. Коминтерна, д. 1, г. Орехово-Зуево, Московская обл., 142608
тел.: (495) 412-14-09; факс: (495) 412-07-94
e-mail: ezcsm@ozcsm.ru www.ozcsm.ru

Банк получателя: Отделение №1 Московского ГТУ Банка России
г. Москва 705, БИК 044583001,
расчетный счет 40503810900001009012,
получатель: ИНН 5044000470 КПП 504401001
УФК по Московской области (Отделение по Солнечногорскому
муниципальному району УФК по МО (ФГУ «Менделеевский ЦСМ»
л/с 03481455600)

УТВЕРЖДАЮ

Директор
испытательного центра
пищевой продукции



Фролова И.В.

» 2013 г.

А К Т № 19595 - Л

о проведении лабораторных испытаний
горчичного жмыха

Цель испытаний: определение теплофизических характеристик и плотности образцов горчичного жмыха.

Опыты проведены на установке для определения теплофизических и реологических характеристик вязкоупругих жидкостей *Cosfield* RT-1394H (National Instruments).

Методики проведения опытов представлены в Приложении 1.

Заказчик: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», Дорохин Р. В.

Результаты испытаний: результаты опытов по определению теплофизических характеристик и плотности образцов представлены в Приложении 2.

Заключение: определены основные теплофизические параметры и плотность представленных образцов. Экспериментальные данные позволяют рекомендовать проведение опытно-промышленных испытаний.

Начальник испытательной
лаборатории, д.х.н.

Инженер-исследователь



Волкова Н.Ф.

Подкопаев Р.Н.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБРАЗЦОВ

На первом этапе выполняются следующие операции:

- навеска заданной массы (10 г) исследуемого объекта помещается в полусферическое углубление внешнего цилиндра установки *Cossfield* RT-1394H (National Instruments);
- установка внутреннего цилиндра;
- включение термостата;
- приведение во вращение внешнего цилиндра измерительного устройства с заданной угловой скоростью $\omega = 0,1$ м/с, обеспечивающей создание в слое исследуемой жидкости скорости сдвига $\gamma = 2,5$ м/с;
- включение нагревателя измерительного устройства;
- регистрация установившейся среднеинтегральной температуры в слое нагревателя измерительного устройства;

Второй этап включает в себя следующие операции:

- отключение нагревателя измерительного устройства;
- регистрация через заданный интервал времени $\Delta t = 10$ °С среднеинтегральной температуры нагревателя измерительного устройства;
- отключение привода внешнего цилиндра при достижении стационарной температуры;
- определение теплофизических характеристик исследуемого материала по экспериментальной информации с использованием расчетных соотношений, полученным в ходе решения обратной задачи теплопроводности с применением пакета программ Lab View 7.0.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПЛОТНОСТИ ОБРАЗЦОВ

1. Навеска заданной массы (10 г) исследуемого объекта помещается в полусферическое углубление внешнего цилиндра установки *Cossfield* RT-1394H (National Instruments);
2. Установка внутреннего цилиндра;
3. Включение термостата;
4. Приведение во вращение внешнего цилиндра измерительного устройства с заданной угловой скоростью $\omega = 0,1$ м/с, обеспечивающей создание в образце скорости сдвига $\gamma = 1,0$ м/с;
5. Регистрация частоты выходного сигнала датчика силы и определение по расчетным соотношениям установившегося значения величины касательного напряжения σ при фиксированной скорости сдвига γ и температуре 10 °С;
6. Увеличение скорости сдвига в слое исследуемого образца на $\Delta\gamma = 0,05$ м/с;
7. Выполнение заданного числа k раз пунктов 4 - 6 настоящей методики;
8. Определение плотности исследуемого образца удовлетворяющей условию;

$$\sum_{i=1}^{i=k} (\sigma - \rho \cdot \gamma_i^n)^2 \rightarrow \min$$

Приложение 2

№ п./п.	Интервал температур	Ед. изм.	Образцы горчичного жмыха	
			W ~ 17,02 %	W ~ 5,98 %
			исходный	после сушки
			Коэффициент температуропроводности (a), $\times 10^8$ м ² /с	
1	20	°С	6,65 ± 0,04	6,32 ± 0,04
2	40	°С	6,61 ± 0,02	6,27 ± 0,02
3	60	°С	6,57 ± 0,04	6,22 ± 0,04
4	80	°С	6,53 ± 0,02	6,17 ± 0,04
			Коэффициент теплопроводности (λ), Вт/(м·К)	
5	20	°С	0,158 ± 0,002	0,111 ± 0,002
6	40	°С	0,162 ± 0,004	0,115 ± 0,002
7	60	°С	0,165 ± 0,004	0,120 ± 0,004
8	80	°С	0,167 ± 0,002	0,125 ± 0,002
			Массовая удельная теплоемкость (c), Дж/(кг·К)	
9	20	°С	2303,49 ± 0,15	1317,52 ± 0,15
10	40	°С	2370,02 ± 0,10	1380,15 ± 0,10
11	60	°С	2435,54 ± 0,15	1444,62 ± 0,15
12	80	°С	2473,81 ± 0,15	1515,05 ± 0,15
13	Плотность (ρ)	кг/м ³	1033,6	1141,9

Эксергетический анализ СВЧ - конвективной сушки специй

Степень эффективности теплообменных процессов оценивается анализом рассматриваемых материальных потоков с помощью эксергии на основе второго закона термодинамики. С целью получения наиболее полной информации процесса отжима был выполнен эксергетический анализ и составлен эксергетический баланс.

