

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

На правах рукописи

СТОЛЯРОВ Иван Николаевич

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЖАРКИ КАШТАНОВ И
ОРЕХА ФУНДУК ПЕРЕГРЕТЫМ ПАРОМ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ**

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,
профессор, доктор технических наук А.Н. Остриков

Воронеж – 2016

СОДЕРЖАНИЕ

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ.....	5
ВВЕДЕНИЕ.....	7
Глава 1 Современное состояние теории, техники и технологии обжарки растительного сырья.....	20
1.1 Краткий обзор пищевых добавок из растительного сырья.....	20
1.2 Системная оценка каштанов и орехов фундук как объектов исследования.....	24
1.3 Краткий обзор техники и технологии обжарки растительного сырья.....	28
1.4 Анализ закономерностей процесса обжарки растительного сырья.....	42
1.5 Анализ литературного обзора и задачи исследования.....	47
Глава 2 Исследование процесса обжарки растительного сырья перегретым паром атмосферного давления.....	51
2.1 Исследование фрикционных свойств растительного сырья.....	51
2.2 Исследование форм связи влаги в растительном сырье методом термического анализа.....	54
2.3 Определение теплофизических характеристик продуктов из растительного сырья.....	58
2.4 Определение плотности растительного сырья.....	59
2.5 Экспериментальная установка и методика проведения эксперимента.....	60
2.6 Исследование гидродинамики процесса обжарки растительного сырья.....	62
2.7 Исследование усадки в процессе обжарки растительного сырья.....	65

2.8 Исследование кинетики процесса обжарки растительного сырья.....	69
2.9 Разработка ступенчатых режимов обжарки растительного сырья.....	71
Глава 3 Математическое моделирование процесса обжарки растительного сырья перегретым паром.....	74
3.1 Математическая модель процесса обжарки орехов фундук.....	74
3.2 Постановка задачи и задание начальных и граничных условий.....	77
3.3 Конечно-разностная схема расчета процесса обжарки орехов фундук.....	81
3.4 Результаты проведения моделирования.....	84
Глава 4 Комплексная оценка каштанов и орехов фундук как объектов исследования.....	86
4.1 Исследование органолептических и физико-химических показателей качества растительного сырья.....	86
4.2 Исследование аминокислотного, витаминного и минерального состава каштанов и орехов фундук.....	92
Глава 5 Разработка конструкции обжарочного аппарата и способа обжарки растительного сырья.....	95
5.1 Тепловой расчет обжарочного аппарата.....	96
5.2 Эксергетический анализ.....	100
5.3 Способ производства обжаренных каштанов.....	109
5.4 Разработка конструкции аппарата для обжарки растительного сырья перегретым паром.....	114
5.5 Разработка машинно-аппаратурной схемы получения обжаренного полуфабриката из растительного сырья.....	120
5.6 Расчет ожидаемого экономического эффекта от использования роторного обжарочного аппарата.....	121
5.6.1 Расчет капиталовложений.....	123

5.6.2 Расчет эксплуатационных затрат.....	124
5.6.3 Расчет экономических показателей.....	127
ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ.....	129
ЛИТЕРАТУРА.....	131
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	141

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

A – коэффициент Аррениуса, кДж/(кг·с);
 a_m – коэффициент диффузии влаги, м²/с;
 a_c – линейный размер частицы, м;
 a – коэффициент температуропроводности, м²/с;
 a_m^T – коэффициент термодиффузии, м²/с;
 c – удельная теплоемкость, Дж/(кг·К);
 c_m – массовая теплоемкость, кг⁻¹;
 d – диаметр, м;
 D – эксергетические потери, кДж/кг;
 E – энергия, Дж;
 e – удельная эксергия, кДж/кг;
 F – площадь, м²;
 f – коэффициент трения;
 G – производительность кг/с; масса продукта, кг;
 H – преломление;
 ΔH – гидравлические потери, м;
 h – высота, м;
 i – энтальпия, кДж/кг;
 i, j, k – потоковые индексы;
 K – коэффициент пересчета;
 K, M, P – квалитетические коэффициенты;
 k – номер шага дискретизации по координате;
 l, m, n – количество потоков;
 m – масса, кг;
 n – число опытов (образцов); номер шага дискретизации по времени;
 p – давление, Па;
 Δp – величина гидравлического сопротивления, Па;
 Q – доля теплоты, кДж/ч;
 q – величина удельной нагрузки на газораспределительную решетку, кг/м²;
 R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К);
 r_{12} – удельная теплота парообразования, Дж/(кг·К);
 T – температура, К;
 t – время, с; температура, °С;
 U, u – величина влагосодержания, кг/кг;
 V – объем, м³;
 v – скорость, м/с;
 W – влажность, %;
 X – массовая доля, %;
 x, y, z – координаты;
 Δ – разность, величина приращения;
 ∇ – градиент;
 DTA – изменение энтальпии образца;
 DTG – скорость изменения массы образца;
 TGA – изменение массы образца;
 $БЦ$ – величина биологической ценности, %;
 α – степень превращения вещества; коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К);
 β – коэффициент массоотдачи, м/с;
 δ – коэффициент термодиффузии; величина относительной усадки;
 ε – порозность слоя;

η – коэффициент полезного действия, %;
 λ – коэффициент гидравлического сопротивления; коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К);
 λ_m – коэффициент влагопроводности, (м·с)⁻¹;
 μ – коэффициент динамической вязкости, Па·с;
 ρ – плотность, кг/м³;
 τ – время, с;
 ξ – коэффициент сопротивления.

Критерии, безразмерные числа

Re – критерий Рейнольдса; Nu – критерий Нуссельта; Ra – критерий Релея; Pe – критерий Пекле; Pr – критерий Прандтля; Gr – критерий Грасгофа;

Индексы

e – внешний; *внутр*, i – внутренний; *возд* – воздух; *вх* – на входе; n , 0 – начальное состояние; n – пар; k – коллоидный; *пр* – продукт; *сл* – слой; k – конечное состояние; *эл* – электроэнергия при-
 водов; i – текущий; *max* – максимальный; *min* – минимальный.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность избранной темы. Потребители все чаще предпочитают продукты без содержания искусственно созданных добавок, отдавая предпочтение продуктам природного происхождения. Добиться подобного можно применением пищевых добавок природного происхождения, которые при систематическом употреблении обеспечивают организм энергией и регулируют физиологические функции.

К основным причинам повсеместного применения пищевых добавок для производства продуктов питания следует отнести:

1. Развитие на современном уровне торговли, приводящее к необходимости перевозки скоропортящихся и быстрочерствеющих продуктов питания на большие расстояния.
2. Повышающиеся требования современных потребителей к ассортименту и качеству продуктов питания наряду с сохранением невысокой стоимости.
3. Создание новых видов пищевых продуктов и напитков, отвечающих современным требованиям науки о питании.
4. Разработка новой и совершенствование существующей технологии новых и традиционных продуктов питания.

В данной работе для производства пищевых добавок предложено использовать каштаны и орех фундук. Растительное сырье было подобрано с учетом химического состава, пищевой ценности, лекарственных свойств и доступности сырья на рынке с целью разработки пищевых добавок для их последующего использования в различных отраслях пищевой промышленности.

Каштан настоящий, или съедобный – невероятно ценная орехоплодная и медоносная культура из семейства буковых. В его плодах много легкоусвояемых углеводов (в сухих до 70 %), 2-3 % жиров, 5-7 % белков, 1 % яблочной и лимонной кислоты а также в плодах присутствуют витамины *B* и *C* [15].

Лещина крупная, или ломбардский орех (лат. *Corylus*) — род кустарников (реже деревьев) семейства Берёзовые, плоды которых содержат примерно 60 %

масла, состоящего из органических кислот. Также в них до 20 % белка, есть витамины В и Е, минеральные вещества – калий, кальций, железо, магний и другие.[15, 18].

В последнее время потребность в пищевых добавках заметно возросла, что связано с увеличением спроса на более питательные и более удобные для использования пищевые продукты.

Общие продажи пищевых добавок в мире оцениваются более чем в 20 млрд долл. США в год. Они составляют довольно значительный объем ингредиентов, поставляемых предприятиям, производящим пищевые продукты и напитки, рынок которых оценивается в 2.000 млрд долл. США ежегодно. На ароматизаторы приходится более 5 млрд долл. США, гидроколлоиды – около 3 млрд, усилители вкуса и аромата – более 2,7 млрд, регуляторы кислотности – более 2,4 млрд, подсластители – около 2 млрд долл. США.

Рост промышленного объема потребления пищевых добавок в России за 2015 год представлен на рисунке 1.

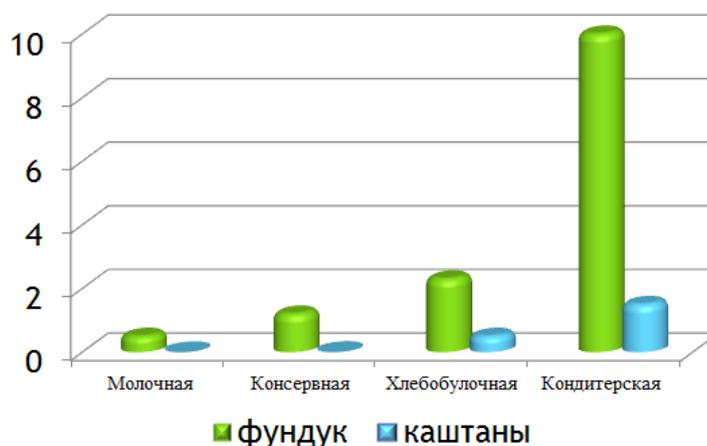


Рисунок 1. Объем потребления орехов фундук и каштанов в пищевой промышленности России за 2015 год, тыс. т

Основные тенденции российского рынка полностью аналогичны мировым и отвечают кредо нашего времени: «Пищевые продукты XXI века – это здоровье, вкус и польза»:

- Применение натуральных ингредиентов и постепенный отказ от искусственных пищевых добавок;
- Рост рынка функциональных продуктов;
- Разработка новейших технологий в области производства пищевых ингредиентов;
- Популяризация сектора низкокалорийных продуктов, связанная с постоянно растущей заботой потребителей о своем здоровье и стремлением к сбалансированному питанию (рисунок 2).

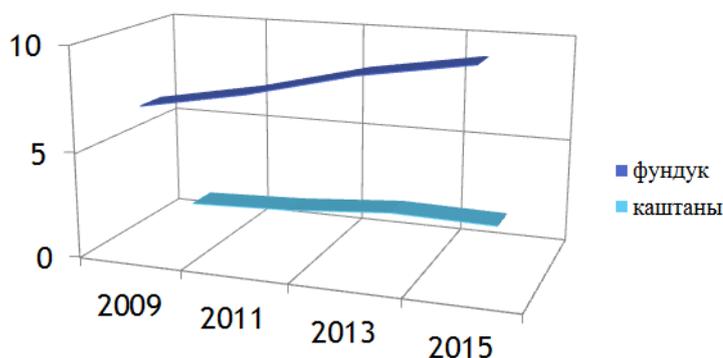


Рисунок 2. Динамика потребления орехов фундук и каштанов в России, тыс.т

Актуальность применения пищевых добавок обусловлена необходимостью повышения конкурентоспособности продукции. В большинстве случаев пищевые добавки вносятся для улучшения потребительских свойств продуктов питания.

Орехи фундук и каштаны - это продукты, качество которого значительно изменяется при хранении в зависимости от его условий. Влажность орехов с ходом времени неизбежно уменьшается; даже при идеальном соблюдении условий хранения изменение влажности может составлять 2,5 – 3,0 %. Кроме этого, во время хранения партии меняются и другие характеристики сырья: повышается содержание плесневелых ядер, ссохшихся и т. п.

В мировой практике, компании, имеющие долгий опыт работы с данным видом продукции (орехом), считают, что уже через 6-7 месяцев после сбора урожая параметры орехов фундук и каштанов изменяются настолько значительно, что становится возможным называть их "старым урожаем". Таким образом, если учесть, что сбор урожая происходит в августе и сентябре, то "старым" собранное

сырье можно считать уже в феврале-марте. С целью увеличения сроков хранения орехов фундук и каштанов, придания им специфического вкуса и запаха и уменьшения количества дубильных веществ в них, а также предотвращения прогоркания жиров, которые содержатся в орехах в значительных количествах, сырье необходимо подвергать термической обработке.

Важнейшим этапом в производстве пищевых добавок из каштанов и орехов является процесс обжарки сырого сырья. Обжарка – сложный процесс тепло- и массообмена, в ходе которого происходят сложные биохимические и физико-химические процессы : коагуляция белковых веществ, клейстеризация крахмала, частичное разрушение витаминов и др.

В связи с ростом населения и ограниченностью природных ресурсов остро встает проблема нехватки пищевых продуктов обогащенных питательными веществами. Таким образом, одним из наиболее приоритетных направлений является разработка пищевых добавок, насыщенных большим количеством ценных питательных веществ, необходимых человеческому организму для нормального функционирования. Весьма значительными преимуществами является наличие у пищевых добавок различных лечебных свойств.

Несовершенство техники для обжарки растительного сырья отражается на качестве выпускаемых пищевых добавок, создавая дополнительные технологические затруднения при соблюдении режимов обжарки.

Работа проводилась в соответствии с планом госбюджетной НИР кафедры технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств «Разработка и совершенствование энергосберегающих технологических процессов и аппаратов в химических и пищевых производствах» (номер госрегистрации № 01.130.2.12440); государственного задания № 2014/22 (проект № 1964) на тему «Разработка энергосберегающих процессов сушки капиллярно-пористых коллоидных материалов при программированном теплоподводе».

Степень разработанности темы. Совершенствованию процессов сушки уделяется большое внимание, так как именно данная стадия достаточно энергоемка, а, следовательно, в значительной степени определяет стоимость готового про-

дукта и, кроме того, оказывает существенное влияние на качественные показатели товарной продукции.

Теоретические основы тепломассообмена в сушильных процессах и их аппаратное оформление отражены в работах А.В. Лыкова, Ю.А. Михайлова, М.Ю. Лурье, А.С. Гинзбурга, Д.М. Левина, П.Д. Лебедева, В.В. Красникова, И.Л. Любошица, В.Л. Кретовича, В.И. Жидко, Г.А. Егорова, В.С. Уколова, А.П. Нечаева, С.П. Пункова, В.А. Резчикова, Б.М. Смольского, Б.И. Леончика, И.Т. Кретьова, А.П. Рысина, И.Ф., Пикуса, И.Л. Любошица В.Д. Скверчака, Н.В. Остапчука, В.И. Атаназевича, А.Н. Острикова и др.

Как отмечается в ряде основополагающих трудов в области тепломассообмена и сушки распространенным приемом повышения эффективности сушилок считается повышение исходной температуры сушильного агента.

Несмотря на научные достижения в области сушки пищевого растительного сырья перегретым паром необходимо решить ряд важнейших задач по сбалансированности тепловых и материальных потоков, обеспечивающих максимально полное использование энергии перегретого пара; разработать математические модели и использовать их в решении задач энергосбережения с учетом специфики каждого продукта.

Здесь следует уделить внимание разработке сушильных установок нового поколения с комбинированными гидродинамическими режимами и переменным энергоподводом, а также использованию в качестве теплоносителя перегретого пара атмосферного давления, с помощью которого достигаются максимальные возможности рекуперации и утилизации отработанного теплоносителя. При этом повышается энергетический КПД процесса, что обусловлено возможностью использования вторичного пара за счет применения рециркуляционных схем по материальным и тепловым потокам. Создание таких высокоэффективных установок, обеспечивающих полную автоматизацию и механизацию технологических процессов, позволит изготовить поточно-механизированные линии, обеспечивающие значительное повышение производительности труда, безотходное производство высушиваемых продуктов и улучшение их качества.

Развитие теории, техники и технологии тепломассообменных процессов подготовило условия для научного подхода к разработке новых способов сушки перегретым паром и рациональных конструкций сушильных установок, обеспечивающих сбалансированное энергопотребление при наименьших потерях теплоты и электроэнергии. Поэтому разработка и использование универсальных подходов для анализа и поиска решений по повышению эффективности процессов сушки пищевого растительного сырья перегретым паром является актуальной проблемой.

Интерес представляют научные работы, направленные либо на разработку и внедрение рациональных конструкций сушилок позволяющих реализовывать на практике нестационарные режимы, либо разработку рекомендаций по модернизации действующей сушильной техники для увеличения производительности и термического коэффициента полезного действия.

Решение задач экономии энергии и повышения эффективности перерабатывающих предприятий АПК при производстве сухих продуктов, в частности, выбор рациональных способов и режимов обезвоживания, типа и конструктивных особенностей сушилок, обеспечивающих соответствующие технико-экономические показатели, актуально и требует научного подхода с учетом специфики технологии и свойств сырья и требований к конечной продукции.

В работе рассмотрены идеи и практическая реализация энергосберегающего процесса обжарки пищевого растительного сырья при переменном теплоподводе.

Полное исследование энергосберегающего процесса обжарки пищевого растительного сырья при переменном теплоподводе в настоящее время отсутствует. Поэтому комплексное технологическое исследование этих процессов является актуальной задачей.

Известные отечественные и зарубежные труды в области исследования энергосберегающего процесса обжарки пищевого растительного сырья при переменном теплоподводе, отражают главным образом решение узкоспециализированных технологических задач. Существуют различные подходы к описанию энергосберегающего процесса обжарки пищевого растительного сырья при переменном теплоподводе, а также попытки теоретически обобщить разнообразные

экспериментальные данные, но, несмотря на это, в настоящее время не существует математической модели процесса, которая учитывала бы всю совокупность рассматриваемых явлений.

Цель диссертационной работы: научное обеспечение процесса обжарки каштанов и ореха фундук перегретым паром на основе комплексного анализа основных закономерностей процесса обжарки совместно с теплофизическими и структурно-механическими характеристиками исследуемого сырья; разработка комбинированных режимов обжарки и проведение инженерных расчетов с последующим обоснованием выбора перспективной конструкции обжарочного аппарата, обеспечивающего экономию теплоэнергетических ресурсов.

Для достижения цели решались следующие *основные задачи*:

1. Изучение каштанов и орехов фундук как объектов исследования; систематизация полученных данных и формулировка на их основе рабочих гипотез по использованию их в производстве пищевых добавок.
2. Изучение процесса термического разложения исследуемых видов растительного сырья, выявление температурных зон испарения влаги различных форм связи.
3. Изучение гидродинамических и кинетических закономерностей процесса обжарки каштанов и орехов фундук перегретым паром.
4. Определение рациональных технологических параметров процесса обжарки каштанов и орехов фундук перегретым паром атмосферного давления.
5. Разработка математической модели обжарки каштанов и орехов фундук перегретым паром.
6. Проведение инженерных расчетов с целью определения оптимальных параметров обжарочного оборудования
7. Разработка конструкции обжарочного аппарата и способа обжарки растительного сырья.

Научная новизна. Изучены кинетические и гидродинамические закономерности процесса обжарки кубиков каштанов и орехов фундук в плотном слое. С использованием метода термического анализа определены формы связи влаги с

материалом и выявлены температурные зоны испарения влаги с различной формой связи. Обоснована целесообразность использования ступенчатых режимов теплоподвода для обжарки каштанов и орехов фундук в соответствии с формой связи удаляемой влаги.

Разработана математическая модель процесса обжарки перегретым паром растительного сырья, позволяющая рассчитать температуру и влагосодержание продукта по высоте слоя.

Новизна технических решений подтверждена патентами РФ № 2466564, 2520752.

Продана лицензия на патент РФ № 2520752 ОАО «Всероссийский научно-исследовательский институт комбикормовой промышленности».

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость диссертационного исследования обусловлена комплексным анализом тепломассообменных процессов при сушке пищевого растительного сырья. Сформулированные теоретические положения и практические выводы могут быть использованы при организации научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы на пищевых предприятиях.

Комплексные теоретические и экспериментальные исследования, результаты математического моделирования, а также анализ работы сушильных установок с использованием в качестве теплоносителя перегретого пара позволили разработать методологический подход к созданию высокоэффективного способа сушки (пат. РФ № 2466564) с соответствующим аппаратным оформлением (пат. РФ № 2520752).

Определены и обоснованы рациональные технологические режимы процесса обжарки пищевого растительного сырья перегретым паром атмосферного давления на основе сформулированных принципов ресурсосбережения, обеспечивающие сокращение продолжительности процесса, снижение удельных энергозатрат и повышение качества готовой продукции.

Разработана методика инженерного расчета предлагаемой перспективной конструкции установки для реализации процесса обжарки растительного сырья при сбалансированных материальных и энергетических потоках в замкнутых термодинамических циклах по отработанному перегретому пару.

Разработана технология получения обжаренной пищевой добавки. Определена пищевая, биологическая и энергетическая ценность полученных пищевой добавки.

Выполнен экономический расчет, свидетельствующий о преимуществах предлагаемой технологии.

Выполнен эксергетический анализ процесса сушки пищевого растительного сырья перегретым паром, свидетельствующий о термодинамическом совершенстве предлагаемых способов производства высушенных продуктов.

Научная новизна предложенных технических решений отражена в патенте РФ на изобретение (№ 2520752). Продана лицензия на патент РФ № 2520752

Методология и методы диссертационного исследования. Методологическая основа исследования включает в себя комплекс общенаучных (анализа и синтеза, проверка истинности теории путем обращения к практике; интерпретация полученных результатов и др.) и частнонаучных (абстрактно-логический метод, моделирование, эмпирический метод, статистико-вероятностный метод и др.) методов познания. Теоретико-методологической основой исследований являются труды отечественных и зарубежных авторов в области теории и техники сушки, в частности, работы А.С. Гинзбурга, А.В. Лыкова и др.

В качестве объектов обжарки использованы каштаны и орехи фундук.

Методом нестационарного теплового режима В.С. Волькенштейн, основанного на решении задачи теплопроводности двух температурно-временных точек, определены теплофизические характеристики пищевого растительного сырья.

Для выявления интервалов температурных зон испарения влаги с различной формой и энергией связи влаги с материалом использовался метод дифференциально-термического анализа (ДТА).

Методология аналитического решения задачи нестационарной теплопро-

водности в процессе сушки частиц, имеющих форму параллелепипеда, позволила разработать методы физико-математического моделирования конвективной сушки для решения трехмерных задач.

Методика эксергетического анализа использовалась для определения термодинамического совершенства предлагаемого способа производства и управления процессами влаготепловой обработки пищевого сырья.

Для определения содержания витаминов, аминокислот и других показателей качества высушенного сырья использованы методы высокоэффективной газовой хроматографии, атомно-абсорбционной спектроскопии, ИК - спектроскопии, капиллярного электрофореза, кислотного гидролиза и др. Погрешности измерений не превышали значений, установленных в действующих стандартах для методов количественного анализа качества высушиваемого сырья.

Основная часть теоретических и экспериментальных исследований и практических разработок проведена в «Воронежском государственном университете инженерных технологий».

Цель исследования достигнута, благодаря обобщению и анализу классических и новых аналитических и эмпирических методов изучения тепломассопереноса, на базе известных научных достижений и основополагающих работ в области обезвоживания пищевых продуктов, положениям которых соответствуют выводы и рекомендации, представленные в работе. Полученные зависимости и аппроксимирующие уравнения адекватны экспериментальным данным, что подтверждено статистической обработкой результатов измерений. Методическое обеспечение и предложенные в результате исследований конструкторские решения не противоречат известным апробированным методикам рационального проектирования и конструирования аппаратов. Комплекс экспериментов и реализация физико-математической модели процесса сушки проводилась с использованием современных компьютерных математических программ, приборов и оригинальных опытных установок.

Положения, выносимые на защиту.

- концептуальный подход к созданию ресурсо- и энергосберегающих спо-

собов производства обаренных продуктов растительного происхождения за счет использования в качестве теплоносителя перегретого пара атмосферного давления с максимально возможной утилизацией и применением вторичных энергоресурсов в замкнутых рециркуляционных схемах по материальным и энергетическим потокам;

- результаты экспериментальных исследований теплофизических, гидродинамических, кинетических закономерностей процесса обжарки в среде перегретого пара;

- алгоритмы и результаты моделирования исследуемого процесса обжарки и их использование при проектировании высокоэффективных обжарочных аппаратов;

- инженерные методы расчета рациональных режимов процесса обжарки в активных гидродинамических режимах и переменном теплоподводе, способствующих снижению удельных энергетических затрат, повышению производительности и качества обаренной продукции.

Степень достоверности. Содержащиеся в работе научные положения, выводы и рекомендации основываются на фундаментальных физических законах и не противоречат им. Они хорошо согласуются с теоретическими концепциями, общепринятыми в данной области исследований. Достоверность исследований и результатов проведенных исследований базируется на использовании апробированных математических методов. Полученные расчетные соотношения подвергнуты тщательной экспериментальной проверке. Расчет средней относительной ошибки не превышает 20 %. При этом соискатель опирается на полученные им экспериментальные данные и полученные кинетические закономерности процесса обжарки. Все научные положения, выводы и рекомендации, изложенные в диссертации, обоснованы и подтверждены экспериментальными исследованиями и материалами, которые полностью соответствуют данным протоколов опытов.

Достоверность разработанной математической модели исследуемых процесса обжарки исследуемых видов растительного сырья при переменном теплоподводе подтверждается проведением их проверки адекватности реальному

эксперименту. Соискатель использовал современные методики экспериментальных исследований, методы и средства проведения измерений. Многократное проведение экспериментов и частые замеры параметров во время опыта не дают оснований для сомнения в их достоверности.

Степень достоверности результатов проведенных исследований подтверждается глубокой проработкой литературных источников по теме диссертации, постановкой необходимого числа экспериментов, применением современных инструментальных методов анализа, публикацией основных положений диссертации. Для математической обработки результатов исследований использованы прикладные компьютерные программы.

Основные положения, выводы и рекомендации одобрены при выступлениях диссертанта на научно-технических конференциях.

Апробация результатов. Материалы и отдельные результаты исследований по теме диссертационной работы докладывались на международных всероссийских, научных, научно-технических и научно-практических конференциях и симпозиумах: (Ставрополь, 2010, 2011), (Воронеж, 2009, 2011, 2012 2013), (Румыния, 2011); отчетных научных конференциях ВГУИТ за 2009-2016 гг.

Результаты работы демонстрировались на выставках и были награждены: грамотой за активное участие в VII Международной научно-практической конференции «Место и роль России в мировом хозяйстве», Воронеж, 2012; дипломом победителя конкурса «Инженерные технологии XXI века», Воронеж, 2013.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 15 работ, в том числе 3 статьи в журналах, рекомендованных ВАК, получено 2 патента РФ и 2 свидетельства Роспатента о регистрации программ для ЭВМ.

Представленная диссертационная работа обобщает новые результаты теоретических и экспериментальных исследований процесса обжарки каштанов и орехов фундук при ступенчатом теплоподводе и получения пищевых добавок, проведенных непосредственно автором. Автор благодарит научного руководителя заслуженного деятеля науки Российской Федерации, профессора Острикова Алек-

сандра Николаевича за ценные замечания, оказанную помощь и консультации, отмеченные в процессе выполнения диссертационной работы, а также выражает признательность коллективу кафедры технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств ВГУИТ за поддержку и эффективное сотрудничество.

Глава 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕОРИИ, ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ ОБЖАРКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

1.1 Краткий обзор пищевых добавок из растительного сырья

Пищевые добавки – вещества, которые добавляются в пищевые продукты в технологических целях в ходе их создания и транспортировки или хранения для приобретения ими необходимых свойств, например, определённого аромата (ароматизаторы), цвета (красители), длительности хранения (консерванты), вкуса, консистенции и т. п.

Основными целями введения пищевых добавок в продукты и напитки являются:

1. Создание новых или совершенствование существующих технологий подготовки и переработки пищевого сырья, а также изготовления, фасовки, транспортировки и хранения продуктов питания.

2. Увеличение стабильности и стойкости пищевых продуктов и напитков к различным воздействиям, ухудшающим их качественные показатели.

3. Создание и сохранение структуры продуктов питания.

4. Изменение (в лучшую сторону) или сохранение органолептических свойств и внешнего вида пищевых продуктов и напитков.

Пищевые добавки делятся на четыре группы:

1. Добавки, которые регулируют вкус и аромат пищевых продуктов (усилители вкуса и аромата, подсластители, подкислители, ароматизаторы, заменители соли и сахара, кислоты) или улучшающие цвет пищевых продуктов и напитков (стабилизаторы окраски, красители, отбеливатели).

2. Добавки, которые регулируют консистенцию и формируют текстуру продуктов (эмульгаторы, пенообразователи, наполнители, гелеобразователи, загустители и т. д.).

3. Добавки, которые повышают сохранность продуктов и увеличивают сроки их хранения (антиокислители и их уплотнители, антислеживающие агенты, консерванты, пленкообразователи, защитные газы, влагоудерживающие агенты, стабилизаторы).

4. Добавки, которые облегчают и ускоряют ход технологических и биотехнологических процессов (хлебопекарные и кондитерские улучшители, ферментные препараты, экстрагенты, разрыхлители, осветлители, пеногасители, осушители и др.).

Преобладающая часть пищевых добавок обладает комплексными технологическими функциями, проявляющимися в зависимости от особенностей пищевой системы в которой используются. Приведенная выше классификация основывается на технологических функциях пищевых добавок, к которым не имеют отношения соединения и вещества, повышающие пищевую ценность продуктов, например аминокислоты, макроэлементы, витамины. К пищевым добавкам также относят "непищевые вещества", которые добавляются в пищевые продукты, как правило, в небольших количествах с целью улучшения текстуры, вкусовых качеств, внешнего вида или для увеличения сроков хранения.

Ликвидация дефицита полноценного белка и витаминов являются основным приоритетом для улучшения питания населения на территории России в настоящее время. На данный момент основным источником белка являются продукты животноводства – молоко, птица, мясо, яйца и т.д. Так же он присутствует в рыбе. Однако в рацион большей части населения перечисленные продукты не входят в необходимом количестве, и это зачастую связано с низкой культурой питания и высокими ценами на продукты, а в ряде случаев – с регионом и условиями проживания, а также предпочитаемой системой питания (вегетарианство и др.).

В связи с вышеизложенным, были проведены исследования, направленные на поиск источника недорогого растительного сырья с высоким содержанием белка. Помимо этого особое внимание уделялось органолептическим характеристикам продукта и его витаминно-минеральному комплексу. В качестве объектов ис-

следований были выбраны каштан европейский (съедобный, благородный, настоящий) и орех фундук (лещина, орешник).

Каштан европейский (*Castanea sativa Mill.*) главным образом растет на Северном Кавказе и в Средиземноморье. В состав каштана европейского входят витамины (до 1,5 г витамина С на 100 г сухого вещества продукта), 8-10 % белка, макро- и микроэлементы, богат аминокислотами. Его плоды применяются в пищевой промышленности для приготовления соусов, супов, суфле. Смолотая из каштанов мука добавляется в хлебобулочные, мучные и кондитерские изделия. Тем не менее в нашей стране каштаны как сырье пищевого концентрата еще не нашли должного применения, и продукция из них практически не поступает в розничную торговлю.

Из-за высокого содержания влаги в плодах (40-55 %) для увеличения сроков хранения каштаны требуется подвергать термической обработке.

Фундук (Лесной орех) – Плод лещины крупной, ее окультуренная разновидность. Лесной орех характеризуется высоким содержанием белка (15-20 %), протеина 12 %, углеводов 13 %, витаминов В1, В2, В6, Е и целого спектра полезных минеральных веществ: магний, цинк, калий, натрий, кальций, железо. Энергетическая ценность фундука – 679 ккал на 100 грамм ореха.

В наши дни существует огромная потребность пищевой промышленности в пищевых добавках. Увеличение срока хранения продуктов, улучшение вкусовых характеристик – все это заслуга пищевых добавок. В промышленном производстве пищевые добавки получают самыми разнообразными способами, порой комбинируя их друг с другом. Но все же все добавки, в зависимости от их происхождения, условно можно разделить на три вида:

- добавки натурального происхождения;
- добавки искусственного происхождения;
- добавки синтетического происхождения.

Добавки натурального происхождения – это добавки в «создании» которых принимает участие природа. Такие добавки зачастую используются уже сотни и даже тысячи лет. Хотя современные знания и технологии, конечно же, зна-

чительно расширили перечень натуральных добавок. Все натуральные добавки можно разбить на 3 группы:

- добавки животного происхождения
- добавки растительного происхождения
- добавки-минералы

В данной работе рассматриваются добавки растительного происхождения.

Добавки растительного происхождения изготавливаются из растений или водорослей. Это могут быть природные красители, ароматизаторы или другие вещества, встречающиеся в природе в некоторых видах растений и их плодов в чистом виде и зачастую попадающие в наш организм естественным путем при употреблении овощей и фруктов. Такие добавки могут порой оказывать положительный эффект, уменьшая риск возникновения тех или иных заболеваний, укрепляя иммунитет человека. Однако есть некоторые виды добавок растительного происхождения, которые могут вызывать аллергию или другие заболевания, особенно при их чрезмерном употреблении.

В данный момент на рынке представлен широкий ассортимент пищевых добавок: E100 - Куркумин - Цвет оранжево-желтый, изготавливается из растения семейства имбиря. E101 - Рибофлавин (витамин B2), рибофлавины - Цвет желтый, витамин E102 - Тартразин - Цвет желтый, используется в безалкогольных напитках, кондитерских изделиях. Рекомендуется не давать детям во избежание появления аллергии. E104 - Желтый хинолиновый - Запрещен в некоторых странах E107 - Желтый 2G - Не рекомендуется давать детям во избежание появления аллергии. Может вызывать аллергическую реакцию у людей, страдающих астмой. E110 - Желтый “солнечный закат” FCF – Соответствующие продукты: кондитерские изделия, быстро растворимые супы, крепкие напитки. Способен вызывать аллергические реакции: опухание, тошноту, сыпь,. E120 - Кармины - Используются в йогуртах, конфетах, напитках, мороженом и т.д. Способны вызывать аллергические реакции от простой сыпи до анафилактического шока. E122 - Кармуазин - Цвет красный. Следует избегать астматикам, аллергикам, детям. Применяется в продуктах: марципаны, желе, конфеты. E123 - Амарант - Запрещен (в США не ис-

пользуется с 1976 г.). Очень опасный E124 - Понсо 4R, пунцовый 4R - Цвет красный. Следует избегать астматикам, детям, и людям с аллергией на аспирин. E127 - Эритроцин - Запрещен. Способен повышать уровень гормонов щитовидной железы в крови, вызывать светочувствительность. E128 - Красный 2G - Запрещен в некоторых странах. E129 - Красный AC - Способен вызывать кожные аллергические реакции. Применяется в продуктах: печенье, пирожные, фруктовые начинки. E131 - Синий патентованный V - Запрещен в некоторых странах. Канцерогенная пищевая добавка, способная вызывать раковые опухоли E132 - Индигокармин - Следует избегать людям склонным к аллергии. Может вызывать следующие аллергические реакции: рвоту, высокое кровяное давление, тошноту, затрудненное дыхание, сыпь. E133 - Синий блестящий - Не рекомендуется употреблять детям во избежание аллергических реакций. E140 - Хлорофилл, хлорофиллин - Цвета от зеленого до оливкового. Естественный краситель, не имеет побочных действий. E141 - Медные комплексы хлорофиллина и хлорофилла - Цвет оливковый. Побочные эффекты неизвестны. Подавляющее большинство из них в том или ином количестве содержат вкусо-ароматические соединения, влияние которых на организм человека недостаточно хорошо изучено, в то же время содержание ценных пищевых веществ в них незначительно.

1.2 Системная оценка каштанов и орехов фундук как объектов исследования

Более подробно рассмотрим растительное сырье, предлагаемое в данной работе для применения в качестве пищевых добавок.

Каштаны. Род Каштан (*Castanea Mill.*) семейства Буковые (*Fagaceae Dum.*) насчитывает 14 видов. Следующие виды каштана возделываются в качестве орехоплодных пород: каштан съедобный, европейский (*Castanea sativa Mill.*) или посевной (рис. 1.1), каштан японский, каштан американский, или зубчатый (*Castanea dentata Borkh.*), или городчатый (*Castanea crenata Sieb. et. Zucc.*), каштан низкорослый (*Castanea pumila Mill.*).



Рисунок 1.1 – Каштан съедобный м. Диаметр ствола достигает 2 м.

Деревья или кустарники с очередными, крупными, простыми листьями, ланцетовидными или продолговатыми, зазубренными по краям, шириной 5-9 см и длиной 16-28 см. В первые годы после посадки корни каштана уходят глубоко в почву, со временем корневая система становится мощной и занимает как поверхностные, так и более глубокие почвенные слои.

Каштан съедобный цветет в начале июня, когда температура воздуха приближается к 20 °С. Каштан - ветроопыляемое растение, цветки которого мелкие и собраны в соцветия-сережки. Сережки встречаются мужские и женские, однако иногда попадаются и обоеполые. Женские цветки помещаются в общей плюске с кроющим листом у основания.

Плоды (каштаны) являются односемянными орехами, сидящими по 1-3 в общей плюске, около 2-5 см в диаметре и массой 3-9 г (зависит от сорта). Покрывы они тонкой кожурой, которая приобретает при созревании красивую темно-коричневую (каштановую) окраску. Зародыш большой, желтовато-белого цвета. Семядоли толстые.

В природе разные виды каштана растут в различных регионах северного полушария: 1 – в Японии; 4 вида – в Китае; 4 – в Северной Америке; 1 – на Кавказе, в Малой Азии и Южной Европе. Деревья каштана могучие, в культуре они создают огромные куполообразные кроны и дают большие урожаи.

Из известных на Земле 14 видов этого растения культивируют всего лишь 4.

Каштан европейский, съедобный или посевной естественно произрастает в

Средиземноморье, в причерноморской части Малой Азии и в республиках Закавказья и на Северном Кавказе. Всего в лесах Кавказа насчитывается более 70 тыс. га насаждений каштана. Урожайность достигает 2-4 т/га. В России он растет на Черноморском побережье Кавказа от Джубги до Сочи, особенно его много в Туапсинском районе. Известны основные сорта каштана съедобного: крупноплодный (масса плода в свежем виде 7-12 г); мелкоплодный (масса плода 4,5-6,5 г).

Мировое производство плодов каштана достигло в 2015 году 1,5 миллиона тонн. [26]

Американский каштан, или зубчатый – североамериканский вид, по вкусовым качествам превосходит каштан посевной.

В каштане съедобном содержится 62 % крахмала, 5-6 % белков, 2-2,5 % жира, 15-17 % сахаров (глюкоза, сахароза, декстрин). Энергетическая ценность – 166 ккал в 100 г свежего продукта. Также в каштанах присутствуют органические кислоты (лимонная и яблочная), минеральные вещества (магний, калий, и фосфор), витамины (группы В и Е), а также ферменты. В незрелых плодах содержится много витамина С (до 1500 мг) и дубильные кислоты (1-3%) из-за чего плоды каштана не рекомендуют употреблять в сыром виде [8, 9, 15].

Настой листьев каштана и отвар из сухих каштанов применяют при воспалении верхних дыхательных путей, свежие же листья используют, как лечебное средство при коклюше. Кору и плоды используются при отеках, связанных с заболеваниями почек, заболеваниях желудочно-кишечного тракта, а также носовых кровотечениях. Отвар плодов применяют наружно для припарок при фурункулах и нарывах, а спиртовую настойку на высушенных цветках растения используют при катаре мочевого пузыря и хронической дизентерии [5].

Плоды каштана – очень сытное блюдо, по питательным характеристикам они приравниваются к картофелю и рису. Плоды вкусны, особенно жареные или засахаренные; их также употребляют вареными или сырыми и перерабатывают в напитки, муку, спирт и т.д. Также, из плодов каштана делают закуски, салаты, супы, выпечку и десерты. Каштан – неотъемлемая часть южноевропейской кухни, а также кухни стран Азии и Северной Америки. Во Франции его издавна повсе-

местно применяли в кулинарии, кондитерском деле, даже для приготовления мороженого и пюре. В кондитерской промышленности делают глазированные и засахаренные каштаны, а тертые плоды применяют для изготовления шоколада и марципана. Также известно применение вареных каштанов для фарширования птицы.

Фундук – окультуренные разновидности сортов лещины (*Corylus*). Изначально фундуком называли только лесную лещину. Жёлто-коричневые орехи имеют практически шарообразную форму (рисунок 1.2), длину 15-25 мм и ширину 12-20 мм. В кондитерской промышленности из фундука получают ореховые



Рисунок 1.2 – Орех фундук

пасту и муку, его жарят, засахаривают, солят.

Лещина крупная, или «ломбардский орех» (*Córylus avellána*) – растение семейства берёзовых (*Betulaceae*). Распространена в Малой Азии, на Балканах и на Кавказе. Фундук культивировался еще с античных времен как орехоплодное растение.

В мире распространены 3 разновидности сорта фундука:

- Бадем – сорт лесного ореха с длинными немного сплюснутыми плодами.
- Крымский фундук – сорт лесного ореха с округлым ядром и тонкой скорлупой.
- Керасунд – сорт фундука конической формы с очень тонкой скорлупой.

Фундук обладает замечательными лечебными и питательными свойствами. В ядрах фундука содержится около 60 % масла, состоящего из глицеридов олеиновой, стеариновой и пальмитиновой кислот, которые препятствуют росту холестерина в крови, защищают от сосудистых заболеваний. А также крайне необходимы для растущего организма.

В настоящее время товарное производство фундука наиболее развито в Турции, где его промышленные посадки занимают площадь в 415 тыс. га, с которых получают более 400 тыс. т орехов в год. Италия также ежегодно производит их более 30 тыс. т, интенсивно увеличивая площади посадок; в Испании сегодня собирают около 25 тыс. т фундука; примерно по 10 тыс. т орехов производят

США и Азербайджан; растет товарное производство в Англии, Германии, Венгрии, Франции, Польше, Грузии, России. [46]

Ежегодная потребность нашей кондитерской промышленности в фундуке (около 10 тыс. т) обеспечивается едва ли на треть.

Фундук – источник растительного белка, который незаменим в вегетарианском питании (калоризатор). Фундук содержит полиненасыщенные жирные кислоты, поэтому защищает организм от сердечно - сосудистых заболеваний, служит для профилактики атеросклероза, способствует очищению организма, предотвращает гнилостные процессы в кишечнике, способствует повышению иммунитета.

Фундук разрешается употреблять в пищу и людям с сахарным диабетом. Также фундук обладает низким содержанием углеводов, поэтому его можно есть даже при очень строгой диете, не рискуя поправиться. Фундук содержит вещества, которые способствуют выведению шлаков из организма (особенно из печени). Употребление фундука в пищу предотвращает гнилостные процессы, очищает организм.

В представленной работе предлагается обжаривать каштаны и орех фундук перегретым паром. Это дает возможность снизить влажность продукта до 3-5 %, а также придать ему приятный вкус и аромат, которые высоко ценятся в кулинарии.

Химический состав растительного сырья, выбранного в работе для производства пищевых добавок, представлен в Приложении А.