Эксергия в каждой контрольной поверхности изучаемой технологической системы сушки, состоящей из классических необратимых процессов, уменьшается с течением времени, что связано с диссипацией энергии [1, 2]:

$$\sum E_3 = \sum E_9 + \sum D, \quad (1)$$

где $\sum E_3$ - суммарная эксергия вводимых в контрольную поверхность материальных и энергетических потоков; $\sum E_9$ - суммарная эксергия выводимых из контрольной поверхности полезных материальных и энергетических потоков; $\sum D = T_0 \cdot \Delta S$ - суммарные эксергетические потери (уравнение Гюи-Стодолы).

Соотношение (1) для рассматриваемой технологии [патент] рассматривалось в следующем виде:

$$E_1^H + \sum E_2^H + \sum E_2^H + \sum E_9^H + = E_1^K + \sum E_2^K + \sum D_i + \sum D_e, \quad (2)$$

где слагаемые этих уравнений – эксергия (кДж): исходного сырья (горький перец) E_1^H ; потоков атмосферного воздуха $\sum E_2^H$; питьевой воды $\sum E_3^H$, суммарной электроэнергии $\sum E_9^H$; высушенного измельченного перца

(готовый продукт) E_1^k ; воздуха, выбрасываемого в атмосферу $\sum E_2^k$, отводимой после мойки и очистки перца воды $\sum E_3^k$; сумма потерь эксергии в результате необратимости процессов, происходящих внутри контрольной поверхности $\sum D_i$; сумма потерь эксергии во внешнюю среду $\sum D_e$.

Уравнение (2) отражает изменение эксергии теплотехнологической системы за счет ввода исходного сырья, атмосферного воздуха, подвода электроэнергии к магнетронам (в предлагаемой сушилке); необратимых изменений структурно-механических свойств продукта, сопряженных с затратами электроэнергии на приводы технологического оборудования; приращения эксергии от механического трения в процессе резки и измельчения; покрытия потерь, возникающих при необратимости процессов тепловой обработки промежуточного продукта в сушилке; изменения его теплофизических свойств; компенсации потерь, обусловленных действием окружающей среды.

Эксергия вводимых в систему внешних материальных потоков: атмосферного воздуха и холодной питьевой воды, а также выводимых потоков, не получивших приращение эксергии в процессе прохождения через контрольную поверхность – отработанных воздуха и воды после мойки, находящихся в термодинамическом равновесии с окружающей средой, равна нулю, поэтому исключается из баланса.

В процессе нагрева сырья в технологическом оборудовании его химическая эксергия постоянна, так как его состав в процессе переработки не претерпевает изменений. Поэтому учитывается только его удельная термическая эксергия, определяемая на основании уравнения Гюи-Стодолы:

$$e_{э.к.} = e - e_0 = h - h_0 - T_0(S - S_0) \quad (3)$$

где, e , e_0 , h , h_0 , S , S_0 - удельная термическая эксергия, кДж/кг, удельная энтальпия, кДж/кг и энтропия, кДж/(кг·К) продукта при текущих параметрах технологического процесса и в состоянии равновесия с окружающей средой.

Данные по удельной изобарной теплоемкости сырья и продукта различной влажности и температуры представлены в экспериментальной части (теплофизические исследования) диссертационной работы.

Эксергию влажного воздуха, участвующего в процессе сушки сырья (в качестве охлаждающего агента), определяли, рассматривая его как бинарную смесь, состоящую из 1 кг воздуха и X кг водяных паров:

$$e_B = \bar{c}_B \cdot (T - T_0) - \left(T_0 \cdot \bar{c}_B \cdot \ln \frac{T}{T_0} - R_B \cdot \ln \frac{p - \varphi \cdot p_s(T)}{p_0 - \varphi_0 \cdot p_s(T_0)} + X \cdot (h_{\text{п}} - h_{\text{п}}^0 - T_0 \cdot (S_{\text{п}} - S_{\text{п}}^0)) \right), \quad (4)$$

где \bar{c}_B - средняя удельная изобарная теплоемкость влажного воздуха между его текущим состоянием в потоке и состоянием равновесия с окружающей средой, кДж/(кг·К); p , p_0 и φ , φ_0 - полное давление, Па и относительная влажность воздуха, % в потоке и в окружающей среде; $p_s(T)$, $p_s(T_0)$ - давление насыщенного водяного пара при температуре потока и окружающей среды, Па; $h_{\text{п}}$, $h_{\text{п}}^0$ и $S_{\text{п}}$, $S_{\text{п}}^0$ - энтальпия и энтропия водяного пара при параметрах потока и окружающей среды, кДж/кг и кДж/(кг·К).

Теплофизические свойства воздуха, воды и горького перца взяты из справочной литературы.

В работе рассмотрено влияние на систему внутренних D^i и внешних D^e эксергетических потерь.

В суммарное количество внутренних эксергетических потерь входят потери от конечной разности температур в результате теплообмена между высушиваемым сырьем и нагретым воздухом, электромеханические,

возникающие при необратимом изменении структурно-механических свойств продукта, и гидравлические потери, обусловленные внезапным увеличением удельного объема воздуха при ее поступлении в рабочую камеру сушилки.

Потери, обусловленные конечной разностью температур между потоками, определяли по формуле:

$$D^2 = Q^{mo} \tau_e \quad (5)$$

где Q^{mo} - количество теплоты, переданное от одного потока к другому, кДж;
 τ_e - среднее значение фактора Карно для двух взаимодействующих потоков.

Фактор Карно или эксергетическая температурная функция [1] равна термическому КПД цикла Карно между температурами контрольной поверхности и условно принятой окружающей среды:

$$\tau_e = (T_{kn} - T_0) / T_{kn}, \quad (6)$$

где T_{kn} - температура теплоносителя внутри контрольной поверхности, К.