1.3 Краткий обзор техники и технологии обжарки растительного сырья

Существующие виды обжарочного оборудования для обжарки растительного сырья отличаются конструктивным исполнением и видом используемого теплоносителя [31, 43, 44, 49, 76]. Аппараты можно разделить по следующим признакам: вид теплоподвода, производительность, геометрия теплообменной поверхности, способ перемешивания, вид используемого теплоносителя, давление в рабочей камере (рисунок 1.3).

В Приложении Б представлены производительности и установочные мощности моделей обжарочных аппаратов, наиболее часто применяемых в производственных условиях.



Рисунок 1.3 – Классификация обжарочных аппаратов

Широкое распространение получили цилиндрические обжарочные аппараты ТНА-240 [37], Готхот и др., а также шаровой обжарочный аппарат «Сирокко» с конвективным теплоподводом, в которых основной рабочий орган – вращающийся цилиндрический или шаровой барабан, через стенки которого к продукту подводится теплота. Основной недостаток таких конструкций – наличие застойных зон около боковых стенок барабана, что приводит к чрезмерному перегреву продукта. Кроме того, эти аппараты отличаются большими затратами энергии на процесс и низким коэффициентом теплоиспользования из-за наличия воздушной прослойки между корпусом и нагревателем.

Следует отметить высокотехнологичное оборудование концерна «Пробат» [91], занимающего первое место в Европе по производству оборудования для тепловой обработки материалов. Оборудование для обжарки растительного сырья этой фирмы представлен тремя модельными рядами обжарочных аппаратов (таблица 1.1.), различающимися по направлениям движения продукта и теплоносителя: центробежным «Сатурн» (рисунок 1.4, а), тангенциальным «Юпитер» (рисунок 1.4, б) и барабанным «Нептун» (рисунок 1.4, в).

Благодаря центробежным силам, создаваемым при вращении в аппарате «Сатурн», сырье равномерно распределяется по всей поверхности чаши. На движущийся слой сырья в центре чаши направляется струя воздуха так, что воздух

вступает в контакт со всеми его частичками. Благодаря этому, происходит равномерное распределение сырья, и перенос тепла практически полностью осуществляется конвекцией.

Т а б л и ц а 1.1 – Техническая характеристика обжарочных аппаратов фирмы «Пробат»

Марка	Производительность, кг/ч	Размер порции, кг	Время обжарки, мин
Сатурн 250	250	35...45	5...15
Сатурн 2500	2500	300...400	5...15
Сатурн 4000	4000	480...640	5...15
Юпитер 500	500	50...75	5,5...18
Юпитер 1000	1000	47...175	2...18
Юпитер 1200	1200	60...120	3,5...10
Юпитер 2000	2000	93...350	2...18
Юпитер 3000	3000	145...525	2...18
Юпитер 4000	4000	260...600	2...18
Юпитер 5000	5000	550...750	5,5...18
Нептун 500	480	80...120	8...20
Нептун 1500	1500	240...320	8...20
Нептун 3000	3000	480...640	8...20



а

б

в

Рисунок 1.4 – Обжарочные аппараты фирмы «Пробат»: а – центробежный «Сатурн» 250; б – тангенциальный «Юпитер» 1200; в – барабанный «Нептун» 500

Благодаря разделению горячего воздуха на энергоподвод и механическое движение обжариваемого продукта в аппарате «Юпитер» становится возможным сделать процесс обжарки в тангенциальной обжарочной машине более гибким. Лопаточный механизм, который вращается внутри стационарной обжарочной камеры, обеспечивает щадящее оптимальное перемешивание растительного сырья. Свежее сырье подается в аппарат «Нептун» порциями при помощи загрузочной

воронки. Воздух на обжарку поступает одновременно сквозь обжарочный барабан и вокруг него. Таким образом, тепловая энергия подводится кондуктивно через контакт частиц сырья с обжарочным барабаном (около 30 %) и конвективно через поток подаваемого воздуха (около 70 %). Обжарочный барабан имеет направляющие, которые способствуют перемещению продукта в направлении противоположном движению воздуха.

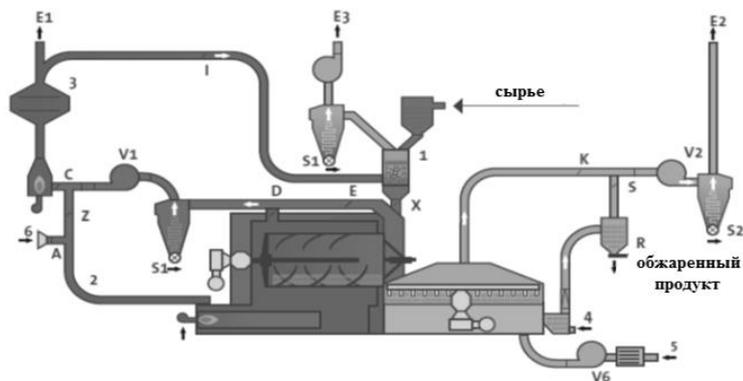


Рисунок 1.5 – Обжарочный аппарат CTR-3000/CTR-1500: 1 – узел предварительного прогрева сырья; 2 – система рециркуляции 3 – каталитическая система с предварительной горелкой; 4 – пневматический камнеотборник; 5 – наружное охлаждение воздуха; 6 – очистной воздух

целью энергосбережения. Горелка, которая расположена под обжарочным барабаном, нагревает циркулирующие обжарочные газы до установленной температуры и стабилизирует их при помощи цепи управления.

Лишь воздух, производимый в качестве дополнительного в ходе процесса обжарки (газы для обжарки и воздух для горения), будет подаваться в каталитический очистной аппарат в качестве отработанного газа. Нужная температура реакции генерируется при помощи дополнительной горелки с целью последующей очистки отработанного газа катализатором со встроенными керамическими модулями. Программируемый логический контроллер вместе с панелью управления обеспечивает автоматическую эксплуатацию.

Значительное количество обжарочного оборудования, а также способов обжарки растительного сырья и получения пищевых добавок было разработано и запатентовано отечественными и зарубежными учеными, наиболее интересные из них рассмотрены ниже (таблица 1.2).

Фирмой «Нойхаус Неотек» [43] был разработан обжарочный аппарат барабанного типа CTR-3000/CTR-1500 (рисунок 1.5) производительность до 3 т/ч и до 1,5 т/ч соответственно. Объем порции составляет 230...330 кг и 450-660 кг соответственно.

Обжарочные газы в аппарате используются повторно с

Т а б л и ц а 1.2 – Промышленные обжарочные аппараты производительностью 240-6000 кг/ч

Обжарочный аппарат (изготовитель, модель)	Время обжарки, мин	Производительность по продукту, кг/ч
<i>Горизонтальный обжарочный барабан, периодического действия</i>		
Бернс (США) – Термало 23, 24		545/907
Бернс (США) – Термало Серия 4200	3,5-15	544/1179
ЛЕОГАП (Бразилия) – 2000 Компакто		540/900/1260
ЛЕОГАП (Бразилия) – Рапидо		900/1500/2100
Сиа Лилла (Бразилия) – CG/CO		625/1250/2500
Сиа Лилла (Бразилия) – COA		400/800/1600
ОПС (Италия) – MPS		120-1200
Пробат (Германия) – G	8-13	240/280
Пробат (Германия) – CN	12	240/480/1200/2000
Пробат (Германия) – R	8-10	1000/1500/2000/3000
Пробат (Германия) – Excelsior	5-12	480
СТА Импианти (Италия) – M3	10-15	260-2880
СТА Импианти (Италия) – Futura	10-15	240-1920
Текаир (Испания) – TNA		700/1500/3000
Текаир (Испания) – TNA F		700/1000
<i>Горизонтальный барабан, непрерывного действия</i>		
Пробат (Германия) – RC	1,5-8	2500/3500/4000
Нойхаус Неотек (Германия) – C	1,5-6 (5-12)	2500/3500/4500
<i>Вращающаяся чаша</i>		
Пробат (Германия) – RZ	2,5-9,5	2500/3500/4000/5000
<i>Вертикальный стационарный барабан с лопастями</i>		
Готхот (Германия) – RN	3-8	1000/2000/3000/4000
Готхот (Германия) – RT	3-9	1000/2000/3000/4000
<i>Обжарка в плотном слое</i>		
Бернс (США) – Система 90	1-5	500/1000/3000/4000
<i>Обжарка в псевдоожигенном слое, периодического действия</i>		
Нойхаус Неотек (Германия) – RFB	1,5-8	300-3000
Нойхаус Неотек (Германия) – RFB G		200-1500
Нойхаус Неотек (Германия) – RH 2010		
ЛЕОГАП (Бразилия) – Turbo 3500	3,5-4,5	240
<i>Обжарка в псевдоожигенном слое, непрерывного действия</i>		
Непро Вортекс (Германия) – Fluidat	1-15	500-6000
Волверин Проктор и Шварц (США) – Jetzone	1-3	453-5443

Обжарочный аппарат [43] содержит основание 1 (рисунок 1.6) в виде массивной стальной плиты, к которой присоединены четыре стойки 2 (попарно) на расстоянии между парами, равном длине аппарата; к каждой паре стоек присоединено по одному неподвижному диску 3 с общей горизонтальной осью; к дискам перпендикулярно к их плоскостям присоединены две стальные, параллельные друг другу, прямоугольные вертикальные пластины 4, в результате чего поверхности пластин и части поверхностей дисков образуют вертикальную шахту пря-

моугольного сечения (горизонтальной плоскостью), которая в аппарате является перемешивающе-обжарочной камерой.

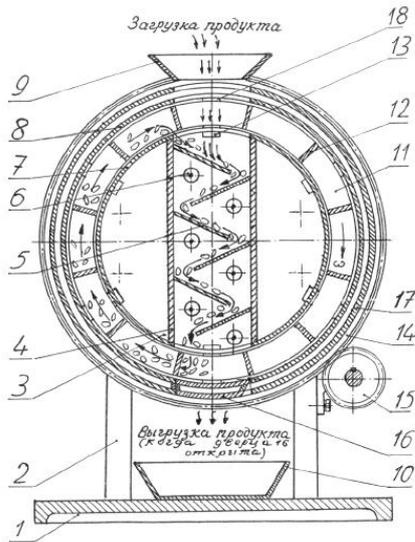


Рисунок 1.6 – Барабанный обжарочный аппарат: 1 - основание, 2 - стойка, 3 - неподвижный диск, 4 - вертикальные пластины, 5 - пластины-полки, 6 - ТЭН, 7,8 - внутренний и внешний концентрические цилиндры, 9 - загрузочный бункер, 10 - приемная емкость, 11 - плоские кольца, 12 - скребки, 13 - графитовая опора, 14 - зубчатое колесо, 15 - шестерня, 16 - откидная дверца, 17 - защитный кожух, 18 - опорная пластина

цилиндрами 7 и 8 установлен вращающийся скребковый барабан, состоящий из двух плоских колец 11, соединенных между собой пластинами (скребками) 12 с радиальным расположением их плоскостей; кольца барабана опираются на шесть (из расчета на каждое кольцо) графитовых опор 13 и шесть опорных пластин 18, расположенных по окружностям колец скребкового барабана с угловым шагом 60° , благодаря чему барабан ("беличье колесо") имеет возможность вращаться внутри межцилиндрического зазора, поднимая продукт из нижней области камеры в ее верхнюю область пластинами-скребками. Для вращения барабана к каждому из его колец прикрепляется тонкий зубчатый венец (зубчатое колесо) 14, находящийся в зацеплении с шестерней 15, получающей вращение от привода аппарата (привод на фигурах не показан). Для разгрузки обжаренного продукта имеется откидная

В камере для перемешивания подаваемого сверху сыпучего обжариваемого продукта установлены наклоненные к горизонту пластины-полки 5. Для нагрева обжариваемого продукта в шахте установлены трубчатые электрические нагреватели (ТЭНы) 6 - по одному под каждой перемешивающей наклонной полкой. Вокруг камеры расположены два концентрических цилиндра (внутренний 7 и внешний 8), оси которых совпадают с осью не-

подвижных дисков 3; цилиндры имеют два продольных прямоугольных окна вдоль образующих - один сверху против входа в камеру обжариваемого продукта из загрузочного бункера 9 и один снизу против выхода обжаренного продукта из камеры вниз в приемную емкость 10.

В цилиндрической полости между ци-

дверца 16, при открытии которой обжаренный продукт высыпается в приемную емкость 10. Цилиндрическая часть аппарата снаружи имеет цилиндрический защитный кожух 17; цилиндрическая полость между кожухом и внешним цилиндром 7 заполняется теплоизоляционным материалом или оставляется свободной, являясь таким образом теплоизолятором.

При включении аппарата в электрическую сеть приводится во вращение скребковый барабан ("беличье колесо") и нагреваются ТЭНы, а от них наклонные лопатки шахты и все пространство внутри нее.

При засыпке в загрузочный бункер продукта последний под действием силы тяжести просыпается в шахту, попадая сначала на первую (верхнюю) наклонную полку; скользя по верхней полке, продукт пересыпается на следующую по высоте за первой вторую полку, изменяя при этом свое направление; скользя по второй полке, продукт аналогично перемещается на третью полку и т.д. до последней (нижней) полки, с которой затем продукт соскальзывает в нижнюю полость камеры, где непрерывно захватывается скребками вращающегося скребкового барабана ("беличьего колеса") и по полости между внутренним и наружным цилиндрами перемещается к верхней полости шахты, где непрерывно же пересыпается в шахту на ее верхнюю полку, а затем перемещается далее вниз, как было описано выше.

При скольжении продукта по полкам (с изменением направления перемещения его при переходе с предыдущей полки на следующую) происходит интенсивное перемешивание продукта, а в силу того что полки и все пространство шахты нагреты равномерно, то происходит эффективное обжаривание продукта.

Описанное выше круговое перемещение продукта продолжается до полного обжаривания последнего. Готовый продукт после обжаривания выгружается в устанавливаемую под шахтой приемную емкость посредством открытия разгрузочной дверцы при вращающемся скребковом барабане.

Степень готовности обжариваемого продукта определяется путем взятия проб. Для взятия проб в неподвижном диске 3 имеется круглое отверстие, при работе закрытое заслонкой.

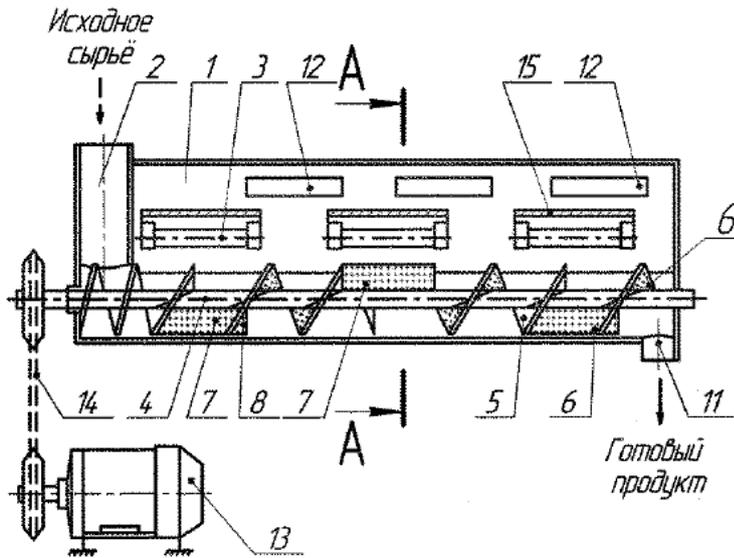


Рисунок 1.7 – Обжарочный аппарат: 1 - корпус, 2 - загрузочный бункер, 3 - инфракрасные нагревательные элементы, 4 - горизонтальный вал, 5 - винтовые лопасти, 6, 8 - отверстия перфорации, 7 - продольные пластины, 9 - цилиндрическая поверхность, 10 - стенка, 11 - выходной патрубок, 12 - щелевые окна, 13 - электродвигатель, 14 - цепная передача, 15 - отражатели

Предложенное устройство [41] для обжарки растительного сырья включает корпус 1 с загрузочным бункером 2, инфракрасные нагревательные элементы 3, пару горизонтальных валов 4, на которых установлены винтовые лопасти 5 с отверстиями перфорации 6 и продольные пластины 7 с отверстиями перфорации 8. Корпус 1 выполнен сочленением из двух неполных по профилю цилиндрических поверхностей 9 и стенки 10. В корпусе 1 имеются выходной патрубок 11 для

выхода готового продукта, продольные щелевые окна 12 для аспирации.

Устройство снабжено электродвигателем 13, который через цепную передачу 14 соединен с парой валов 4. Инфракрасные нагревательные элементы 3 снабжены отражателями 15 параболического профиля и смонтированы на крышке корпуса 1.

В данном устройстве диаметр отверстий перфорации 8 продольных пластин 7 больше максимального размера обжариваемой частицы продукта. Это необходимо для прохода части продукта через пластины в момент его подъема, что существенно увеличивает развернутую поверхность материала при его облучении. Одновременно повышается циркуляция воздушных потоков, которые выравнивают температуру в объеме рабочей камеры и усиливают конвективную составляющую теплообмена. Этот положительный эффект будет усиливаться дополнительно за счет наличия отверстий перфорации 6 на винтовых лопастях 5, при этом размер диаметра отверстий перфорации 6 особого значения не имеет.

Пищевой продукт поступает в бункер 2 и на первые дозирующие витки перемешивающих лопастей и далее транспортируется в зону обжаривания. Пара горизонтальных валов 4 с перфорированными лопастями 5 и продольными пластинами 7 представляет транспортирующий и перемешивающий орган и приводится во вращение с помощью электродвигателя 13 посредством цепной передачи 14. На участке сочленения лопастей 5 и пластин 7 материал захватывается, поднимается и пересыпается на дно корпуса, создавая тем самым развернутую поверхность материала для облучения. Такое движение материала в устройстве периодически повторяется. Благодаря такому конструктивному выполнению обеспечивается продольное движение материала, а в зонах расположения инфракрасных нагревательных элементов 3 - дополнительно поперечное с помощью продольных пластин 6.

Благодаря наличию на винтовых лопастях 5 отверстий перфорации 6 обеспечивается дополнительно конвективная составляющая теплообмена при обжаривании продукта, а более активная циркуляция воздушных потоков выравнивает температуру по объему рабочей камеры, что и повышает качество конечного продукта. Наличие отверстий перфорации 8 на продольных пластинах 7 обеспечивает дополнительное перемешивание продукта и просыпание его в зоне обжарки, что выравнивает воздушные потоки и также благоприятно влияет на равномерность обжарки продукта и эффективность работы устройства в целом.

Обжаренный продукт выводится через выходной патрубок 11 и поступает на дальнейшую технологическую операцию. Выделяющийся при обжарке растительного сырья пар удаляется из устройства через щелевые окна 12.

Перфорация в винтовых лопастях валов и пластинах обеспечивает более активную конвекцию греющей среды в рабочей камере обжарочного устройства, что в свою очередь повышает равномерность обжарки и соответственно качество конечного продукта. Кроме того, при диаметре отверстий перфорации продольных пластин больше максимального размера обжариваемых частиц обеспечивается их активное перемешивание и просыпание в процессе обжарки, что также благоприятно сказывается на равномерности и, следовательно, качестве обжариваемого

мого продукта, при этом часть продукта обрабатывается лучистой энергией в движении (как бы в потоке).

Если диаметр отверстий перфорации продольных пластин меньше размера обжариваемых зерен, то в этом случае частицы сырья не будут проходить через отверстия перфорации пластины, что в свою очередь ухудшает их перемешивание и снижает качество обжарки за счет пригорания продукта.

Суммарный положительный эффект от перфорированных лопастей и пластин складывается из следующих составляющих: выравнивается температурное поле прежде всего по длине рабочей камеры: локальное расположение нагревательных элементов обуславливает значительный перепад температур - в зоне действия нагревателей температура наибольшая, между нагревателями наименьшая; повышается конвективная составляющая теплообмена за счет более активной циркуляции воздушных потоков - греющей среды; улучшается качество обжарки сырья за счет увеличения развернутой поверхности облучения в момент просыпания частиц при их подъеме перфорированными лопастями: тепловая обработка осуществляется в движении продукта при одновременной активации воздушных потоков.

В предложенном устройстве продольные перфорированные пластины могут быть съемными, при этом аппарат комплектуется набором пластин: изменился максимальный размер обрабатываемых частиц сырья (другой сорт продукта, вид и т.д.) - подбирается и устанавливается из набора соответствующая перфорированная пластина.

Таким образом, только строгое соблюдение всех отличительных признаков позволяет решить поставленную задачу - улучшение качества обжарки сырья.

На рисунке 1.8. изображен общий вид линии производства обжаренных пищевых продуктов [51].

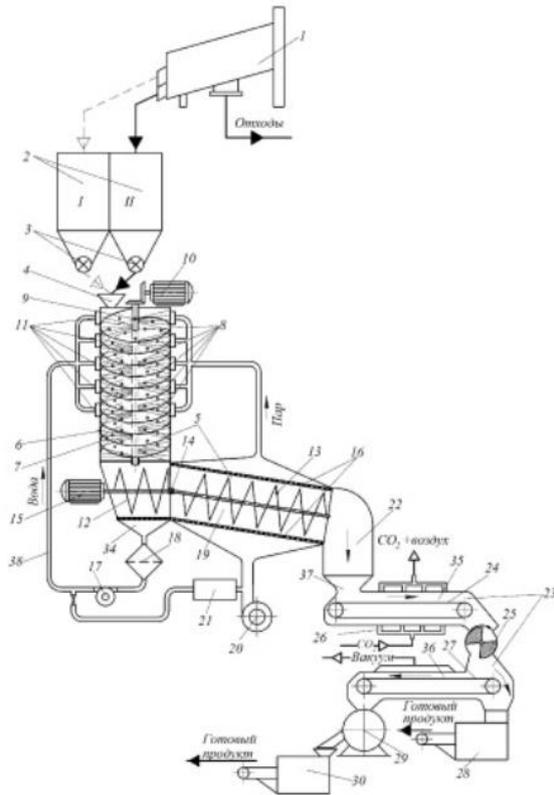


Рисунок 1.8 – Линия производства обжаренных пищевых продуктов: 1 - ситовый сепаратор, 2 - бункеры, 3 - ротные дозаторы, 4 - загрузочная воронка, 5 - устройство для мойки и термовлажностной обработки, 6 - цилиндрический бункер, 7 - спиралевидная лента, 8 - овальные выступы, 9 - вал со щеткой, 10 - электродвигатель, 11 - форсунки, 12, 13 - шнеки, 14 - шарнир, 15 - электродвигатель, 17 - насос, 18 - фильтр, 19 - секция обжарки исходного сырья, 20 - вентилятор, 21 - парогенератор, 22 - патрубок, 23 - вакуумный аппарат, 24 - ленточный транспортер, 25 - роторный дозатор, 26 - трубопровод, 27 - транспортер, 28 - вакуум-упаковочный аппарат, 29 - дражировочный аппарат, 30 - вакуум-упаковочный автомат, 31 - кран, 32 - цилиндрические уплотнители, 33 - пружины, 34 - конфузор, 35, 36 - верхняя и нижняя секции вакуумного аппарата, 37 - загрузочная воронка

магнитные примеси.

Устройство для мойки и термовлажностной обработки сырья 5 представляет собой корпус, состоящий из вертикального цилиндрического бункера 6, в верхней части которого расположена загрузочная воронка 4. По внутренней поверхности

Линия для производства обжаренных пищевых продуктов из ядер орехов и семян масличных культур содержит ситовой сепаратор 1, бункеры для хранения различных фракций сырья 2, например, зерно подсолнечника, ядра арахиса, фисташки и т.д. с установленными в их нижней части роторными дозаторами 3, устройство для мойки и термовлажностной обработки продуктов 5, вакуумного аппарата 23 для охлаждения и насыщения сырья углекислым газом, дражировочного аппарата 29 и вакуум-упаковочного автомата 28 и 30.

Ситовой сепаратор 1 состоит из набора сит (в количестве 2 и более, в зависимости от того на сколько фракций будет необходимо разделять сырье), расположенных одно под другим, позволяющих производить сортировку исходного сырья, разделяя его на несколько фракций. С верхнего сита сходят наиболее крупные семена, а на каждом последующем сите идет отделение более мелких семян. Также сепаратор 1 позволяет удалять ферро-

бункера 6 расположена спиралевидная лента 7, снабженная овальными выступами 8, предназначенными для дополнительного воздействия на сырье с целью его лучшего вымывания. В центре бункера 6 установлен вал 9 со щеткой, которая обеспечивает продвижение сырья по спиралевидной ленте, при этом обеспечивая мойку сырья. Привод вала осуществляется при помощи электродвигателя 10. На наружной поверхности цилиндрического бункера 6 расположены форсунки 11, предназначенные для подачи воды для мойки сырья. В нижней части устройства мойки и термовлажностной обработки сырья 5 находятся два шнека, один - короткий 12, в нижней части цилиндрического бункера 6, другой - длинный 13 в секции обжарки исходного сырья 19. Соединение между шнеками осуществляется с помощью шарнира равных угловых скоростей 14, за счет чего обеспечивается равномерное вращение обоих шнеков. Шнеки 12 и 13 приводятся во вращение электродвигателем 15. Частота вращения шнеков 12 и 13 регулируется с помощью тиристорного регулятора частоты, который находится на электродвигателе 15.

В устройстве для мойки и термовлажностной обработки сырья 5, под шнеками 12 и 13 установлены перфорированные сетки, над шнеком 13 также расположена перфорированная сетка. Под шнеком 12 расположен конфузор 34, из которого отработанная после мойки исходного сырья вода поступает в фильтр 18, а затем при помощи насоса 17 по трубопроводу 38 поступает в форсунки 11, т.е. осуществляется принцип рециркуляции.

Из устройства для мойки и термовлажностной обработки сырья 5 вода при помощи насоса 17 при открытом кране 31 поступает в парогенератор 21, где образуется перегретый пар, который вентилятором 20 подается в секцию обжарки исходного сырья 19. Как только в парогенераторе 21 набирается требуемое для получения перегретого пара количество воды, кран 31 закрывают. Из секции обжарки исходного сырья 19 по патрубку 22 готовый продукт поступает в вакуумный аппарат 23 для охлаждения сырья и насыщения углекислым газом.

Вакуумный аппарат охлаждения сырья и насыщения углекислым газом 23 состоит из верхней 35 и нижней секции 36. Верхняя секция 35 снабжена загрузоч-

ной воронкой 37 и ленточным транспортером 24. Снизу в верхнюю секцию 35 аппарата 23 по трубопроводу 26 подается углекислый газ.

На выходе из верхней секции 35 в аппарате 23 установлен роторный дозатор 25, у которого имеются вырезы под углом 80-90 градусов. В нижней секции 36 аппарата 23 установлен ленточный транспортер 27 с возможностью реверсивного движения. В роторном дозаторе 25 установлены цилиндрические уплотнители 32, которые подпираются пружинами 33 (фиг. 2). За счет минимального зазора между роторным дозатором 25 и внешней цилиндрической частью, в которой вращается ротор, а также за счет цилиндрических уплотнителей 32 в нижней секции аппарата 23 поддерживается вакуум.

Из вакуумного аппарата охлаждения и насыщения сырья углекислым газом 23 сырье при помощи транспортера 27 поступает либо сразу на упаковку в вакуум-упаковочный автомат 28, либо сначала идет в дражировочный аппарат 29 для внесения добавок, а затем в вакуум-упаковочный автомат 30.

Исходное сырье поступает на ситовой сепаратор 1, где происходит разделение исходного сырья на фракции, а также удаление ферромагнитных примесей, далее сырье в зависимости от размера направляется в бункера 2.

С помощью роторных дозаторов 3 сырье через загрузочное отверстие 4 поступает на мойку в устройство для мойки и термовлажностной обработки 5. Включается электродвигатель 10, за счет которого осуществляется привод вала 9 со щеткой. Одновременно с включением привода начинается подача воды в бункер 6 через расположенные на его наружной поверхности форсунки 11. Сырье начинает движение вниз по спиралевидной ленте 7, при этом оно начинает совершать постоянные беспорядочные вращательные движения за счет овальных выступов 8, расположенных на ленте 7.

Затем включается электродвигатель 15, при помощи которого приводятся во вращение шнеки 12 и 13. Промытое исходное сырье вместе с потоком воды поступает в отсек, где расположен шнек 12, при этом происходит отделение воды от исходного сырья. Вода через конфузор поступает в фильтр 18, а затем при помощи насоса 17 по трубопроводу 38 поступает в форсунки 11. Таким образом, про-

цесс мойки исходного сырья оказывается циклически-замкнутым, что позволяет экономить воду.

Далее исходное сырье шнеком 12 подается в камеру обжарки 19, где оно обжаривается насыщенным перегретым водяным паром, поступающего из парогенератора 21 при помощи вентилятора 20. При помощи шнека 13 происходит постоянное ворошение сырья, что приводит к равномерности обжарки. Вся влага, которая испаряется с поверхности сырья, выходит из секции обжарки 19 в виде пара и направляется в форсунки 11.

Обжаренное сырье при температуре 80...120°C, в зависимости от вида сырья, поступает через загрузочную воронку 37 на транспортерную ленту 24 вакуумного аппарата для охлаждения сырья 23. При этом начинается подача углекислого газа по трубопроводу 26. Распределяясь по транспортеру 24, сырье обдувается углекислым газом, при этом происходит его охлаждение и одновременно насыщение углекислым газом для увеличения длительности хранения. Углекислый газ в модифицированной атмосфере используется для замещения кислорода, он активно препятствует развитию аэробных бактерий, вызывающих гниение. В результате чего на 2-3 месяца продлеваются сроки хранения сырья и максимально сохраняются его вкусовые и пищевые свойства.

Из нижней секции 36 аппарата 23 происходит откачивание воздуха, за счет чего создается вакуум.

Роторный дозатор 25 начинает вращаться по часовой стрелке, подавая сырье на транспортер 27. Вращение по часовой стрелке осуществляется для того, чтобы сырье попадало на транспортер 27.

Если сырье больше не требует никакой обработки, то лента транспортера 27, вращаясь по часовой стрелке, подает сырье в вакуум-упаковочный автомат 28. Если же требуется нанесение жировитаминных добавок, то лента транспортера 27, вращаясь против часовой стрелки, направляет сырье в дражировочный аппарат 29, а затем из него в вакуум-упаковочный автомат 30.

В Приложении В представлены патенты США в области обжарки растительного сырья.

В промышленности обжаривание орехов обычно производится открытым способом с применением или без масла либо в барабанной машине. Обжарка орехов в скорлупе или без нее открытым способом подразумевает использование специальных машин для обжаривания. Энергоносителем в данном случае выступает природный или сжиженный газ. При обжарке орехов барабанным способом применяют жарочные наклонные перфорированные барабаны с постепенным продвижением продукта вниз по тракту.

Пламя слегка касается продукта, а дым удаляется вытяжкой через дымоход барабана. Обжарка орехов в печи может длиться до 6 часов при температуре 70 С. [66].

1.4 Анализ закономерностей процесса обжарки растительного сырья

Важной задачей научных изысканий процесса обжарки растительного сырья является определение оптимальной температуры и продолжительности процесса.

Технологические параметры процесса обжарки растительного сырья определяют качественные показатели готового продукта, являющиеся результатом физических, биохимических и коллоидно-химических изменений во время термической обработки сырого сырья [36], что в свою очередь, оказывает значительное влияние на качество обжаренного продукта, а также на выход продукции.

Общеизвестно [36, 38, 70], что интенсивность обжарки растительного сырья определяется температурой перегретого пара. Проводя анализ характера изменения температуры частиц сырья, и ее влияние на интенсивность обжарки, Степанов и Татарченко [36] указывают, что темп нагрева обжариваемых частиц сильно опережает интенсивность изменения их влагосодержания, ограниченного внутренней диффузией влаги внутри частиц сырья.

Никель С.А. [42] проводил экспериментальные исследования процессов тепловой обработки орехов. Режимные параметры процесса сушки: остаточное давление в камере $P = 9,8$ кПа, температура рабочих поверхностей противней $T =$

45.. 70 °С удельная нагрузка орехов (с начальным влагосодержанием 0,25 кг/кг) на поверхность противня при толщине слоя $h = 30$ мм.

В процессе сушки материал подвергается совокупному воздействию кондуктивного, лучистого и конвективного теплопереноса.

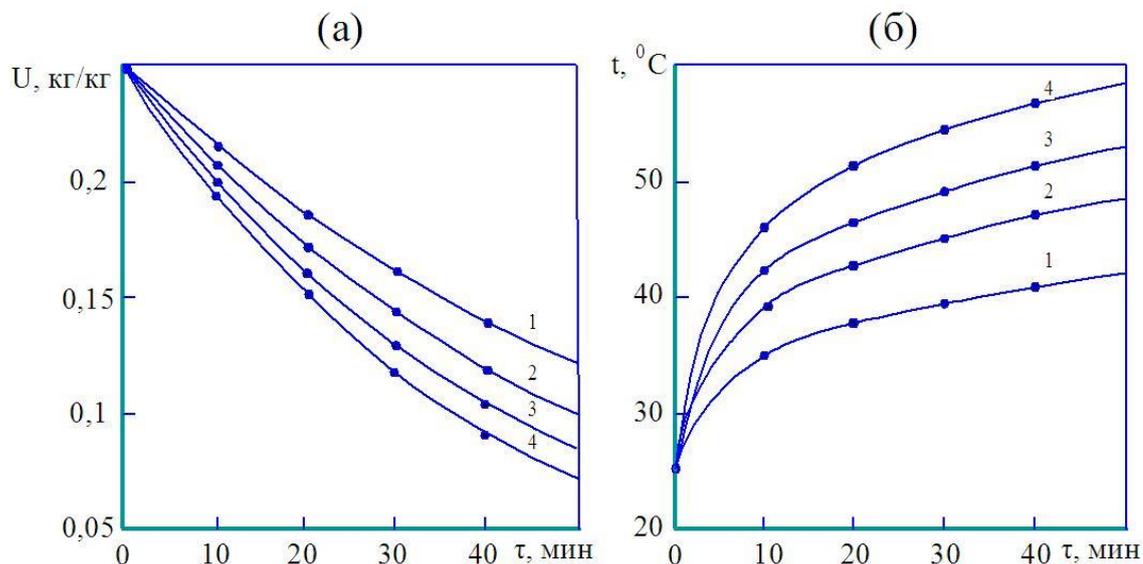


Рисунок 1.9 – Кривые сушки (а) и температурные кривые (б) орехов арахис в зависимости от температуры рабочей поверхности при $P = 9,8$ кПа, $G/F = 11$ кг/м², $h = 30$ мм: 1 – 50 °С, 2 – 56 °С, 3 – 60 °С, 4 – 65 °С

В своей работе он отметил, что обжарка орехов протекает в период внут-

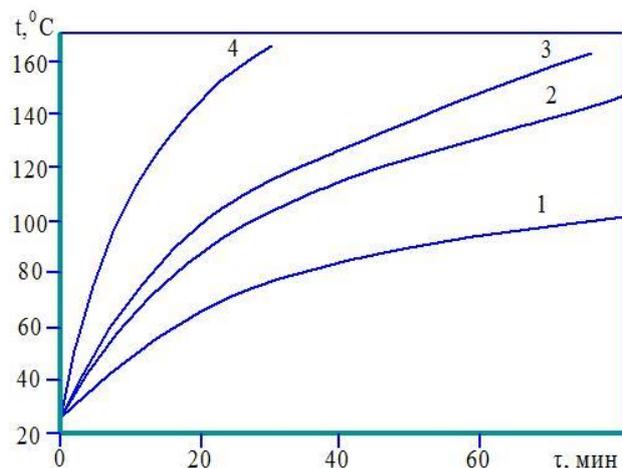


Рисунок 1.10 – Температурные кривые орехов при температуре среды: 1 – 150 °С, 2 – 170 °С, 3 – 225 °С, 4 – 370 °С

образца становятся одинаковыми.

реннего испарения и характеризуется повышающейся температурой материала. Отмечалось быстрое повышение температуры на поверхности материала с течением времени (рисунок 1.10).

Температура в центральных слоях орехов также повышается, но немного медленнее. Таким образом, в материале возникает температурный градиент, который в конце прогрева на всю глубину ореха равен нулю: температуры поверхности и центра

Никелем были построены кривые 1, 2, 3, 4 (рисунок 1.11), характеризующие изменение влагосодержания орехов в процессе обжарки.

С увеличением температуры рабочих поверхностей сушильной установки интенсивность испарения влаги из материала увеличивалась. Кривые имеют вид, характерный для периода внутреннего испарения.

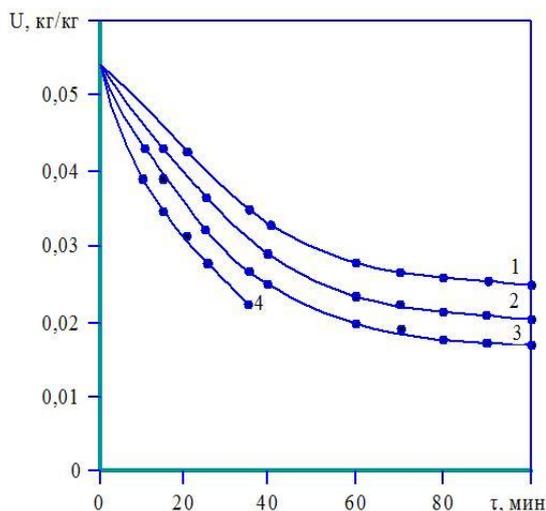


Рисунок 1.11 – Зависимость влагосодержания орехов от времени обжарки при температуре среды: 1 – 150 °С, 2 – 170 °С, 3 – 225 °С, 4 – 370 °С

Им также были получены зависимости изменения скорости влагоудаления от времени обработки и влагосодержания материала (рис. 1.12).

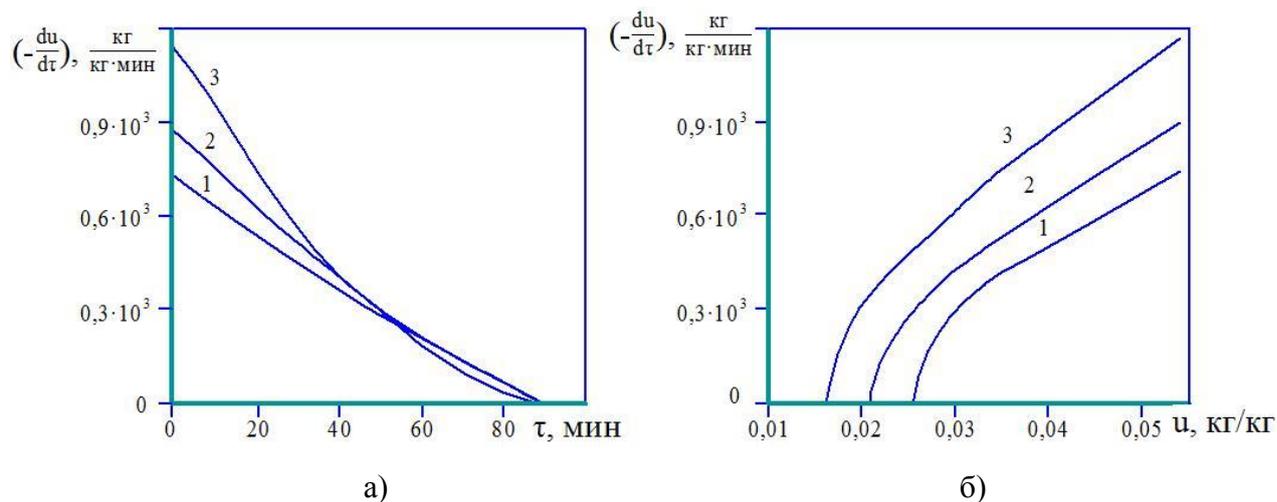


Рисунок 1.12 – Изменение скорости влагоудаления орехов в зависимости от: а – времени обжарки, б – влажности материала при температуре противня: 1 – 160 °С, 2 – 175 °С, 3 – 225 °С

В работе Аширу В. Б. отмечается, что модель сушки в тонком слое, используемая при описании процессов обжарки растительных материалов, принято

разбивать на три категории [78]: теоретический, полутеоретический и прикладной. Первый принимает в расчет только внутреннее сопротивление при переносе влаги, в то время как остальные два рассматривают только внешнее сопротивление при перемещении влаги между теплоносителем и продуктом.

Наиболее полно исследован второй диффузионный закон Фика. Поведение процесса сушки многих растительных продуктов, в частности орехов, было с высокой точностью предсказано при помощи этого закона [77].

Полутеоретический подход предполагает своего рода компромисс между теорией и практическим использованием. [77]

При упрощении базовых выводов второго закона Фика были получены полутеоретические модели. Однако они действительны лишь для того диапазона температур, для которого они были разработаны.

На ряду с полутеоретическими моделями используются модели Хендерсона и Пабиса, Льюиса, страничная модель и модифицированная страничная модель.

Эмпирические модели предоставляют прямую зависимость между средним значением влажности и времени обжарки. Они пренебрегают основами процесса сушки и их параметры не имеют физического значения. Тем не менее они не могут предоставить четкого взгляда на важнейшие процессы, возникающие в ходе обжарки. В то же время данные модели могут дать описание кривых сушки в условиях экспериментов. [76]

Аширу В.Б. отметил, что среди рассмотренных выше моделей также в литературе были тщательно изучены модели Вана и Сина, а также модель Томпсона. [77]. Описанные методы были сведены в таблицу 1.3.

Т а б л и ц а 1.3 – Математические модели процесса обжарки

Название модели	Модель
Модель Хендерсона и Пабиса	$MR = a \cdot \exp(-kt)$
Модель Льюиса	$MR = \exp(-kt)$
Страничная модель	$MR = \exp(-kt)^n$
Модифицированная страничная модель	$MR = \exp(-kt)^n$
Модель Томпсона	$MR = a \cdot \exp(-k_1 t) + a \cdot \exp(-k_2 t)$
Модель Вана и Сина	$MR = 1 + at + bt^2$ $t = a(1n MR) + b(1n MR)^2$

Сушка орехов проводилась Аширу В.Б. с начальным влажосодержанием 9,29 % и продолжалась до достижения значения 3,5 -4,5 % при различных температурах: 70, 80, 90, 100 и 110 °С и продолжительностью 3, 4, 5, 6 и 7 часов соответственно.

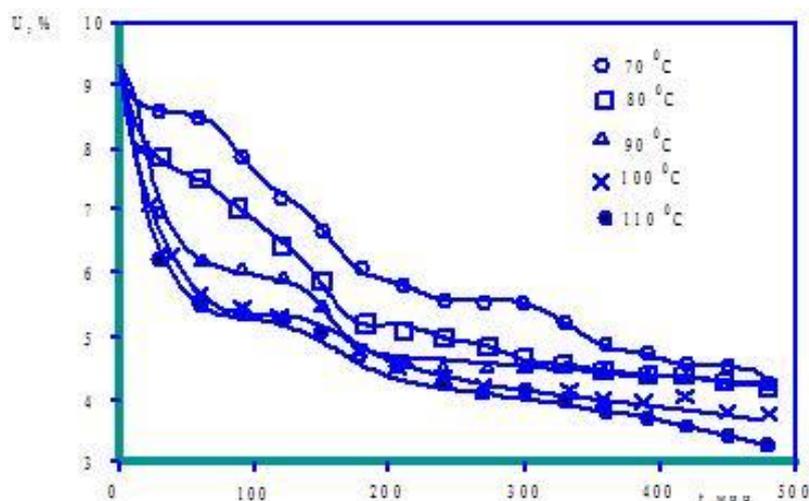


Рисунок 1.13 – Изменение влажности в процессе сушки орехов при различных температурах (70, 80, 90, 100 и 110 °С)

Кривые изменения влажности представлены на рисунке 1.13.