Эксергетические потери вследствие падения давления воздуха при его подаче в контрольную поверхность определяли по формуле:

$$D^2 = g \cdot \Delta H_z \cdot \frac{T_{kn}}{T_{ex}} \quad (7)$$

где T_{ex} - температура, К теплоносителя на входе в контрольную поверхность; ΔH_z - гидравлические потери, м.

По формуле Дарси-Вейсбаха [6] найдены гидравлические потери при входе теплоносителя в контрольную поверхность:

$$\Delta H_z = \xi \frac{v_{ex}^2}{2g}, \quad (8)$$

где v_{ex} - средняя скорость прохождения воздуха по сечению подводющего трубопровода, м/с; ξ - коэффициент сопротивления, определяемый отношением внутреннего объема оборудования, рассматриваемого в качестве контрольной поверхности, к поперечному сечению входного отверстия.

Электромеханические потери эксергии тождественны мощности приводов технологического оборудования (моечная машина, машина для резки перца, дробилка и т.д.), используемого в процессе обработки сырья.

Внешние потери D^e связаны с условиями сопряжения системы с окружающей средой. Они обусловлены различием температур теплоносителя и окружающей среды, несовершенством теплоизоляции оборудования, выбросом отработанного воздуха в атмосферу.

Потери эксергии в окружающую среду, обусловленные несовершенством теплоизоляции были найдены по формуле:

$$D^e = Q_{из} \cdot \tau_e, \quad (9)$$

где $Q_{из}$ - суммарные потери тепла в окружающую среду через контрольную поверхность, кДж; τ_e - фактор Карно.

Эксергетические потери высушенного измельченного перца на выходе из дробилки при достижении ими термодинамического равновесия с окружающей средой были вычислены по следующей формуле:

$$D_{np} = h_{np} - h_{np}^0 - T_0 \cdot \bar{c} \cdot \ln \frac{T_{np}}{T_{np}^0} \quad (10)$$

где h_{np} , T_{np} - энтальпия, кДж/кг и температура, К высушенного корма, \bar{c} - средняя удельная теплоемкость высушенного измельченного перца между его текущим состоянием в момент выгрузки и в состоянии термодинамического равновесия с окружающей средой, кДж/(кг·К).

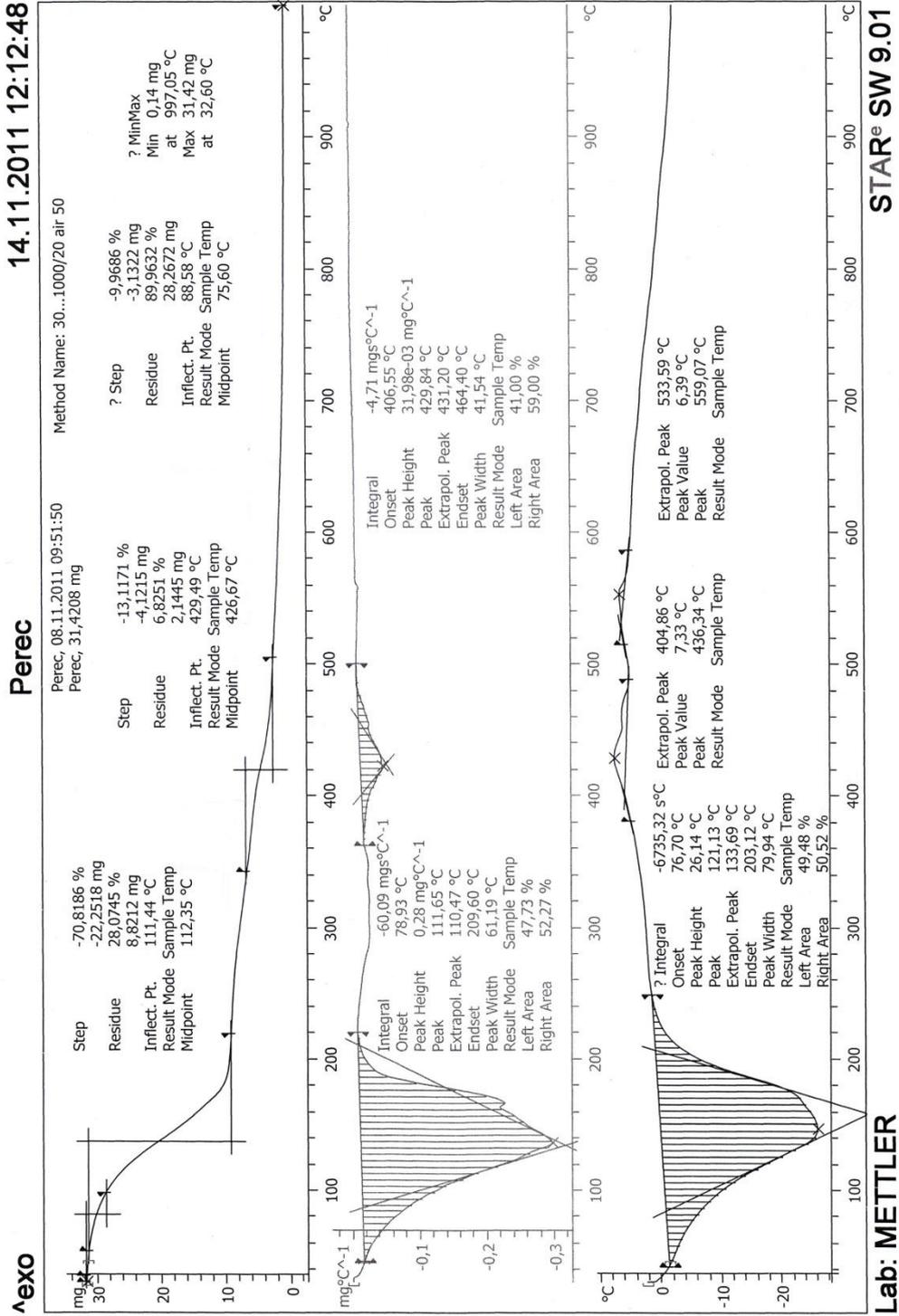
Оценку термодинамического совершенства теплотехнологической системы производства сушеных специй проводили по эксергетическому КПД, исходя из значения эксергии готовой продукции:

$$\eta_{\text{экс}} = \frac{\sum_{k=1}^l e_i^3}{\sum_{i=1}^n e_i^3} = \frac{\sum_{i=1}^n e_i^3 - \sum_{j=1}^m D_j}{\sum_{i=1}^n e_i^3}, \quad (11)$$

где $\sum_{k=1}^l e_i^3$ - суммарная удельная эксергия готового продукта, кДж/кг; $\sum_{i=1}^n e_i^3$ - суммарная затраченная удельная эксергия (подведенная в систему извне), кДж/кг; $\sum_{j=1}^m D_j$ - суммарные эксергетические потери, кДж/кг.

Эксергия материальных и энергетических потоков, а также внутренние и внешние эксергетические потери, рассчитанные по формулам (5 - 10), составили эксергетический баланс теплотехнологической системы производства сушеных специй (табл. 2). Обозначение потоков на рис. 4 представлено в табл. 1. При построении эксергетических диаграмм Грассмана-Шаргута (рис. 4) в качестве абсолютного эксергетического параметра выбрана эксергетическая мощность E , кДж/ч.

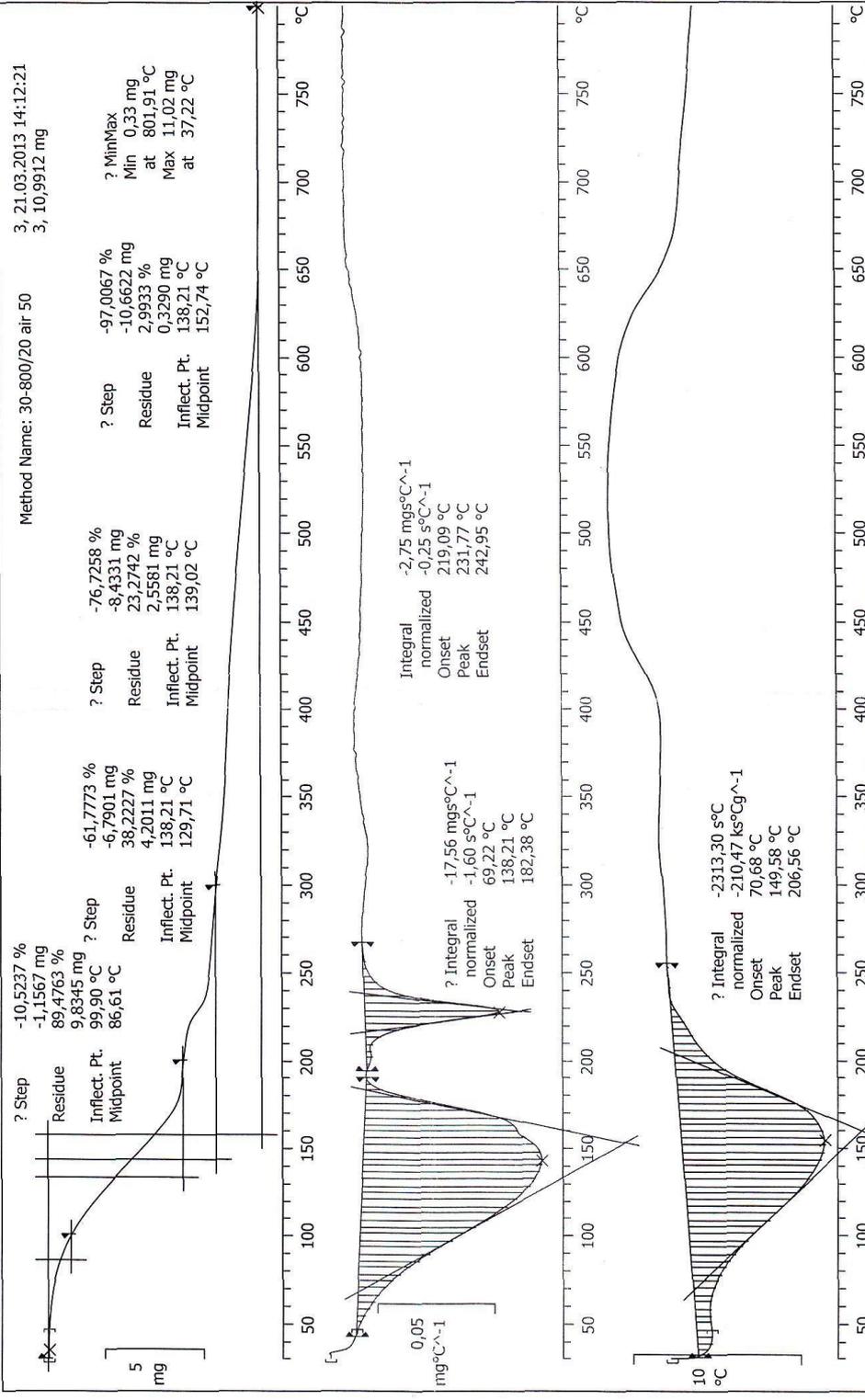
Графические зависимости дифференциально-термического анализа
 плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха



21.03.2013 14:33:57

Checnok

Λexo



Сушка плоской частицы при переменном энергоподводе

Исходные данные

Коэффициент диффузии влаги в материале, м ² /с		$a_m := 8.5 \cdot 10^{-8}$
Относительный коэффициент термодиффузии, 1/К		$\delta := 0.005$
Теплота испарения влаги, Дж/кг К		$r := 2.4 \cdot 10^6$
Плотность материала, кг/м ³		$\rho := 1248$
Теплоемкость материала, Дж/кг К		$c := 2855$
Относительный коэффициент испарения влаги		$\epsilon := 0.01$
Температура воздуха, С		$t_{воз} := 20$
Равновесное влагосодержание		$U_{воз} := 0.04$
Начальные параметры		
температура, С		$t_0 := 20$
влагосодержание		$U_0 := 2$
Коэффициент теплопроводности материала, Вт/м К		$\lambda_q := 0.238$
Коэффициент теплоотдачи, Вт/м ² К		$\alpha_q := 25$
Коэффициент массоотдачи (по U), кг/(м ² с)		$\alpha_m := 5 \cdot 10^{-5}$
Половина толщины высушиваемой частицы, м		$L_1 := 0.001$
Число интервалов дискретной сетки по толщине		$i_1 := 10$
Шаг по времени, с		$\Delta\tau := 0.05$
Режим энергоподвода	время, с	тепловыделение, Вт/м ³
	$\tau_1 := 540$	$qv_1 := 0.8 \cdot 10^6$
	$\tau_2 := 410$	$qv_2 := 10^6$
	$\tau_3 := 330$	$qv_3 := 1.2 \cdot 10^6$

Коэффициент влагопроводности

$$\lambda_m := a_m \cdot \rho = 1.061 \times 10^{-4}$$

$$a_q := \frac{\lambda_q}{c \cdot \rho} = 6.68 \times 10^{-8}$$

$$\tau_k := \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 = 1.28 \times 10^3$$

$$k_1 := \text{round}\left(\frac{\tau_1}{\Delta\tau}\right) = 1.08 \times 10^4 \quad k_2 := \text{round}\left(\frac{\tau_2}{\Delta\tau}\right) = 8.2 \times 10^3 \quad k_3 := \text{round}\left(\frac{\tau_3}{\Delta\tau}\right) = 6.6 \times 10^3$$

$$kk := k_1 + k_2 + k_3 = 2.56 \times 10^4$$

Шаг по направлению x

$$\Delta x := \frac{L1}{i1} = 1 \times 10^{-4}$$

Числа Био и Фурье

$$Bi := \frac{\alpha q \cdot L1}{\lambda q} = 0.105$$

$$Bim := \frac{\alpha m \cdot L1}{\lambda m} = 4.713 \times 10^{-4}$$

$$Fo := \frac{\lambda q \cdot \tau k}{c \cdot \rho \cdot L1^2} = 85.5$$

$$Fom := \frac{am \cdot \tau k}{L1^2} = 108.8$$

Сеточные числа Био и Фурье

$$Bix := \frac{\alpha q \cdot \Delta x}{\lambda q} = 0.011$$

$$Bix2 := \frac{\alpha m \cdot r \cdot \Delta x}{\lambda q} = 0.05$$

$$Bixm := \frac{\alpha m \cdot \Delta x}{\lambda m} = 4.713 \times 10^{-5}$$

$$Fox := \frac{\lambda q \cdot \Delta \tau}{c \cdot \rho \cdot \Delta x^2} = 0.334$$

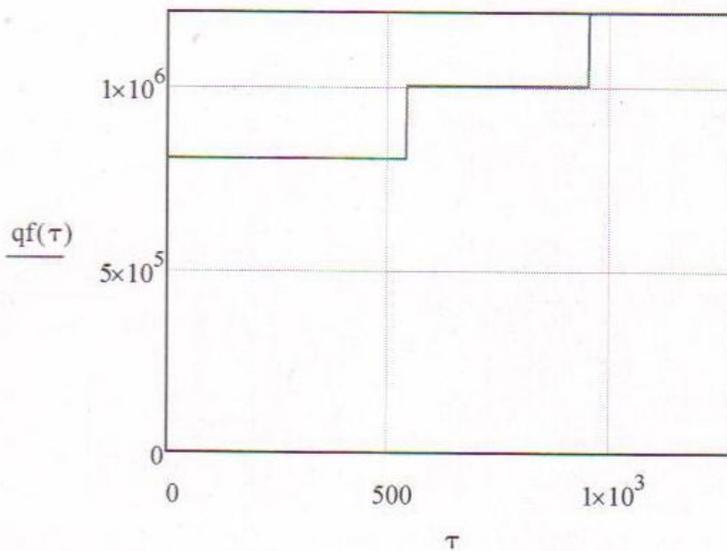
$$Fomx := \frac{am \cdot \Delta \tau}{\Delta x^2} = 0.425$$

Коэффициенты переноса

$$A1 := \frac{am}{1 - \epsilon} = 8.586 \times 10^{-8}$$

$$A2 := am \cdot \frac{\delta}{(1 - \epsilon)} = 4.293 \times 10^{-10}$$

$$qf(\tau) := \begin{cases} qv1 & \text{if } \tau \leq \tau1 \\ qv2 & \text{if } \tau1 < \tau \leq \tau1 + \tau2 \\ qv3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