Для моделирования процесса сушки орехов Аширу В.Б. был выбран модифицированный страничный метод. После ряда подстановок и определения значений соответствующих коэффициентов уравнение модели приняло вид:

$$\log(-\ln MR) = (-0,0101T + 1,561) \log t + \log(0,0054T + 0,2379),$$

при n or $k = aT + b$

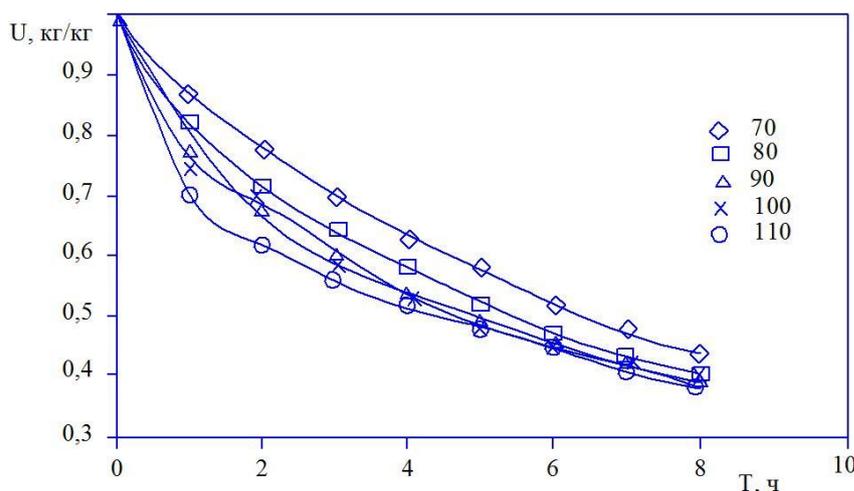


Рисунок 1.14 – Расчетные кривые влажности орехов при различных температурах (70, 80, 90, 100 и 110 °С)

После проведения расчетов в среде MathCad был получен расчетный график изменения влажности орехов с течением времени.

Расчетные данные, полученные Аширу В.Б. совпали с экспериментальными с ошибкой в 10 %, что показывает высокую степень сходимости.

1.5 Анализ литературного обзора и задачи исследования

Анализ приведенных данных дает понять, что низкий уровень изучения общих закономерностей процесса обжарки растительного сырья (орехов фундук и каштанов) затормаживает использование новейших, перспективных способов и разработку на их основе эффективных аппаратов, которые позволяют внедрять технологию интенсивнее и одновременно более рационально использовать энергетический потенциал теплоносителей, обеспечивая высокое качество готового продукта.

Имеющееся оборудование и способы обжарки подразумевают значительную протяженность процесса во времени и часто не дают возможности организовать процесс в замкнутом цикле. Усовершенствование технологии напрямую связано с увеличением производительности оборудования, что делает теплообмен более интенсивным и снижает удельный расход теплоты. В настоящее время широко распространенные обжарочные аппараты не соответствуют требованиям, предъявляемым к экологической безопасности, т.к. используют в качестве теплоносителя дым, воздух и топочные газы. Кислород же воздуха способствует процессам окисления, в отличие от дыма и топочных газов, которые содержат канцерогены, что в свою очередь приводит к значительному снижению качества готового продукта.

Первым шагом при разработке проектов по энергосбережению должны являться комплексные исследования, направленные на более глубокое изучение принципиальных вопросов техники, теории и технологии обжарки, которые основаны на нетрадиционных методах воздействия на сырье.

Для проектирования более эффективных обжарочных аппаратов на базе совместного рассмотрения кинетических режимов сушки с структурно-механическими и физико-химическими характеристиками растительного сырья в первую очередь нужно выполнение соответствия гидродинамического режима технологического процесса кинетике обжарки.

Несмотря на большой объем исследований, до сих пор полного понимания механизмов обжарки не достигнуто. Кроме того, отсутствует математическая модель которая могла бы описать процесс с учетом всех его параметров. Отсутствует информация о наблюдении за растрескиванием частиц сырья и его связи с плотностью, и температурой, а также их сопоставления с описанием протекающих реакций и результатами анализа химического состава. Для получения температурных профилей процесса необходимы данные о массе, объеме, влажности и порозности частиц продукта, что в свою очередь позволило бы исследовать теплопроводность и другие теплофизические характеристики. Все это должно лечь в основу оптимизации параметров обжарки и в первую очередь, температуры теплоносителя.

Чтобы смоделировать процесс теплопередачи при обжарке для промышленных условий нужно определить средние значения порозности слоя и относительной скорости движения частиц сырья.

Также важно осуществить моделирование процесса теплопередачи в условиях кондуктивного теплообмена и конвекции, кроме того, не следует пренебрегать влиянием температуры и хода процесса обжарки на свойства сырья. В ходе моделирования следует как можно точнее описывать форму частицы сырья. Свою роль играет и влияние излучения между отдельными частицами, которое ведет к выравниванию температуры в объеме продукта.

Принятие во внимание реакций, которые происходят при обжарке и процесса испарения влаги позволит получить более сложную модель, которая требует для своего создания большой объем данных о процессах обжарки, чем те, что имеются на данный момент.

На рисунке 1.15 представлена схема проведения теоретических и экспериментальных исследования процесса обжарки каштанов и орехов фундук перегретым паром.

Цель работы: научное обеспечение процесса обжарки каштанов и ореха фундук перегретым паром на основе комплексного анализа основных закономерностей процесса обжарки совместно с теплофизическими и структурно-механическими характеристиками исследуемого сырья; разработка комбинированных режимов обжарки и проведение инженерных расчетов с последующим обоснованием выбора перспективной конструкции обжарочного аппарата, обеспечивающего экономию теплоэнергетических ресурсов.

1. Изучение каштанов и орехов фундук как объектов исследования; систематизация полученных данных и формулировка на их основе рабочих гипотез по использованию их в производстве пищевых добавок.
2. Изучение процесса термического разложения исследуемых видов растительного сырья, выявление температурных зон испарения влаги различных форм связи.
3. Изучение гидродинамических и кинетических закономерностей процесса обжарки каштанов и орехов фундук перегретым паром.
4. Определение рациональных технологических параметров процесса обжарки каштанов и орехов фундук перегретым паром атмосферного давления.
5. Разработка математической модели обжарки каштанов и орехов фундук перегретым паром.
6. Проведение инженерных расчетов с целью определения оптимальных параметров обжарочного оборудования
7. Разработка конструкции обжарочного аппарата и способа обжарки растительного сырья.



Рисунок 1.15 – Общая схема теоретических и экспериментальных исследований процесса обжаривания каштанов и орехов фундук перегретым паром

Основываясь на результатах анализа данных литературного обзора, а также руководствуясь поставленной целью, основными задачами работы стали:

1. Изучение каштанов и орехов фундук как объектов исследования; систематизация полученных данных и формулировка на их основе рабочих гипотез по использованию их в производстве пищевых добавок.
2. Изучение процесса термического разложения исследуемых видов растительного сырья, выявление температурных зон испарения влаги различных форм связи.
3. Изучение гидродинамических и кинетических закономерностей процесса обжарки каштанов и орехов фундук перегретым паром.
4. Определение рациональных технологических параметров процесса обжарки сырья.
5. Разработка математической модели обжарки растительного сырья перегретым паром.
6. Проведение инженерных расчетов с целью определения оптимальных параметров обжарочного оборудования
7. Разработка конструкции обжарочного аппарата и способа обжарки растительного сырья.

Глава 2 ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБЖАРКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ ПЕРЕГРЕТЫМ ПАРОМ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ

2.1 Исследование фрикционных свойств растительного сырья

Адгезионные и фрикционные – свойства, занимающие особое место в ряду структурно-механических свойств пищевых продуктов. Фрикционные свойства отмечаются на границе раздела поверхности конструкционного материала и продукта. Они характеризуют усилие взаимодействия при их взаимном сдвиге. Внешнее трение относится к фрикционным свойствам, т. е. сопротивление относительному перемещению двух поверхностей твердого тела, находящихся в соприкосновении, которое зависит от липкости и ряда других факторов. Трение бывает двух видов: статическое – до начала смещения – и динамическое – во время движения продукта по поверхности материала. [30, 49].

Различают несколько видов фрикционной связи двух тел: упругая деформация, пластичное отгеснение, срез или скол материала, когезионное и адгезионное разрушения. В процессе трения двух тел в разных точках контакта есть возможность наличия одновременно всех пяти видов фрикционной связи [49]. Классификации методов определения коэффициента трения основываются на кинематическом и геометрическом принципах взаимодействия пищевого продукта и фрикционной поверхности[30].

Коэффициенты внешнего трения орехов фундук и каштанов исследовались на экспериментальной установке, методика проведения исследований и описание установки приведены в Приложении В.

Объектом исследования были выбраны каштаны и орехи фундук. С целью проведения эксперимента формировывались партии состоящие из 8...10 образцов. Частицы сырья имели ровную поверхность и одинаковую массу, наличие трещин на поверхности продукта не допускалось.

Коэффициенты внутреннего трения сырья исследовались на эксперимен-

тальной установке, ее описание и методика проведения исследований приведены в Приложении Г.

Для определения коэффициентов внутреннего и внешнего трения каждого из образцов была использована формула (2.1). По результатам ряда повторных опытов было рассчитано среднее арифметическое значение для каждого коэффициента

$$\bar{f} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_i, \quad (2.1)$$

где i – порядковый номер образца (опыта);

n – общее количество образцов (опытов).

Значения коэффициентов внутреннего трения $f_{\text{ср внутр}}$ и внешнего $f_{\text{ср внеш}}$ сырья представлены в таблица 2.1.

Т а б л и ц а 2.1 – Коэффициенты внешнего и внутреннего трения каштанов и орехов фундук

Орех фундук			Каштаны		
Влаж- ность, %	$f_{\text{ср внеш}}$	$f_{\text{ср внутр}}$	Влаж- ность, %	$f_{\text{ср внеш}}$	$f_{\text{ср внутр}}$
21	0,649	0,523	45	0,552	0,502
18	0,641	0,494	40	0,535	0,483
15	0,634	0,475	35	0,518	0,468
12	0,622	0,461	30	0,494	0,450
9	0,603	0,453	25	0,473	0,434
6	0,587	0,439	20	0,447	0,417
3	0,570	0,418	15	0,436	0,396
			10	0,405	0,379
			5	0,390	0,363

Одними из важнейших характеристик являются коэффициенты внешнего и внутреннего трения. Они определяют физико-механические свойства растительного сырья. Определение данных коэффициентов позволит организовать гидродинамический режим, который обеспечит равномерное перемешивание при минимальном истирании продукта, а это в свою очередь даст возможность для интенсификации процесса обжарки растительного сырья.

Анализ зависимостей $f = \varphi(W)$ (рисунок 2.1) показывает, что коэффициенты внешнего и внутреннего трения с ростом влажности увеличиваются, что объясня-

ется переходом упругого контакта к пластичному, при котором механическое сопротивление относительно перемещению соприкасающихся поверхностей увеличивается.

После математической обработки данных, полученных экспериментально, были определены зависимости коэффициентов внутреннего и внешнего трения по стали от влажности растительного сырья (величина достоверности аппроксимации составила $R^2 = 0,9558...0,9995$).

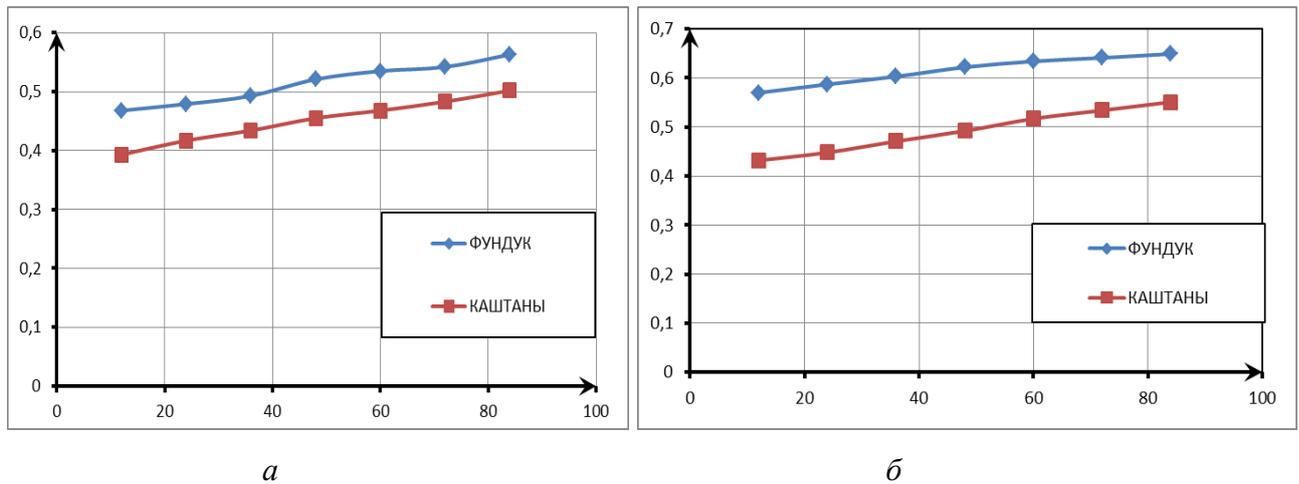


Рисунок 2.1 – Зависимость коэффициента внутреннего (a) и внешнего (b) трения f от влажности W , % каштанов и фундука

Для ореха фундук:

$$f_{\text{внешн}} = 0,0011 \cdot W + 0,5614, \quad f_{\text{внутр}} = 0,0013 \cdot W + 0,4497. \quad (2.2)$$

Для каштанов:

$$f_{\text{внешн}} = 0,0017 \cdot W + 0,41, \quad f_{\text{внутр}} = 0,0015 \cdot W + 0,3799. \quad (2.3)$$

Полученные значения коэффициентов внутреннего и внешнего трения позволили рассчитать критерий мощности, являющийся аналогом числа Эйлера, что в свою очередь было необходимо для подбора вентилятора подходящей мощности для обжарочного аппарата. Выбранный вентилятор позволит обеспечить равномерное перемешивание частиц сырья на сетке и снизить истирание продукта в кипящем слое, повысив качество готовой продукции.

2.2 Исследование форм связи влаги в каштанах и орехах фундук методом термического анализа

Для исследования закономерностей теплового воздействия на каштаны и орехи фундука был использован метод неизотермического анализа при помощи комплексного термоанализатора TGA-DSC [66] фирмы Mettler-Toledo (рисунок 2.2) в атмосфере воздуха с постоянной скоростью нагрева 3 К/мин до 673 К для орехов фундук и 1273 К для каштанов.



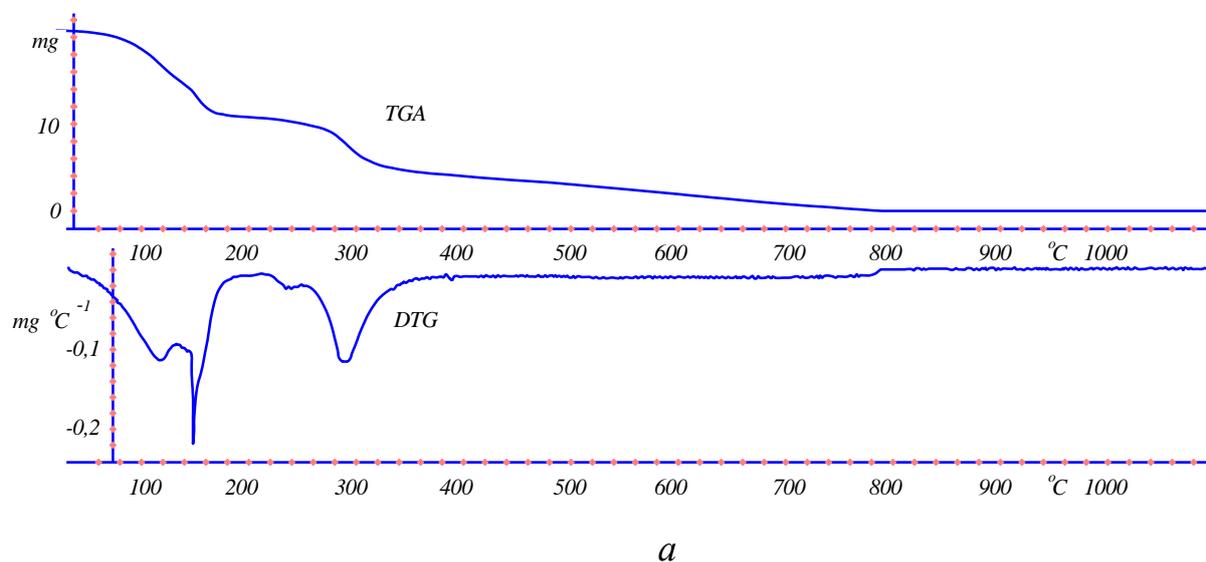
Рисунок 2.2 – Комплексный термоанализатор TGA-DSC

При осуществлении исследований использовались алюминиевые тигли с общей массой навески: для каштанов – 20,69 мг, для фундука – 19,03 мг. Термоаналитические кривые [24, 58], которые применяются для количественной обработки методом неизотермической кинетики, в том числе регистрируют и изменения скорости изменения массы и массы образца (кривые *DTG* и *TGA*).

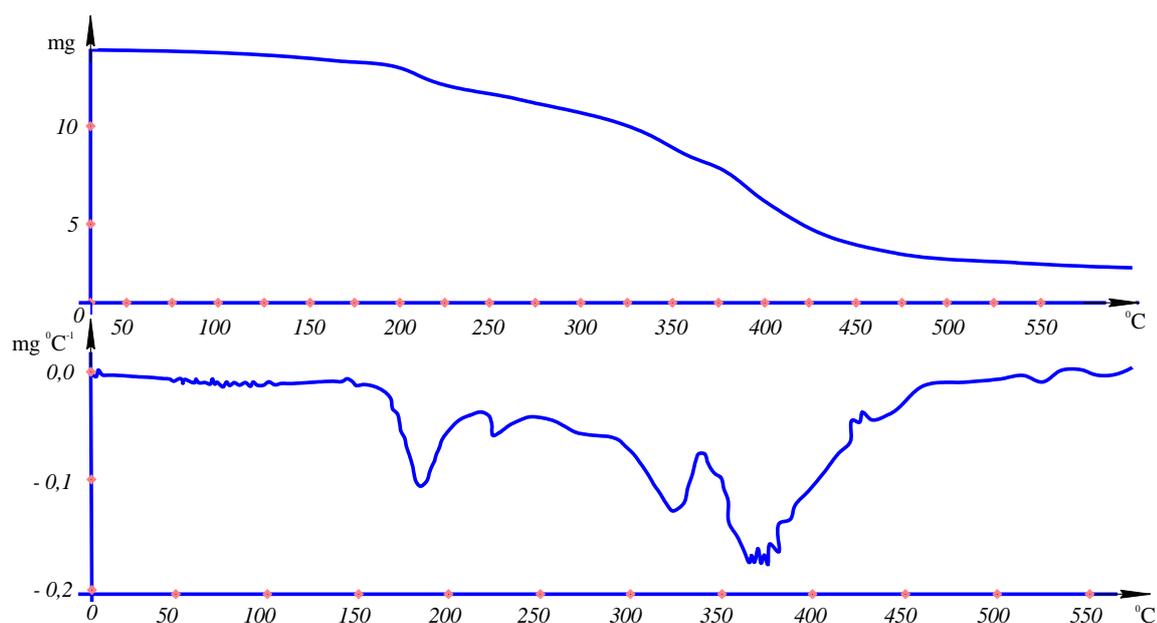
При тепловом воздействии в растительном сырье происходят значительные физико-химические изменения. Результатом этих изменений является высвобождающаяся вода, которая содержится в конкретном продукте. Она определяет характер преобразований вещества, происходящих внутри него. Масса продукта уменьшается в результате испарения влаги и разложения клетчатки, сахаров, и других органических соединений. Также при этом уменьшается прочность структуры из-за частичного гидролиза целлюлозы, клетчатки и других сложных углеводов, из которых состоят межклеточные перегородки и стенки клеток.

На рисунке 2.3 представлены кривые *TGA* и *DTG* полученные в результате термического анализа каштанов (*a*) и орехов фундук (*б*).

В ходе нагрева происходит уменьшение массы образца (кривая *TGA*), что связано с потерей влаги. В ходе эндотермического процесса удаления влаги из каштанов и орехов фундук отмечено образование двух эндотермических эффектов, которые наложены друг на друга (рисунок 2.3 *а, б*).



а



б

Рисунок 2.3 – Экспериментальные зависимости изменения массы образца растительного сырья (*а* – каштанов; *б* – орехов фундук) *TGA* и скорости изменения массы *DTG*

Первый характеризуется удалением влаги. При втором же возможно разложение сахаров, которое также включает в себя следующие процессы: образование карамелен ($C_{36}H_{50}O_{25}$), карамелана ($C_{12}H_{18}O_9$), карамелин и другие продукты при нагревании дисахаридов до $T = 470-480$ К; происходит частичное разрушение

крахмала с образованием декстринов. Сахароза при 433-453 К разлагается на глюкозу и фруктозан [27, 34].

Т а б л и ц а 2.2 – Кинетические температурные характеристики процесса нагрева орехов фундук и каштанов

Кинетические характеристики процесса	орехи фундук	каштаны
Температура начала эндотермического процесса, К	328	304
Температура пика эндотермического процесса, К	436	403
	464	423
Температура окончания эндотермического процесса, К	502	473

По экспериментальным кривым *TGA* при помощи метода неизотермического анализа [30] проводилась оценка массы кинетически неравноценных молекул воды в продукте. Участок кривой изменения массы *TGA*, который соответствует процессу дегидратации (рисунок 2.3), отображается в соотношении степени превращения вещества α и температуры T .

На кривой *TGA* при определенных значениях температуры определяют изменение массы Δm_i , которое соответствует количеству воды выделившейся при температуре T_i (рисунок 2.3). Степень превращения α вычисляется, как отношение массы Δm_i , к общему количеству воды, которое содержится в образце Δm_{\max} :

$$\alpha = \Delta m_i / \Delta m_{\max} \quad (2.6)$$

Полученная в результате зависимость степени превращения вещества α от температуры T (рисунок 2.4) отражает сложный характер взаимодействия сухих веществ растительного сырья и воды, а также предполагает разную скорость дегидратации.

На участке 1 (таблица 2.3, рисунок 2.5) происходит нагрев и десорбция физико-механически связанной влаги (капиллярной влаги), которая обладает невысокой энергией связи с продуктом.

На участке 2 удаляется осмотическая влага. На интервале температур (участок 3) высвобождается полиадсорбционная влага.

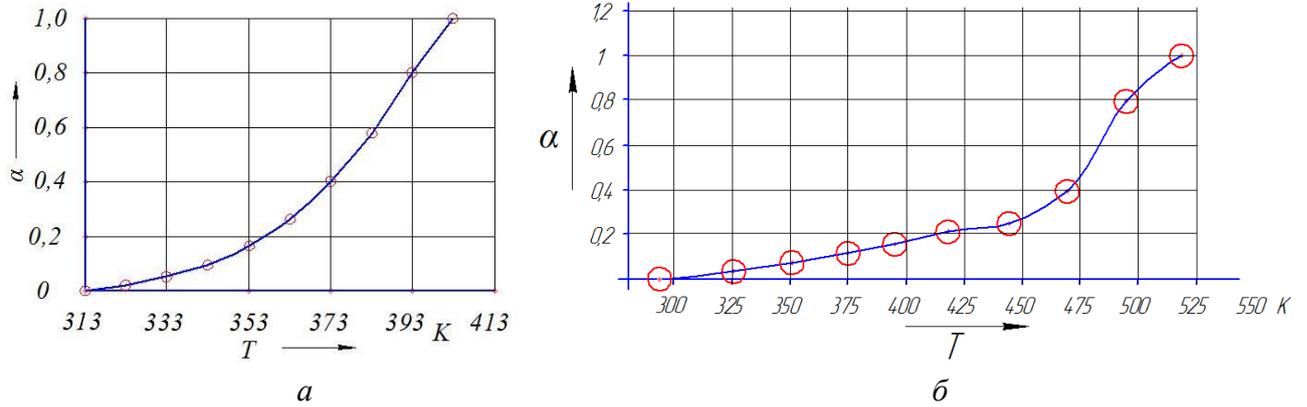


Рисунок 2.4 – Зависимость степени превращения α вещества от температуры T исследуемого сырья (*a* – каштанов, *б* – орехов фундук) при нагревании со скоростью подъема температуры 3 К/мин

При последующем увеличении температуры (участок 4) начинает удаляться моноадсорбционная влага [36], тем не менее, этот интервал превышает границы максимальной температуры, при которой происходил процесс обжарки продукта и поэтому не оказывает влияния на процесс.

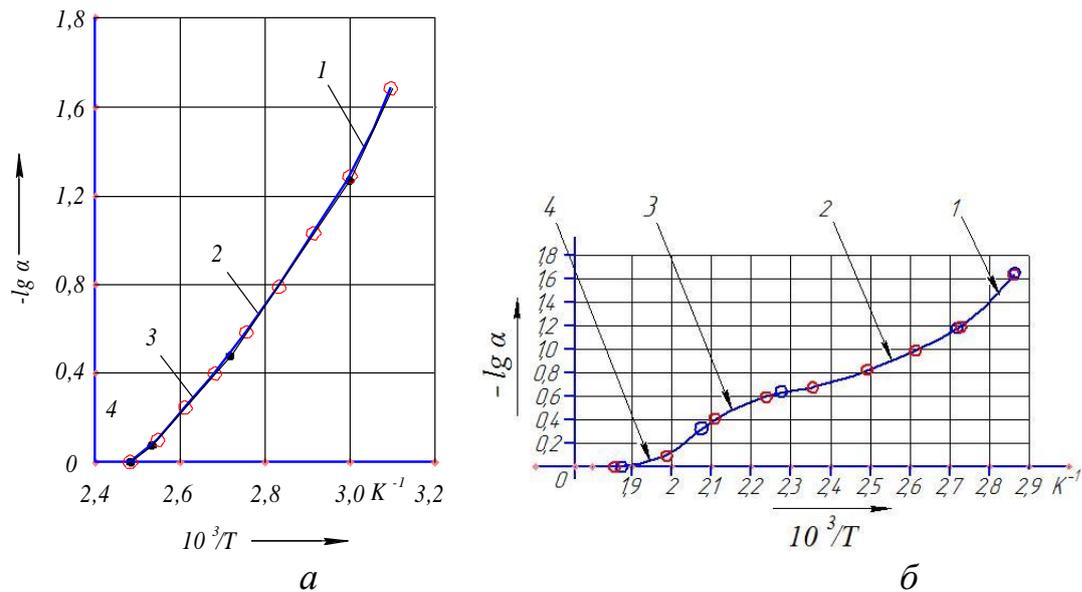


Рисунок 2.5 – Зависимость $-\lg \alpha$ от величины $10^3/T$ исследуемого сырья (*a* – каштанов, *б* – орехов фундук) при нагревании со скоростью подъема температуры 3 К/мин

Т а б л и ц а 2.3 – Температурные интервалы (К) удаления влаги различных форм связи в каштанах и орехах фундука

Вид сырья	Формы связи удаляемой влаги			
	физико-механическая (капиллярная)	осмотическая	полиадсорбционная	моноадсорбционная
орехи фундук	347,22...367,65	367,65...438,61	438,61...480,76	480,76...555,56
каштаны	324,00...334,33	334,33...368,85	369,85...395,65	395,65...399,90

2.3 Определение теплофизических характеристик каштанов и орехов фундук

Для проведения исследований теплофизических характеристик орехов фундук использовалась экспериментальная установка, ее описание и методика проведения исследований приведены в Приложении Е.

Экспериментальные данные обрабатывались на ЭВМ в среде программы Microsoft Excel 2013, в результате чего были получены уравнения, которые описывают теплофизические свойства каштанов (2.7-2.12) и орехов фундук (2.13-2.18).

Значения теплофизических характеристик каштанов для интервала температур 293...353 К:

при $W = 42,67$ % (сырье):

$$c = 3062,6 + 1,5583t ; \quad (2.7)$$

$$\lambda = 0,137 + 0,0002t ; \quad (2.8)$$

$$a = (4,08 + 0,0037t) \cdot 10^{-8} . \quad (2.9)$$

при $W = 3,97$ % (обжаренный продукт):

$$c = 1839,9 + 2,211t ; \quad (2.10)$$

$$\lambda = 0,084 + 0,0002t ; \quad (2.11)$$

$$a = (3,9 + 0,0036t) \cdot 10^{-8} . \quad (2.12)$$

Значения теплофизических характеристик орехов фундук для интервала температур 293...353 К:

при $W = 39,81$ % (сырье):

$$c = 3697,3 + 1,3749t ; \quad (2.13)$$

$$\lambda = 0,1373 + 0,0002t ; \quad (2.14)$$

$$a = (2,969 + 0,0034t) \cdot 10^{-8} . \quad (2.15)$$

при $W = 5,00$ % (обжаренный продукт):

$$c = 2148,4 + 1,6642t ; \quad (2.16)$$

$$\lambda = 0,0734 + 0,0001t ; \quad (2.17)$$

$$a = (2,75 + 0,003t) \cdot 10^{-8} . \quad (2.18)$$

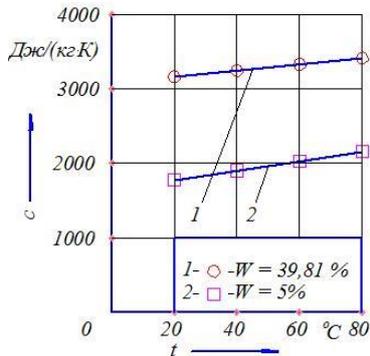


Рисунок 2.6 – Зависимость удельной теплоемкости орехов фундук от температуры при влажности $W = 39,81\%$ (1) и при влажности $W = 5\%$ (2)

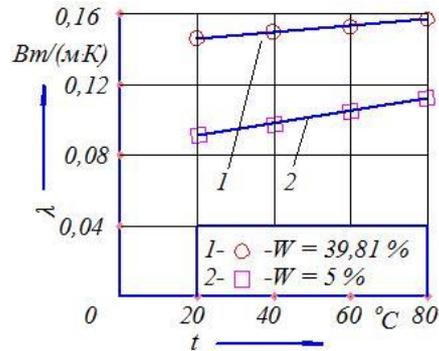


Рисунок 2.7 – Зависимость коэффициента теплопроводности орехов фундук от температуры при влажности $W = 39,81\%$ (1) и при влажности $W = 5\%$ (2)

Экспериментальные кривые для орехов фундук, по которым были выведены зависимости (2.35-2.40) представлены на рисунках 2.6-2.8.

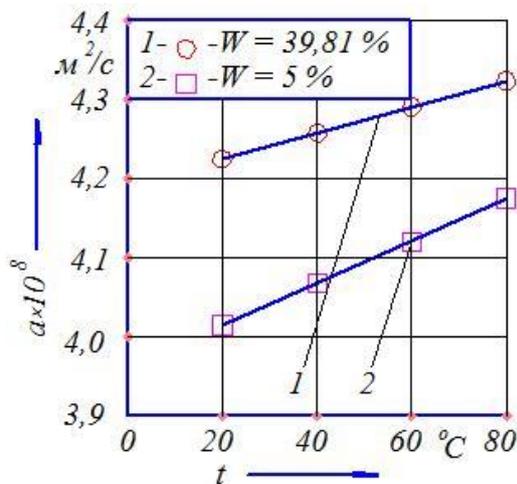


Рисунок 2.8 – Зависимость коэффициента температуропроводности орехов фундук от температуры при влажности $W = 39,81\%$ (1) и при влажности $W = 5\%$ (2)

Кривые для каштанов приведены в Приложении Ж. Из анализа кривых видно, что зависимости коэффициентов температуропроводности, теплопроводности и теплоемкости от температуры имеют линейный характер. Влажность влияет на исследуемые коэффициенты в большей степени, чем температура. Для каштанов зависимости аналогичны представленным для орехов фундук.

2.4 Определение плотности каштанов и орехов фундук

Определение плотности исследуемого растительного сырья: орехов фундук и плодов каштана съедобного – при значениях влажности 11,79 и 0,50 %; 61,44 и 5,00 %; 38,10 и 2,87 %; 42,67 и 3,97 % соответственно проводилось на пикнометре

АТС компании ThermoScientific (рисунок 2.9).



Рисунок 2.9 – Пикнометр АТС (ThermoScientific)

Методика проведения эксперимента включала следующие операции:

1. Помещение опытного образца во вторую камеру прибора.
2. Заполнение гелием эталонной камеры известного объема.
3. Открытие соединительного клапана, и перемещение газа в измерительную камеру известного объема с помещенным внутри нее образцом.
4. Снятие показаний датчика давления.
5. Составление уравнения материального баланса и получение объема исследуемого материала.
6. Расчет истинной плотности исследуемого материала.

Значения плотности растительного сырья приведены в таблице 2.4.

Т а б л и ц а 2.4 – Плотность орехов фундука и каштанов, кг/м³

Влажность продукта W , %	Плотность продукта ρ , кг/м ³
1	2
Орехи фундук	
39,81	1153,4
5	1239,0
Каштаны	
42,65	1097,9
3,98	1173,3

2.5 Экспериментальная установка и методика проведения эксперимента

Исследования по обжарке растительного сырья (орехов фундук и каштанов) проводились на экспериментальной установке (рисунок 2.10). Их задачей являлся подбор рациональных технологических режимов, которые были бы способны обеспечить минимальный расход энергоресурсов наряду с высоким качеством го-

тового продукта [49].

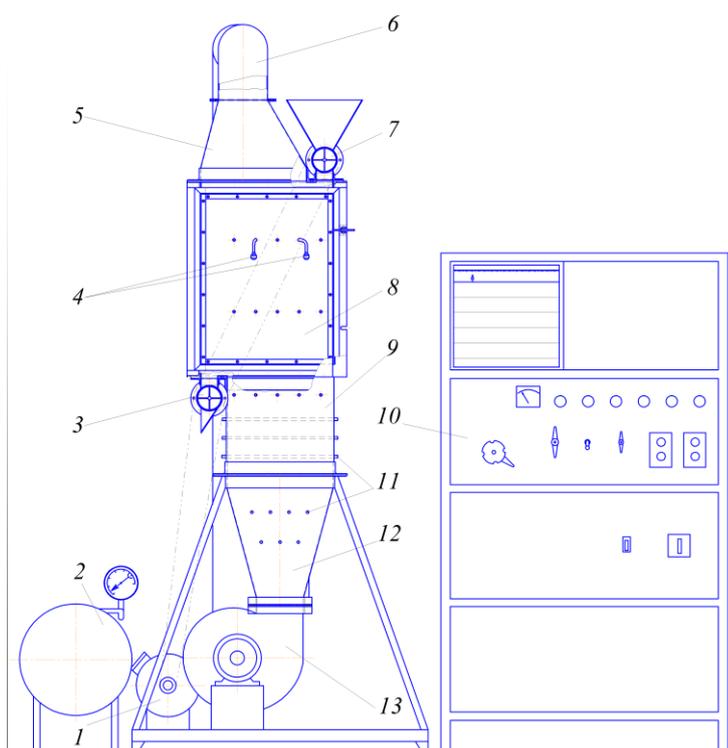


Рисунок 2.10 – Схема экспериментальной установки:

- 1 – привод ротационных дозаторов;
- 2 – парогенератор; 3, 7 – ротационные дозаторы;
- 4 – форсунки; 5 – вытяжной диффузор;
- 6 – циркуляционный трубопровод; 8 – рабочая камера;
- 9 – пароперегреватель; 10 – шкаф управления;
- 11 – трубчатые электронагреватели; 12 – переходник;
- 13 – вентилятор

теплоносителя, средства регулирования и измерения режимных параметров для управления и контроля процесса обжаривания продукта смонтированы в шкафу управления 10. В нижней части рабочей камеры 8 имеющей форму параллелепипеда с размерами 320×160×600 мм, расположена газораспределительная решетка.

Газораспределительная решетка изготовлена из нержавеющей проволоки и прикреплена на каркасе с живым сечением 57,7 %, который установлен в корпусе. С наружной стороны рабочая камера снабжена дверью с отверстием для забора проб продукта. В верхней части камеры закреплен вытяжной диффузор 5 с сеткой, который препятствует попаданию частиц продукта в циркуляционный трубопровод 6.

В начале рабочей камеры (сверху), и в ее конце (снизу), расположены ротационные дозаторы 3 и 7 секторного типа.

В задних стенках парораспределителя и рабочей камеры и размещены шту-

Установка состоит из: рабочей камеры 8 с газораспределительной решеткой, ротационных дозаторов 3 и 7 секторного типа для загрузки и выгрузки продукта, привода 1 ротационных дозаторов, парогенератора 2, двух форсунок 4 шнекового типа, вытяжного диффузора 5, пароперегревателя 9, шкафа управления 10, трубчатых электронагревателей (ТЭНы) 11, переходника 12 и вентилятора 13 с циркуляционным трубопроводом 6, а также соединительной арматуры коммуникаций. Автоматизированные системы для регулирования температуры

цера, служащие для ввода хромель-копелевых термопар (ТХК). В циркуляционном трубопроводе 6 расположен патрубок с вентилем, отвечающий за удаление избытка пара. Внутри парораспределителя 9 и переходника 12 располагаются трубчатые электронагреватели (ТЭНы) типа «С», которые обеспечивают нагрев теплоносителя и прогрев установки до установленной температуры. Рабочая камера крепится нижней частью к парораспределителю 9, соединенному с вентилятором 13 при помощи фланцев через переходник 12.

Диффузор оборудован патрубком, через него из парогенератора 2 подается пар. Измерение скорости теплоносителя проводилось при помощи цифрового анемометра АП1.

Пробы сырья взвешивались на аналитических весах JW-1 с точностью $\pm 0,01$ г. С целью определения его влажности использовался метод высушивания до постоянной массы [40]. В качестве объекта исследования выступали каштаны и орехи фундук. Перед обжаркой орехи и каштаны очищали от кожуры, а затем нарезали на кубики, линейный размер которых составлял 3...5 мм.

Исследования процесса обжарки сырья проводились при различных температурах: для орехов фундук – при 130...160 °С, для каштанов – при 150...180 °С и скоростях теплоносителя 0,8...2 м/с. Начальная влажность продукта составляла: орехи фундук – 35-40 %, каштаны – 45-50 %. В ходе обжарки влажность продукта уменьшалась до 3-5 %. Продолжительность процесса составляла 24-52 мин, при этом удельная нагрузка продукта на решетку – $9,8 \pm 0,2$ кг/м². В качестве теплоносителя был выбран перегретый пар атмосферного давления, его основными преимуществами перед топочными газами и нагретым воздухом являются отсутствие кислорода, провоцирующего реакции окисления, значительная удельная теплоемкость и высокий энергетический КПД [25, 32, 59].

2.6 Исследование гидродинамики процесса обжарки каштанов и орехов фундук

Для разработки рациональных режимов обжарки растительного сырья требуется изучение гидродинамики процесса а, в частности, определения величины по-

разности слоя ε и гидравлического сопротивления слоя $\Delta p_{сл}$. Рассмотрим гидродинамику процесса [4] на примере обжарки ореха фундук.

Анализ изменения гидравлического сопротивления слоя орехов фундук в процессе обжарки при температурах перегретого пара в интервале от 403 до 433 К и скоростях в интервале от 0,8 до 2 м/с показал, что в начале процесса обжарки гидравлическое сопротивление ΔP экспоненциально уменьшается, что обусловлено снижением влажности продукта (рисунок 2.11).

Это было подтверждено экспериментальными данными. На всем протяжении заданных интервалов скоростей и температур зависимость сохраняется. В дальнейшем гидравлическое сопротивление слоя обжариваемых орехов фундук практически не менялось, что объясняется малым изменением влажности орехов.

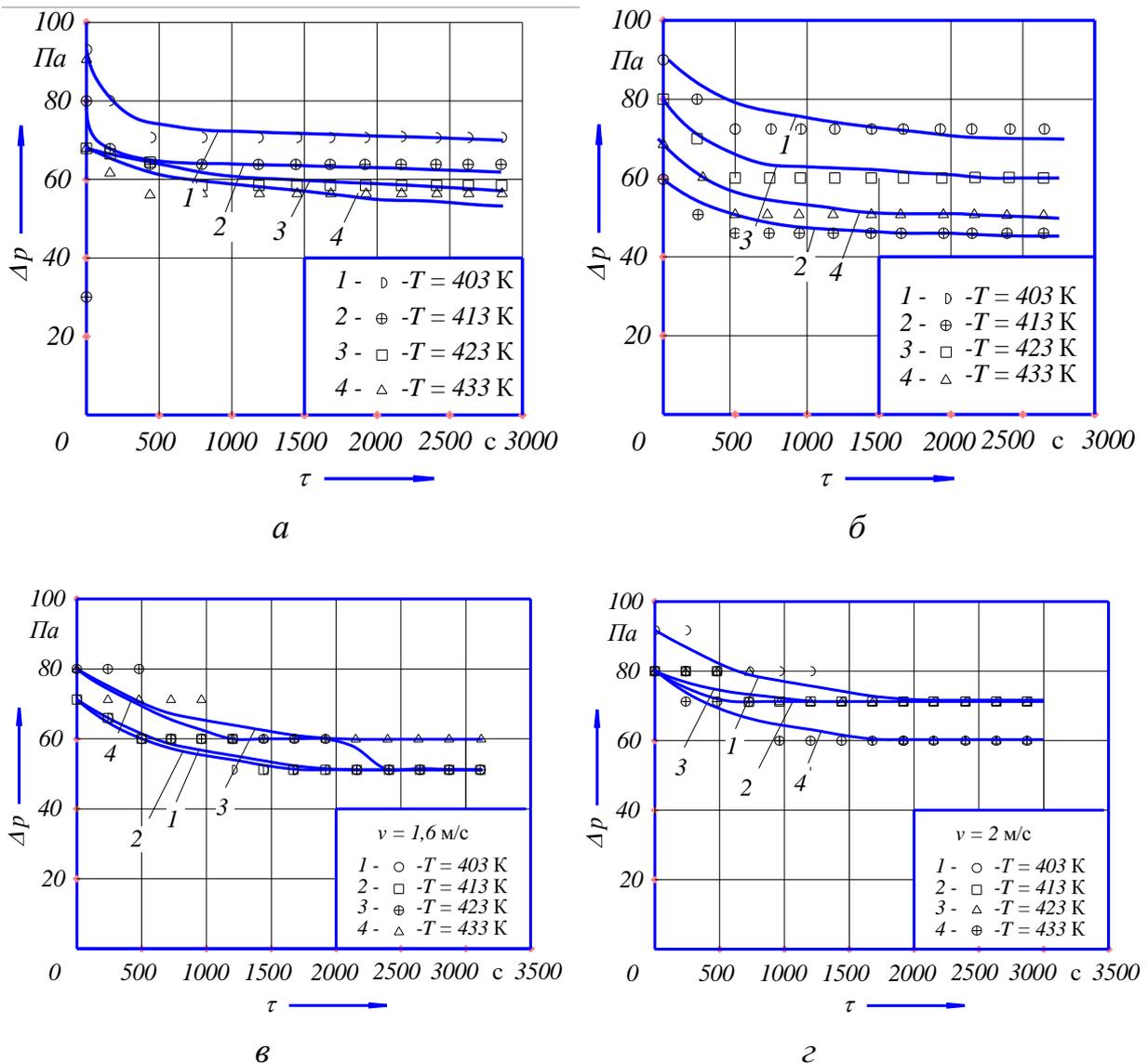


Рисунок 2.11 – Изменение гидравлического сопротивления слоя частиц орехов фундук от времени при различных скоростях перегретого пара, v , м/с: а – 0,8; б – 1,2; в – 1,6; г – 2

Изменение ΔP объясняется изменением усадки частиц продукта, влагосодержания и порозности слоя [1, 4, 19].