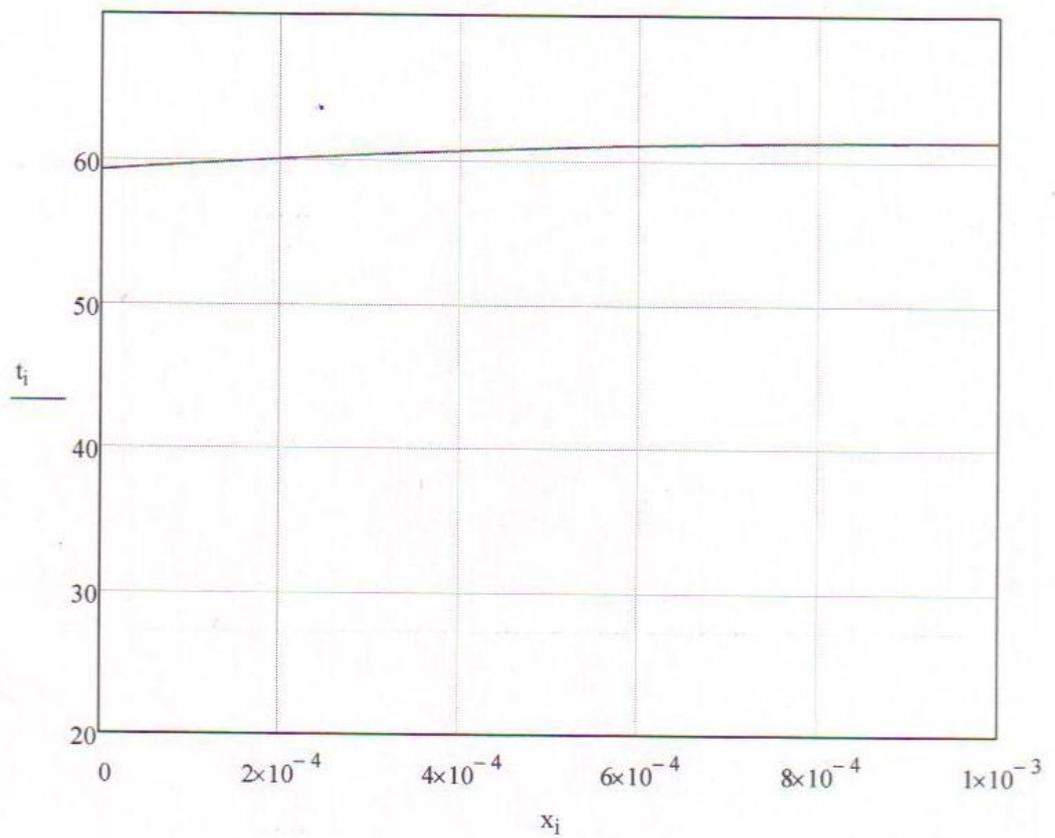
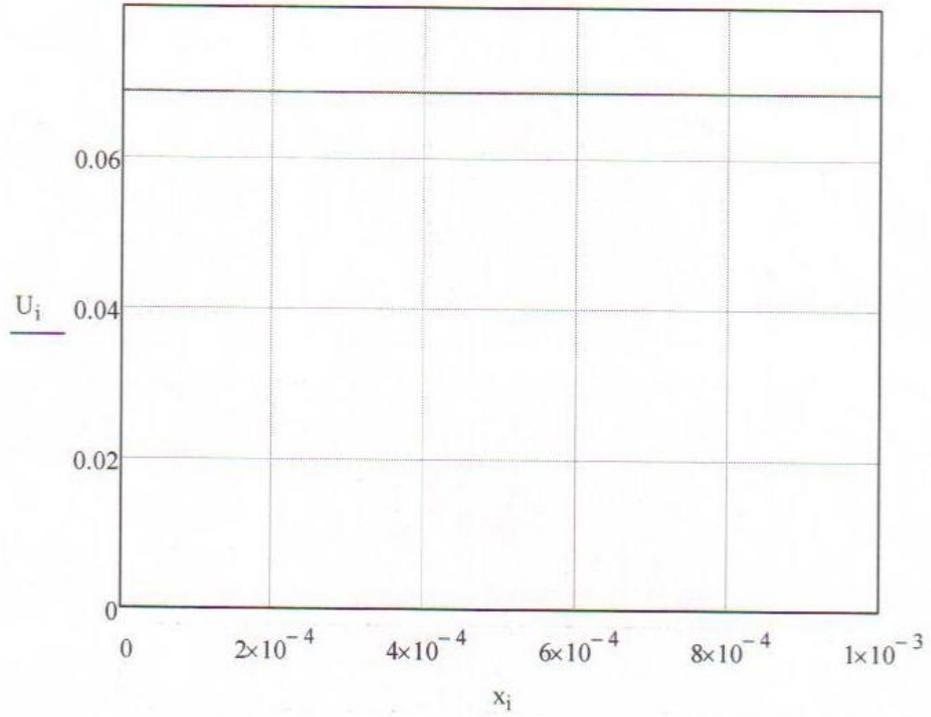


```

i := 0..il
x1 := i·Δx
M := for i ∈ 0..il
      | M1,i ← U0
      | M2,i ← t0
      for k ∈ 0..kk
        | τ ← k·Δτ
        for i ∈ 0..il
          if i = 0
            | Mn1,i ←  $\frac{(M_{1,i+1} + Bixm \cdot U_{\text{в03}})}{1 + Bixm}$ 
            | Mn2,i ←  $\frac{M_{2,i+1} + Bix \cdot t_{\text{в03}} - Bix2 \cdot (Mn_{1,i} - U_{\text{в03}})}{1 + Bix}$ 
            | M1,i ← Mn1,i
            | M2,i ← Mn2,i
          for i ∈ 1..il - 1
            | ΔUx ← M1,i+1 + -2·M1,i + M1,i-1
            | Δtx ← M2,i+1 + -2·M2,i + M2,i-1
            | ΔMU ←  $\frac{\Delta\tau \cdot A1}{\Delta x^2} \cdot \Delta Ux$ 
            | ΔMt ←  $\frac{\Delta\tau \cdot A2}{\Delta x^2} \cdot \Delta tx$ 
            | Mn1,i ← M1,i + ΔMU + ΔMt
            | ΔMU ←  $\frac{\varepsilon \cdot r}{c} \cdot (Mn_{1,i} - M_{1,i})$ 
            | ΔMt ←  $\frac{\Delta\tau \cdot aq}{\Delta x^2} \cdot \Delta tx$ 
            | Mn2,i ← M2,i + ΔMU + ΔMt +  $\frac{qf(\tau) \cdot \Delta\tau}{c \cdot \rho}$ 
          Mn1,il ← Mn1,il-1
          Mn2,il ← Mn2,il-1
        for i ∈ 0..il
          | M1,i ← Mn1,i
          | M2,i ← Mn2,i
M