Также установлено, что коэффициент гидравлического сопротивления слоя частиц продукта λ зависит в значительной степени от скорости перегретого пара (рисунок 2.12).

Вычисляя коэффициент гидравлического сопротивления по формуле [50]:

$$\lambda = \frac{2\Delta P \varepsilon^3}{H_{сл} a \rho v^2}, \quad (2.31)$$

где a – удельная поверхность слоя, было установлено, что для инженерных расчетов наиболее удобна простая функция $\lambda = f(Re)$.

В начале обжаривания $\varepsilon = 0,539$.

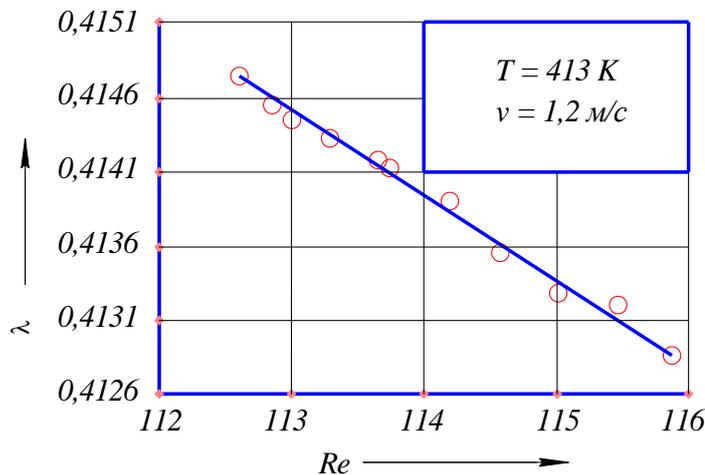


Рисунок 2.12 – Зависимость коэффициента гидравлического сопротивления слоя частиц продукта от числа Рейнольдса

В области движения перегретого пара, где преобладают силы инерции ($Re < 2000$), коэффициент гидравлического сопротивления λ зависит от удельной поверхности слоя продукта, являющейся функцией влагосодержания и скорости пара. По ходу движения перегретого пара сквозь слой высушиваемого сырья его насыщение влагой и температура уменьшаются, что влечет изменение вязкости пара.

Значения критерия Re , которые были вычислены с учетом варьирования всех входящих в него величин в процессе обжарки частиц орехов перегретым паром, изменялись в диапазоне от 111,9 до 115,4.

В соответствии с данными, полученными Жаворонковым [35], это позволяет охарактеризовать режим движения теплоносителя как турбулентный.

Результаты обработки экспериментальных данных позволили определить зависимость коэффициента гидравлического сопротивления, как функцию $\lambda = f(\text{Re})$:

$$\lambda = 1,05 / \text{Re}^{0,137}. \quad (2.32)$$

Величина достоверности аппроксимации составила $R^2 = 0,9132$.

Таким образом, данные, полученные для орехов фундук, позволяют правильно организовать процесс обжарки растительного сырья перегретым паром.

2.7. Исследование усадки в процессе обжарки растительного сырья

Исследование усадки в процессе обжарки растительного сырья проводили на примере орехов фундук. В процессе обжарки перегретым паром технологические параметры изменялись в следующих диапазонах: температура перегретого пара 403...433 К; скорость потока перегретого пара на входе в слой – 0,8...2 м/с, средняя высота слоя орехов – 0,018...0,020 м.

В ходе проведения исследований было выявлено изменение высоты слоя частиц орехов фундук с 18...20 мм в начале процесса до 9...15 мм в конце обжарки, что объясняется их усадкой (рисунок 2.13). Растрескивание – один из факторов, ухудшающих качество орехов фундук при обжарке. Происходит растрескивание из-за развития объемно-напряженного состояния свыше предельно допустимого. Поля влагосодержания и температуры внутри продукта распределяются неравномерно (недопустимая усадка), что и вызывает это напряженное состояние [10, 12]. После обжарки частица ореха должна сохранить свой объем и структуру, поэтому необходимо оценить величину усадки количественно.

Если обозначить относительную усадку как δ :

$$\delta = (V_n - V_k) / V_n, \quad (2.33)$$

где V_n, V_k – начальный и конечный объем слоя орехов фундук, м^3 ;
то коэффициент объемной усадки [12, 33]

$$\beta_v = \frac{\delta}{(u_n - u_k) - \delta u_n}, \quad (2.34)$$

где u_n, u_k – начальное и конечное влагосодержание фундука, кг/кг .

Эмпирические уравнения, полученные из анализа результатов математической обработки экспериментальных данных, выражают зависимость величины усадки δ от текущего влагосодержания сырья u , кг/кг :

$$\delta = A \ln u + B \quad (2.35)$$

где для орехов фундук $A = -0,201$; $B = -0,0453$; для каштанов $A = -0,178$; $B = 0,0681$.

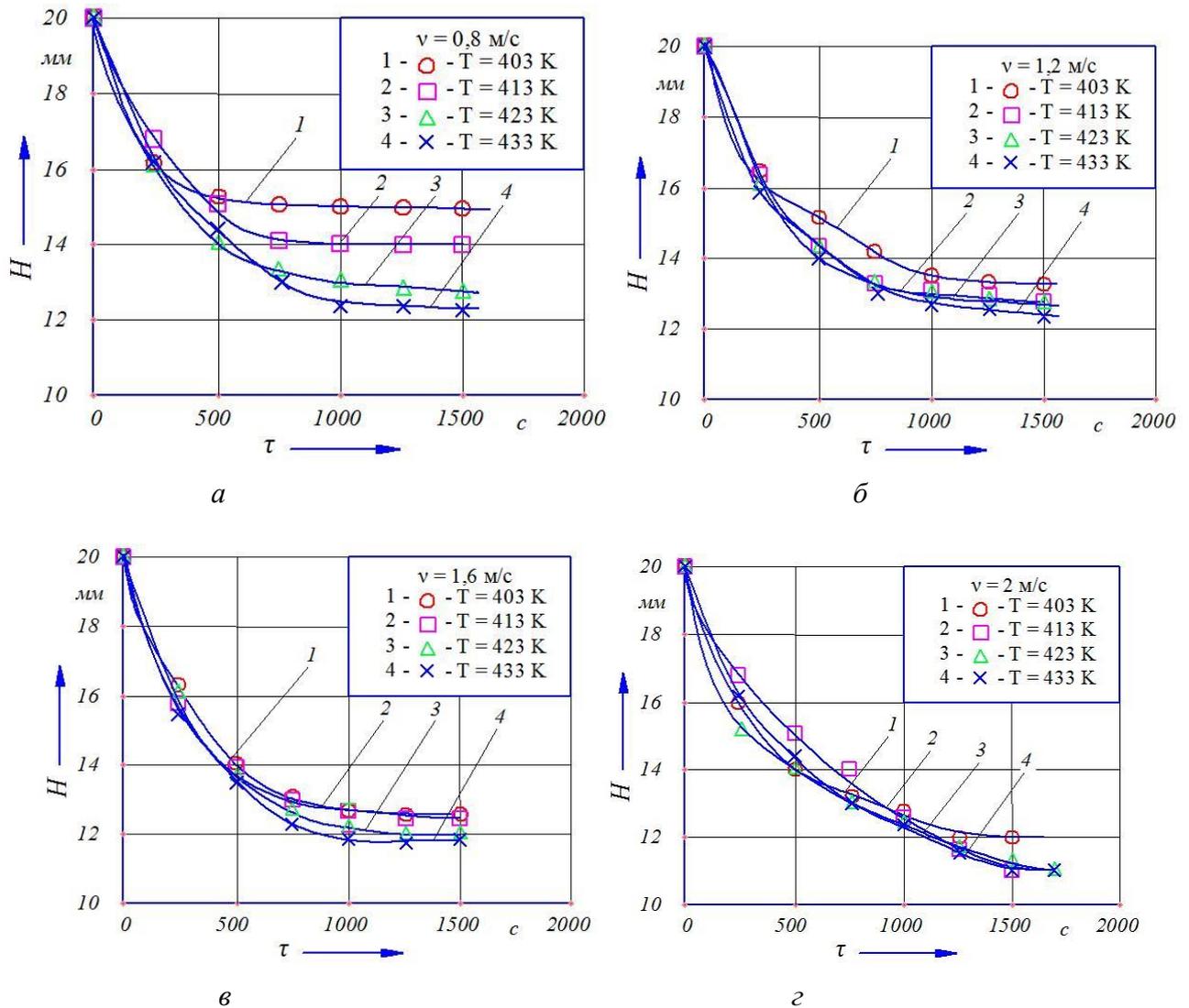
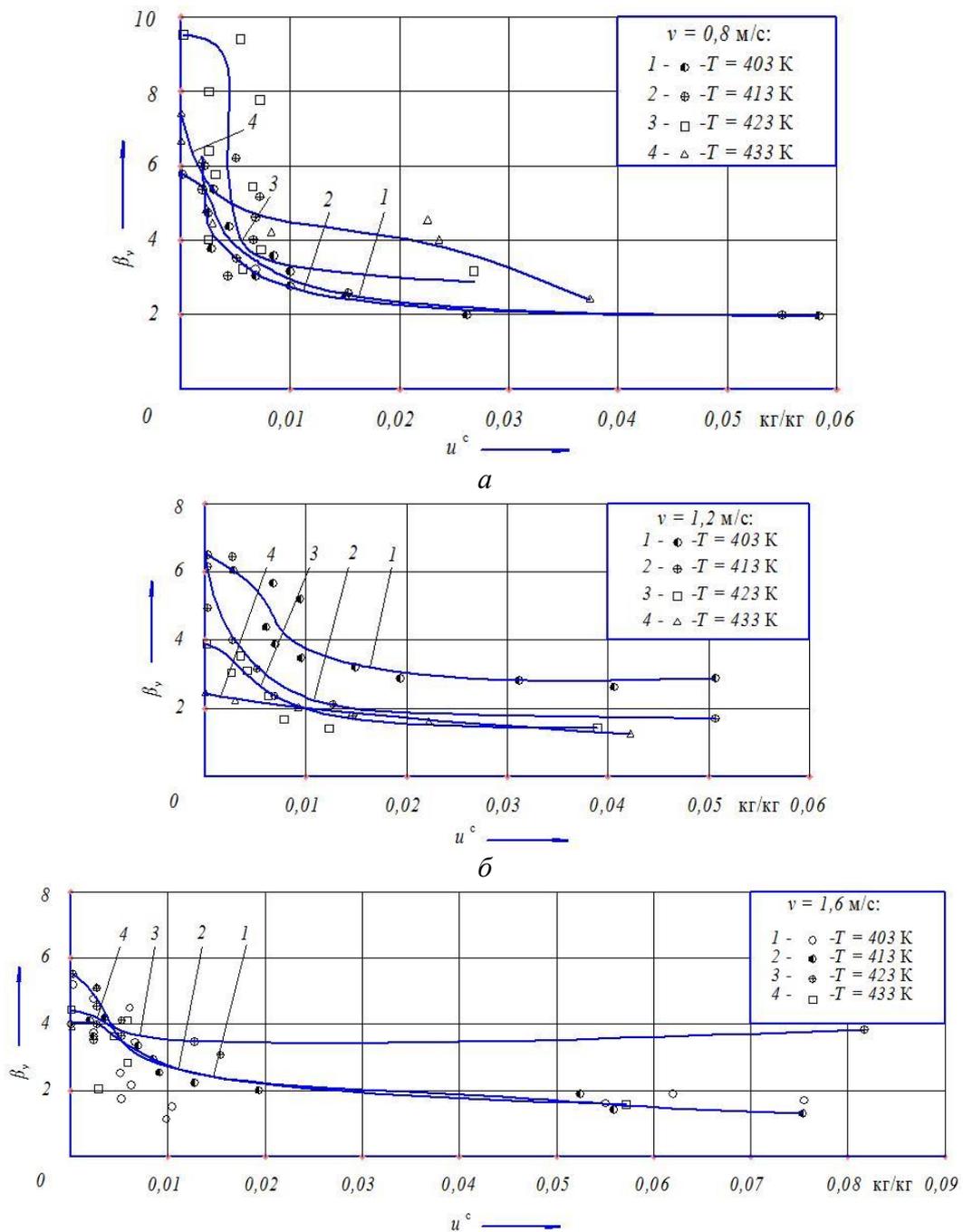


Рисунок 2.13 – Зависимость высоты слоя орехов фундук от времени в процессе обжарки орехов перегретым паром при различных скоростях перегретого пара, v , м/с : а – 0,8; б – 1,2; в – 1,6; г – 2,0

Значение достоверности аппроксимации составило $R^2 = 0,8196...0,9137$.

Коэффициент объемной усадки β_V зависел от структуры частиц каштанов и орехов фундук, а также вида связи влаги в них и увеличивался в процессе обжарки (рисунок 2.14). Таким образом был установлен характер изменения высоты слоя частиц орехов фундук в процессе обжарки с учетом их усадки.

Было получено обобщенное эмпирическое уравнение, которое выражает зависимость величины усадки от текущего влагосодержания частиц орехов.



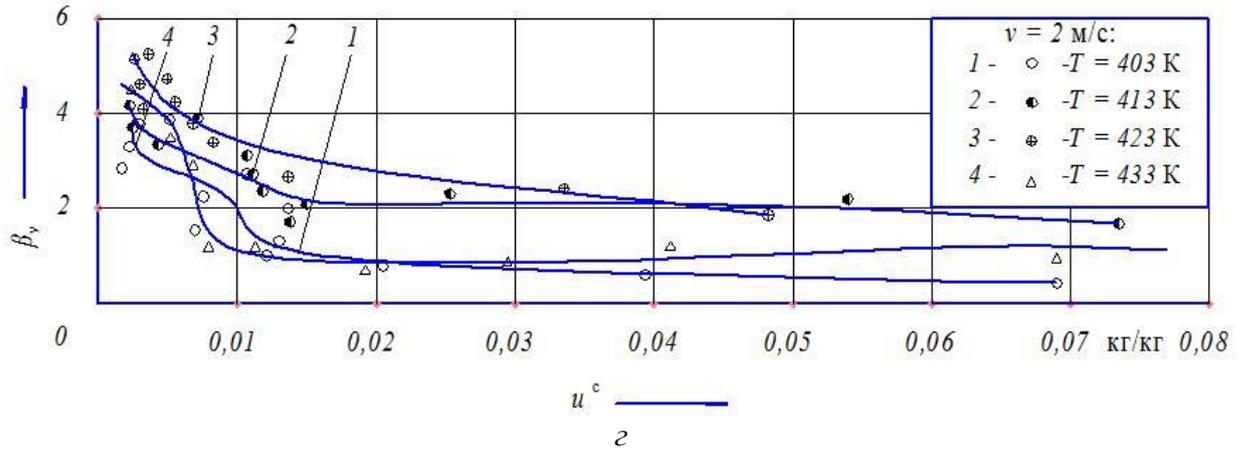


Рисунок 2.14 – Зависимость коэффициента объемной усадки β от влагосодержания u , кг/кг, в процессе обжарки орехов фундук перегретым паром при различных скоростях перегретого пара, v , м/с: а – 0,8; б – 1,2; в – 1,6; г – 2,0

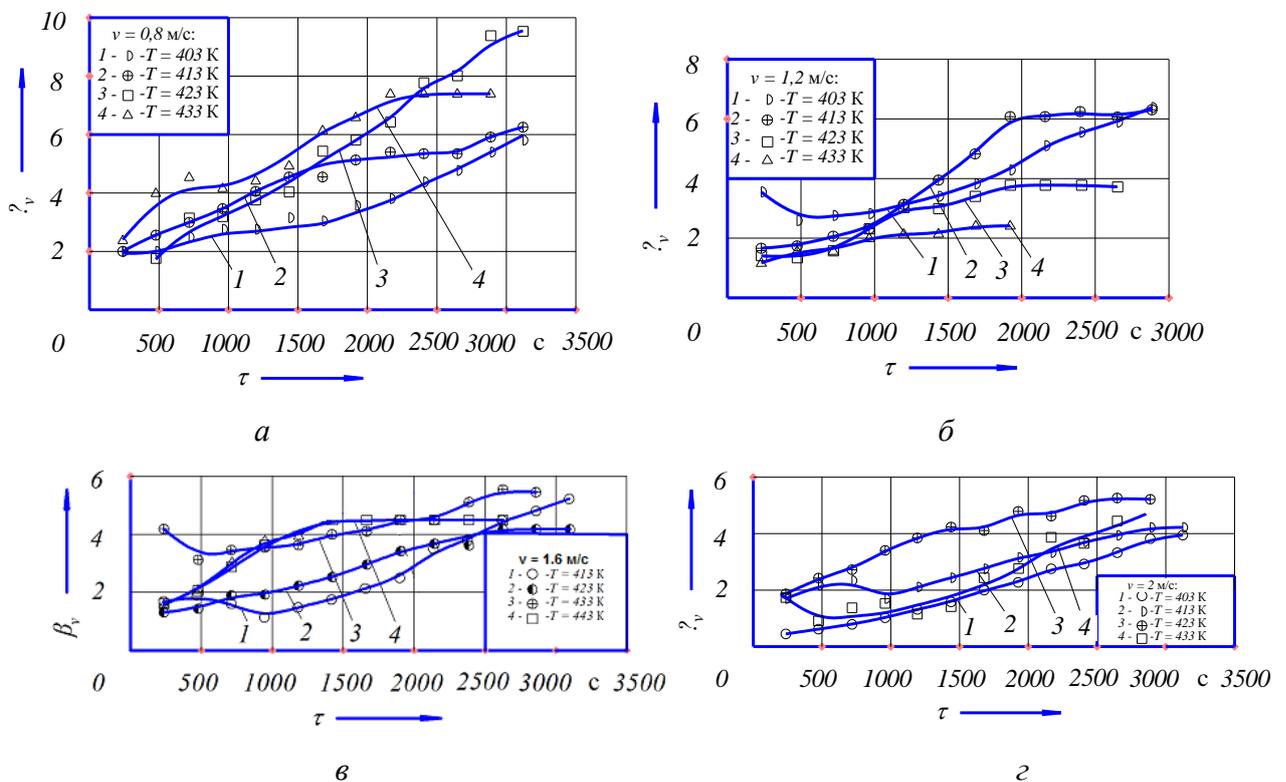


Рисунок 2.15 – Зависимость коэффициента объемной усадки β от времени τ , с в процессе обжарки орехов фундук перегретым паром при различных скоростях перегретого пара, v , м/с: а – 0,8; б – 1,2; в – 1,6; г – 2

Зависимости высоты коэффициента объемной усадки от влагосодержания слоя от времени и коэффициента объемной усадки от времени для каштанов приведены в Приложении Е.

2.8 Исследование кинетики процесса обжарки растительного сырья

Были проведены эксперименты по обжарке двух видов растительного сырья и получены данные изменения влажности и температуры продукта в ходе процесса термической обработки. На основе проведенных экспериментов были построены зависимости: термограммы, кривые обжарки, кривые скорости обжарки и температурные кривые. Основные кинетические закономерности процесса обжарки рассмотрены ниже на примере орехов фундук.

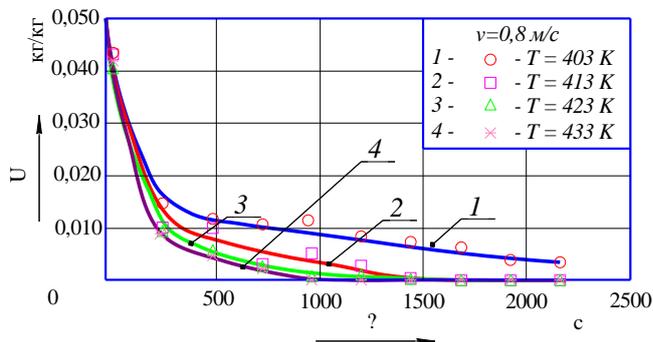


Рисунок 2.16 – Кривые обжарки орехов фундук при температуре теплоносителя T , К: 1 – 403; 2 – 413; 3 – 423; 4 – 433

фундук до температуры насыщения.

В процессе конденсации пара, из-за высоких коэффициентов теплообмена на поверхности кубиков орехов фундук в периоде прогрева с большой скоростью повышается температура продукта. Его интенсивному нагреву способствует совпадение направления градиентов влагосодержания и температуры.