```

$$U := \begin{cases} \text{for } i \in 0..i1 \\ U_i \leftarrow M_{1,i} \\ U \end{cases} \quad t := \begin{cases} \text{for } i \in 0..i1 \\ t_i \leftarrow M_{2,i} \\ t \end{cases}$$



	0
0	59.198
1	59.611
2	59.979
3	60.3
4	60.575
5	60.805
6	60.989
7	61.126
8	61.218
9	61.264
10	61.264

t =

	0
0	0.069
1	0.069
2	0.069
3	0.069
4	0.069
5	0.069
6	0.069
7	0.069
8	0.069
9	0.069
10	0.069

U =

$$U_0 = 0.069$$

$$U_{i1} = 0.069$$

$$t_0 = 59.198$$

$$t_{i1} = 61.264$$

$$U_{\text{ср}} := \frac{1}{i1 + 1} \cdot \sum_{i=0}^{i1} U_i = 0.069$$

$$t_{\text{ср}} := \frac{1}{i1 + 1} \cdot \sum_{i=0}^{i1} t_i = 60.575$$

Энергопотребление , Дж/м³

$$Qd1 := qv1 \cdot \tau1 = 4.32 \times 10^8$$

$$Qd2 := qv2 \cdot \tau2 = 4.1 \times 10^8$$

$$Qd3 := qv3 \cdot \tau3 = 3.96 \times 10^8$$

$$Qd := Qd1 + Qd2 + Qd3 = 1.238 \times 10^9$$

лись на пластинки толщиной 2,0 мм. Процесс сушки плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха осуществляли СВЧ-конвективным способом и исследовался при следующих режимных параметрах: скорость потока воздуха 0,3 – 0,9 м/с, температура продукта 297 – 331 К, толщина продукта – 1 – 3 мм, частота электромагнитного поля 2450 МГц, мощность электромагнитного поля 600 – 800 Вт. Данные технологические параметры можно было рекомендовать для производственных испытаний. Существенное влияние на интенсивность процесса сушки горького перца, чеснока и горчичного жмыха оказывает температура и скорость теплоносителя.

После достижения устойчивого режима работы установки периодически производили отбор проб продукта, контролировались и регулировались значения величины температуры и скорости теплоносителя.

Экспериментально были подобраны комбинированные режимы сушки, которые позволяют добиться равномерного высушивания продукта и интенсивного испарения влаги с его поверхности (таблица 1). При этом исключается перегрев плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха, что обеспечивает его высокое качество получаемых специй.

Таблица 1 – комбинированные режимы сушки плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха

Продукт	Этапы сушки		
	I	II	III
Горький перец	$T = 313 \text{ К}, v = 1,6 \text{ м/с}, \tau = 5 \text{ мин}$	$T = 318 \text{ К}, v = 0,9 \text{ м/с}, \tau = 15 \text{ мин}$	$T = 325 \text{ К}, v = 0,6 \text{ м/с}, \tau = 33 \text{ мин}$
Чеснок	$T = 300 \text{ К}, v = 0,9 \text{ м/с}, \tau = 7,5 \text{ мин}$	$T = 316 \text{ К}, v = 0,70 \text{ м/с}, \tau = 12 \text{ мин}$	$T = 320 \text{ К}, v = 0,5 \text{ м/с}, \tau = 20 \text{ мин}$
Горчичный жмых	$T = 397 \text{ К}, v = 0,9 \text{ м/с}, \tau = 3 \text{ мин}$	$T = 318 \text{ К}, v = 0,6 \text{ м/с}, \tau = 7,5 \text{ мин}$	$T = 331 \text{ К}, v = 0,3 \text{ м/с}, \tau = 12 \text{ мин}$

Наилучшими вариантами сушки плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха для сушеных специй по всем качественным показателям являются вышеприведенные способы. По своей структуре сушеные специи представляют собой тонкие, хрустящие ломтики, имеющие естественный вкус и аромат свойственный свежим плодам.

Таблица 2 – Витаминный состав свежих плодов и готовых сухих специй

	Горький перец	
	Плод свежий	Специи
Витамин А	48,1±0,2	171,5±0,2
Тиамин (В ₁)	0,072±0,004	0,262±0,004
Рибофлавин (В ₂)	0,094±0,004	0,367±0,004
Витамин Е	0,694±0,002	2,516±0,004
Витамин С	143,7±0,2	302,2±0,1
Ниацин (РР)	1,24±0,10	3,09±0,10
	Чеснок	
	Плод свежий	Специи
Витамин В ₆	0,6±0,1	1,1±0,1
Тиамин (В ₁)	0,08±0,02	0,14±0,02
Рибофлавин (В ₂)	0,08±0,02	0,14±0,02
Витамин С	10,5±0,2	18,7±0,1
Ниацин (РР)	1,24±0,05	2,19±0,05
	Горчичный жмых	
	Свежий	Специи
Витамин А	2,09±0,02	1,65±0,04
Тиамин (В ₁)	0,81±0,04	0,65±0,04
Рибофлавин (В ₂)	0,27±0,02	0,21±0,02
Витамин Е	5,12±0,02	4,15±0,02
Витамин С	7,05±0,04	5,02±0,04
Ниацин (РР)	4,73±0,02	3,67±0,02

В качестве доказательной базы рационального подбора комбинированных режимов сушки плоды горького перца, чеснока и горчичного жмыха был исследован витаминный состав (таблица 2).

В результате промышленной апробации результатов лабораторных исследований были подтверждены рациональные технологические параметры процесса комбинированной СВЧ-конвективной сушки плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха.

Преимуществами предлагаемого способа производства сушеных специй являются: сокращения продолжительности времени сушки, равномерное высушивание продукта и интенсивного испарения влаги с его поверхности. При этом исключается перегрев плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха, что обеспечивает его высокое качество.

Выводы:

1. В результате проведенных производственных испытаний способа производства сушеных специй доказана возможность получения чипсов высокого качества. Производственные испытания подтвердили рациональные технологические параметры процесса комбинированной СВЧ-конвективной сушки плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха.

2. Испытанный способ получения сушеных специй рекомендуется для внедрения на пищевых концентратных предприятиях.

Представители ООО «Живица»:

Главный технолог



Свиридов И.П.

Представители ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»:

Зав. кафедрой ТЖ, ПАХПП, д.т.н., проф.

Аспирант кафедры ТЖ, ПАХПП

Остриков А.Н.

Дорохин Р.В.

«08» июля 2014г.

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по науке, технике и производству



ПРОТОКОЛ ДЕГУСТАЦИИ

образцов сушеных специй

от 29 сентября 2014 г.

Председатель: руководитель Органа по сертификации Воронежского государственного университета инженерных технологий, эксперт ОС ВГУИТ по подтверждению соответствия молока и молочной продукции (С-RU.3109141, РОСС RU.0001.3109141), масложировой продукции (С-RU 31016560, РОСС RU.0001.31016560) И.В. Черемушкина.

Члены комиссии: руководитель Испытательной лаборатории пищевых продуктов и продовольственного сырья Воронежского государственного университета инженерных технологий Н.Н. Манилевич, эксперт ОС ВГУИТ по сертификации соковой продукции из фруктов и овощей, свежих и переработанных, картофеля, овощей, бахчевых, фруктов, ягод, грибов, орехов (РОСС RU .000.3103420) И.А. Костенко, ведущий инженер ОС ВГУИТ Е.Н. Толстикова, д.т.н., профессор, зав. кафедры технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств Магомедов Г.О., д.т.н. профессор кафедры технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств А.А. Шевцов.

Проведена дегустация образцов сушеных специй, представленных для органолептической оценки аспирантом кафедры технологии жиров, процессы и аппараты химических и пищевых производств Р.В. Дорохиным,

приготовленных СВЧ-конвективным способом из плодов горького перца, чеснока и горчичного жмыха по специально разработанной технологии.

На дегустацию были представлены 3 образца сушеных специй, полученных СВЧ-конвективным способом сушки, а именно специи из горького перца, чеснока и горчичного жмыха.

Комиссия отметила, что по органолептическим показателям сушеные специи соответствуют следующим нормам:

внешний вид – сохранили форму свойственную исходному плоду;

цвет – свойственный цвету сырья, из которого были изготовлены специи;

запах и вкус – свойственные фруктам и овощам данного вида без постороннего привкуса и запаха.

Массовая доля влаги в образцах должна не превышать 7 %.

По своей структуре образцы сушеных специй представляют собой тонкие, хрустящие ломтики, имеющие ярко выраженный, естественный вкус и аромат.

Полученные специи, полученные по предлагаемой технологии, обладают хорошими потребительскими свойствами и имеют высокую пищевую ценность. Химический состав специй представлен в приложении.

Комиссией отмечена высокая оценка органолептических показателей качества представленных специй.

Председатель:

Члены комиссии:

И.В. Черемушкина

Н.Н. Манилевич

И.А. Костенко

Е.Н. Толстикова

Г.О. Магомедов

А.А. Шевцов



ДИПЛОМ УЧАСТНИКА КОНКУРСА

ИНЖЕНЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ XXI ВЕКА

В РАМКАХ НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА
«ЖИВЫЕ СИСТЕМЫ»

КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ:

ОСТРИКОВ А.Н., ДОРОХИН Р.В., ДЕМЬЯНОВ В.Д.

ЗА ИННОВАЦИОННЫЙ ПРОЕКТ:

«РАЗРАБОТКА КОМБИНИРОВАННОЙ
СВЧ-КОНВЕКТИВНОЙ СУШИЛКИ ДЛЯ ОВОЩЕЙ»

ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

ВОРОНЕЖ 15 МАЯ 2012

РЕКТОР



Е.Д. ЧЕРТОВ