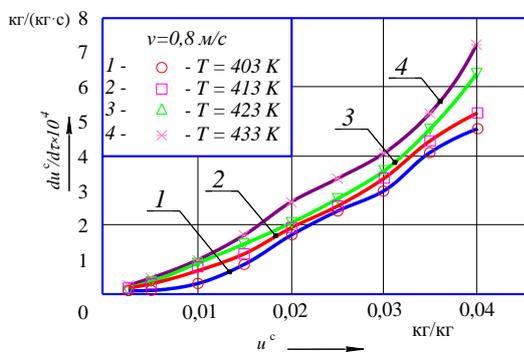


Рисунок 2.17 – Кривые скорости обжарки орехов фундук при температуре теплоносителя T , К: 1 – 403; 2 – 413; 3 – 423; 4 – 433

Анализ кривых обжарки (рисунок 2.16) и скорости обжарки (рисунок 2.17) орехов фундук перегретым паром показывает наличие трех периодов: прогрева, постоянной и убывающей скорости обжарки. Период прогрева незначителен по продолжительности и характеризуется быстрым нагревом частиц орехов

До момента достижения продуктом начального влагосодержания наступает период постоянной скорости обжарки.

В процессе перемещения влаги к поверхности частицы, выносящиеся в среду перегретого пара, где происходит их объемное испарение, из продукта, увлекаются потоком пара. Интенсификация теплообмена при наличии молярного массопереноса пара в свою

очередь способствует росту коэффициента массообмена. В этом периоде испаряется 8...10 % всей удаляемой влаги, при этом его продолжительность от общего времени обжарки составляет 5...7 %. Испарение поверхностной влаги и интенсификация внутренней диффузии влаги по причине резкого повышения температуры частиц орехов фундук обуславливает постоянство скорости обжарки.

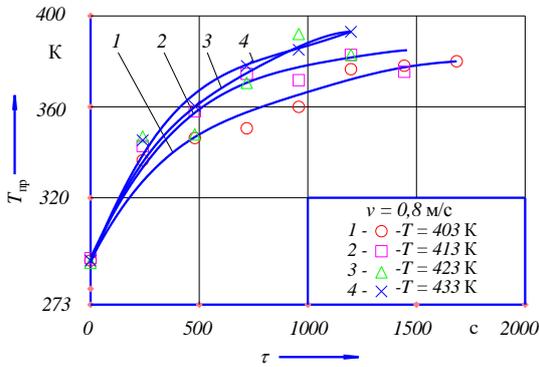


Рисунок 2.18 – Термограммы обжарки орехов фундук при температуре теплоносителя T , К: 1 – 403; 2 – 413; 3 – 423; 4 – 433

Наиболее продолжительным является период убывающей скорости обжарки, который характеризуется снижением ее скорости. Быстрое высушивание частиц с их последующим обжариванием объясняется двумя факторами. В процессе использования перегретого пара в качестве теплоносителя, между паром и обжариваемым продуктом не образуется газового слоя, который препятствует перемещению влаги из продукта, в отличие от сушки воздухом. Более того, пограничный слой турбулизируется испаряемым паром, тем самым повышается интенсивность тепло- и массообмена. Поэтому диффузия влаги от центра к поверхности продукта и передача теплоты от пара к продукту осуществляются относительно легко.

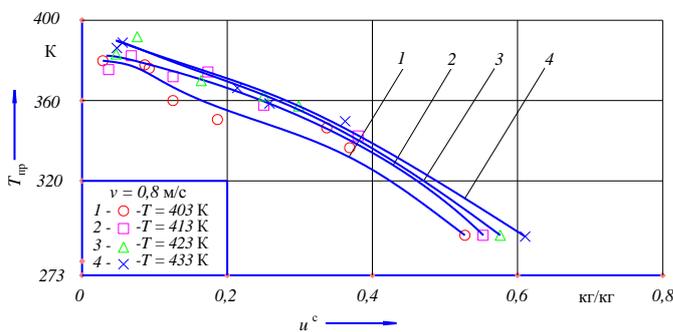


Рисунок 2.19 – Температурные кривые обжарки орехов фундук при температуре теплоносителя T , К: 1 – 403; 2 – 413; 3 – 423; 4 – 433

Наиболее продолжительным является период убывающей скорости обжарки, который характеризуется снижением ее скорости. Быстрое высушивание частиц с их последующим обжариванием объясняется двумя факторами. В процессе использования перегретого пара в качестве теплоносителя, между паром и

На рисунках 2.18 и 2.19 представлены термограммы и температурные кривые обжарки орехов фундук. Кинетические закономерности обжарки орехов фундук для других скоростей перегретого пара, и закономерности обжарки каштанов представлены в Приложении Ж.

2.9 Разработка ступенчатых режимов обжарки растительного сырья

Для выбора рациональных технологических параметров для обжарки каждого вида сырья проводились серии опытов при стационарных температурно-скоростных режимах, а именно: температура теплоносителя варьировалась в пределах от 403 до 433 К, а его скорость – от 0,8 до 2 м/с. Графические зависимости, построенные на основании экспериментальных данных: температурные кривые, кривые обжарки, термограммы и кривые скорости обжарки – позволили узнать, при каких параметрах и в какие периоды процесса обжарка идет наиболее интенсивно.

Значительную роль для исследований сыграло проведение термического анализа сырья. Зависимости изменения массы образца *TGA* и скорости изменения массы *DTG*, полученные при помощи комплексного термоанализатора TGA-DSC [38] фирмы Mettler-Toledo, сделали возможным определение формы связи влаги в растительном сырье, а также температурные интервалы удаления каждой из них.

Основываясь на полученных данных, для каждого вида сырья были разработаны ступенчатые режимы обжарки (таблица 2.5).

Т а б л и ц а 2.5 – Ступенчатые режимы обжарки растительного сырья

Параметры	Этапы		
	I	II	III
	орехи фундук		
Температура теплоносителя, К	403	413	423
Скорость теплоносителя, м/с	2	1,6	1,2
Продолжительность, с	720	360	540
	Каштаны		
Температура теплоносителя, К	423	433	443
Скорость теплоносителя, м/с	1,85	1,3	0,8
Продолжительность, с	720	300	660

В основе данных режимов был заложен принцип, в соответствии с которым происходит повышение температуры и снижение скорости теплоносителя по ходу процесса. Это обусловлено тем, что в начале процесса обжарки из продукта активно удаляется физико-механически связанная влага и ее необходимо отводить, а в конце – физико-химическая (осмотическая и адсорбционная), для удаления которой сле-

дует подводить значительное количество теплоты.

Зависимости, полученные при обжарке каштанов с использованием ступенчатого режима, приведены на рисунке 2.20.

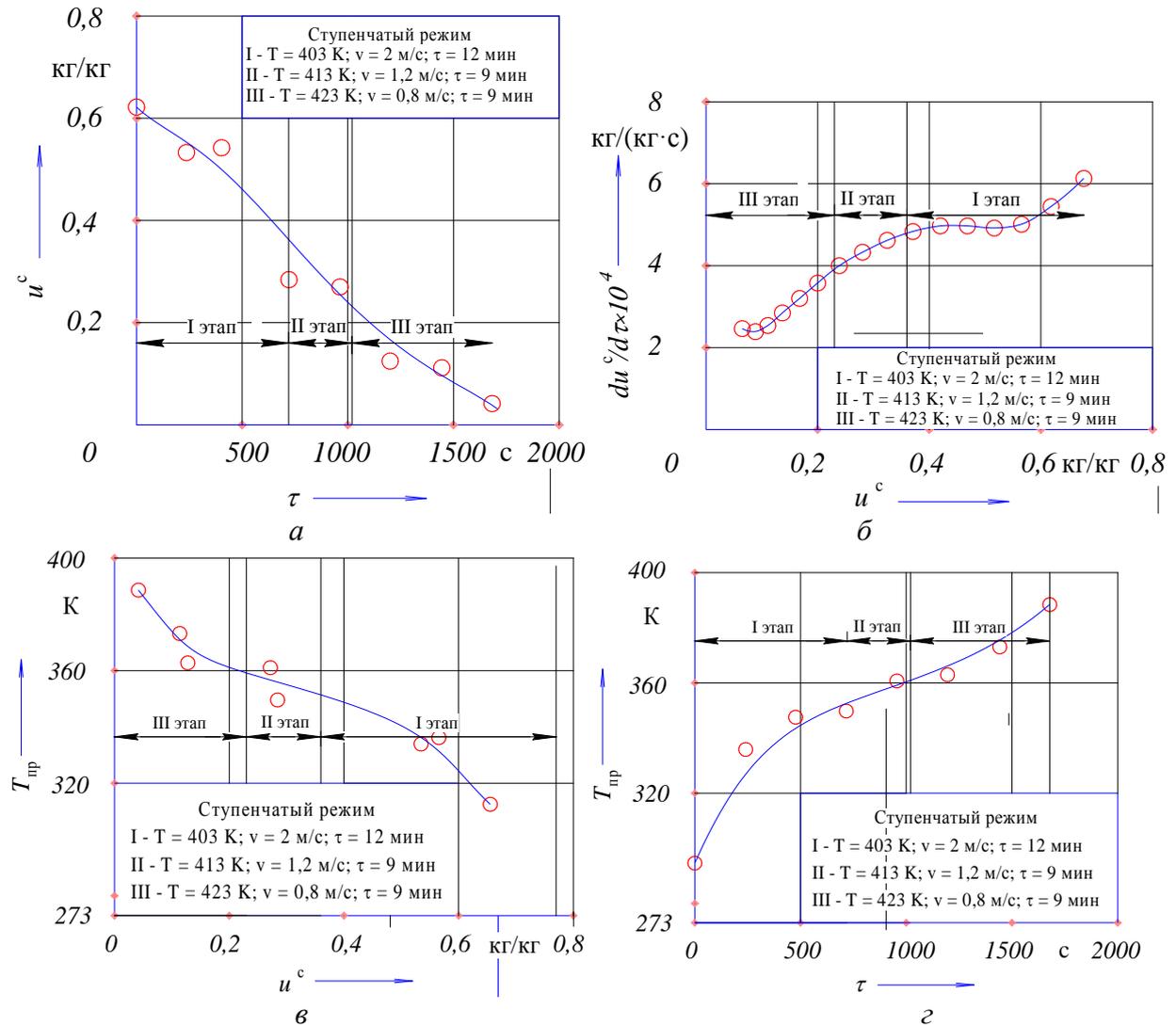


Рисунок 2.20 – Кинетические закономерности ступенчатого режима обжарки орехов фундук: а – кривая обжарки, б – кривая скорости обжарки; в – температурная кривая; г – термограмма

На первом этапе из продукта активно удаляется капиллярная влага, при этом высокая скорость теплоносителя интенсифицирует отвод ее паров, на втором этапе обжарки из сырья удаляется осмотическая влага, а на третьем этапе – адсорбционная влага.

На заключительных этапах обжарки повышение температуры делает возможным осуществление процесса более активно.

Кинетические закономерности ступенчатых режимов обжарки каштанов приведены в Приложении 3. Использование ступенчатого режима в процессе об-

жарки растительного сырья позволяет уменьшить его продолжительность за счет интенсификации процесса, а также повысить показатели качества готового продукта.

Образцы растительного сырья, которые были получены при использовании ступенчатых режимов, выгодно отличались от образцов, полученных при стационарных режимах по органолептическим показателям качества. Использование разработанных режимов позволило снизить продолжительность процесса обжарки и как следствие экономии энергетических ресурсов.

Глава 3 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБЖАРКИ ПИЩЕВОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ ПЕРЕГРЕТЫМ ПАРОМ

3.1 Математическая модель процесса обжарки орехов фундук

Рассмотрим математическую модель процесса обжарки пищевого растительного сырья. Объектом исследования были выбраны орехи фундук, разрезанные на кубики с размером $a = 2 \dots 4$ мм.

Модель процесса будем рассматривать для отдельной частицы, имеющей форму куба с эквивалентным диаметром $d_{\text{экв}}$. В таком случае эквивалентный диаметр частицы определяется по формуле

$$d_{\text{экв}} = 2a_c \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi}}, \quad (3.1)$$

где a_c – линейный размер частицы ореха фундук, м.

Основной технологической целью процесса сушки является обеспечение заданного значения влажности высушиваемого продукта при сохранении качества

В качестве сушильного агента использовался перегретый пар, который представляет собой среду процесса обжарки. Температура среды принималась постоянной $T = 433$ К. В начале процесса обжарки частицы орехов фундук имеют влагосодержание u_n , кг/кг, начальную температуру T_n , К распределенные равномерно по всему объему частицы.

Исследуемый процесс обжарки орехов фундук является типичным нестационарным [12]. При взаимодействии теплоносителя с частицами твердой фазы изменяются температура каждой частицы и концентрация влаги по координатам и по времени.

Для анализа процесса сушки за основу была принята система диффе-

ренциальных уравнений описания тепло- и влагопереноса во влажных телах

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial \tau} &= k_{11} \nabla^2 u + k_{12} \nabla^2 t + k_{13} \nabla^2 P \\ \frac{\partial t}{\partial \tau} &= k_{21} \nabla^2 u + k_{22} \nabla^2 t + k_{23} \nabla^2 P, \\ \frac{\partial P}{\partial \tau} &= k_{31} \nabla^2 u + k_{32} \nabla^2 t + k_{33} \nabla^2 P\end{aligned}\quad (3.2)$$

Коэффициенты k_{ij} определяются сочетанием теплофизических и термодинамических характеристик влажного тела

$$\begin{aligned}k_{11} &= a_m; & k_{12} &= a_m \delta; & k_{13} &= \frac{k_p}{\rho_0}; & k_{21} &= \frac{2\varepsilon}{c} a_m \\ k_{22} &= a + \frac{\varepsilon r}{c} a_m \delta; & k_{23} &= \varepsilon r = \frac{a_m}{c} \delta_p; & k_{31} &= \frac{-\varepsilon a_m}{c_p} \\ k_{32} &= \frac{-\varepsilon a_m}{c_p} \delta; & k_{33} &= a_p = \frac{\varepsilon a_m}{c_p} \delta_p\end{aligned}\quad (3.3)$$

где $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ – оператор Лапласа, м³;

$a = \lambda/c_p$ – коэффициент температуропроводности;

a_m – коэффициент диффузии влаги;

δ – относительный коэффициент термодиффузии влаги;

δ_p – термоградиентный коэффициент;

ε – критерий фазового превращения;

r – удельная теплота фазового превращения;

k_p – коэффициент фильтрационного переноса влаги;

c – приведенная удельная теплоемкость материала;

c_p – коэффициент емкости влажного воздуха в пористом теле;

x, y, z – координаты;

ρ_0 – плотность сухого скелета влажного тела.

Система уравнений при отсутствии градиента общего давления примет вид:

(3.4)

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(a_m \frac{\partial u}{\partial x} \right) + a_m \delta \frac{\partial t}{\partial x}.$$

Рассмотрим процессы влагопереноса от слоя продукта к перегретому пару и переноса тепла, который протекает в обратном направлении.

Коэффициент диффузии влаги (коэффициент потенциалопроводности переноса влаги, коэффициент турбулентной теплопроводности), $\text{м}^2/\text{с}$, вычисляется аналогично коэффициенту теплопроводности:

$$a_m = \frac{\lambda_m}{c_m \rho}, \quad (3.5)$$

где λ_m – коэффициент влагопроводности (турбулентная теплопроводность), $(\text{м}\cdot\text{с})^{-1}$;

c_m – коэффициент массоемкости, кг^{-1} .

Коэффициент термодиффузии связывает коэффициенты термодиффузии a_m^T и диффузии a_m влажных тел [29, 48]:

$$\delta = \frac{a_m^T}{a_m} \quad (3.6)$$

Величины a_m и δ представляют собой функции температуры и влагосодержания [29, 30].

$$a_m = a_{mcap} + a_{mk} \quad (3.7)$$

$$a_m^T = a_{mcap}^T + a_{mk}^T \quad (3.8)$$

$$\delta = \frac{\delta_{cap} \cdot a_{mcap} + \delta_k \cdot a_{mk}}{a_{mcap} + a_{mk}} \quad (3.9)$$

До перехода влаги в продукте в газообразное состояние из жидкого (перед достижением им температуры 373 К) удельную теплоемкость можно вычислить по формуле:

$$c = c_0 + c_1 u_1, \quad (3.8)$$

а после:

$$c = c_0 + c_2 u_2, \quad (3.9)$$

где c_0 – удельная теплоемкость абсолютно сухого продукта, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$;

c_1 – удельная теплоемкость пара, Дж/(кг·К); c_2 – удельная теплоемкость воды, Дж/(кг·К)

(обозначение индексов: $i = 1$ – парообразная влага; $i = 2$ – жидкообразная влага).

3.2 Постановка задачи и задание начальных и граничных условий

При рассмотрении процесса обжарки орехов фундук были приняты следующие допущения:

- частицы орехов рассматриваются в виде куба;
- геометрическая форма частиц продукта постоянна;
- начальное распределение влагосодержания и температуры по объему обжариваемого продукта постоянны;
- плотность потока массы и теплоты постоянны;
- требуемая точность расчета влажности продукта и температуры достигается разбиением на зоны.

Начальные условия:

$$T(x, \tau)|_{x=0} = 0,0021\tau^4 + 0,0764\tau^3 - 2,0187\tau^2 + 19,698\tau + 285,54 \quad (3.10)$$

$$u(x, \tau)|_{x=0} = 9 \cdot 10^{-5}\tau^2 - 0,0211\tau + 0,6924 \quad (3.11)$$

$$T(x, \tau)|_{\tau=0} = T_n \quad (3.12)$$

$$u(x, \tau)|_{\tau=0} = u_n \quad (3.13)$$

Граничные условия третьего рода:

для уравнения теплопроводности

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=X(\tau)} = \alpha (T_{np} - T_n) \quad (3.14)$$

для уравнения массопереноса

$$-a_m \frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=X(\tau)} = \beta (T_{np} - T_n) \quad (3.15)$$

где α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К);

T_{np} , T_n – температуры продукта и перегретого пара, К;

β – коэффициент массоотдачи, м/с:

$$\beta = \frac{Nu \ a_m}{d_{\text{экв}}}, \quad (3.16)$$

где Nu – критерий Нуссельта;

$d_{\text{экв}}$ – эквивалентный диаметр частицы ореха, м.

Поскольку течение теплоносителя является ламинарным, то критерий Нуссельта определяется по формуле:

$$Nu = 0,15 Re^{0,33} Pr^{0,43} Gr^{0,1} \left(\frac{Pr}{Pr_{cm}} \right)^{0,25} \varepsilon_l, \quad (3.17)$$

где Re – критерий Рейнольдса;

Pr – критерий Прандтля;

Pr_{cm} – критерий Прандтля для теплоносителя при температуре стенки;

Gr – критерий Грасгофа;

ε_l – коэффициент, зависящий от критерия Рейнольдса, линейного размера частицы и ее эквивалентного диаметра.

$$Pr = \frac{c_n \mu_n}{\lambda_n}, \quad (3.18)$$

где c_n – удельная теплоемкость перегретого пара, Дж/(кг·К);

μ_n – динамическая вязкость перегретого пара, Па·с;

λ_n – коэффициент теплопроводности перегретого пара, Вт/(м·К).

$$Gr = \frac{g d_{\text{экв}}^3 \rho_n^2}{\mu_n^2} \beta_n \Delta T, \quad (3.19)$$

где ρ_n – плотность перегретого пара, кг/м³;

β_n – коэффициент температурного расширения перегретого пара, К⁻¹;

ΔT – разница температур теплоносителя и стенки, К.

Полученная система уравнений (3.10-3.15) является математической моделью процесса обжарки орехов фундук.

Так как в процессе обжарки изменяется объем продукта, задачу (3.14-

3.15) следует рассматривать, в виде задачи с подвижными границами [17, 48].
Изменение высоты слоя h , м от времени τ , с, происходит по причине усадки продукта и описывается следующим законом:

$$h = (1,68 \cdot 10^{-6} \tau^2 - 0,0215 \tau + 26,7) \cdot 10^{-3}. \quad (3.20)$$

Влагоперенос жидкообразной ($i = 2$) и парообразной ($i = 1$) влаги описывается следующими соотношениями [50, 51]:

$$\vec{j}_i = a_{mi} \rho_0 \nabla u - a_{mi}^T \rho_0 \nabla T = -a_{mi} \rho_0 (\nabla u + \delta_i \nabla T) \quad i = 1, 2, \quad (3.21)$$

а суммарный перенос пара и влаги равен:

$$\vec{j} = \vec{j}_1 + \vec{j}_2 = -a_m \rho_0 \nabla u - a_m^T \rho_0 \nabla T = -a_m \rho_0 (\nabla u + \delta \nabla T). \quad (3.22)$$

Таким образом, система дифференциальных уравнений массопереноса примет вид:

$$\rho_0 \frac{\partial u_1}{\partial \tau} = -\operatorname{div} \vec{j}_1 + J_1, \quad (3.23)$$

$$\rho_0 \frac{\partial u_2}{\partial \tau} = -\operatorname{div} \vec{j}_2 + J_2, \quad (3.24)$$

Суммируя (3.23) и (3.24), получаем:

$$\rho_0 \frac{\partial u}{\partial \tau} = -\operatorname{div} \vec{j}_1 - \operatorname{div} \vec{j}_2, \quad (3.25)$$

Заменяя \vec{j}_1 и \vec{j}_2 соответствующими выражениями, получим:

$$\rho_0 \frac{\partial u_2}{\partial \tau} = -\operatorname{div} [a_{m1} \rho_0 \nabla u + a_{m1}^T \rho_0 \nabla T] + \operatorname{div} [a_{m2} \rho_0 \nabla u + a_{m2}^T \rho_0 \nabla T] \quad (3.26)$$

Уравнение переноса теплоты в дифференциальном виде запишется так:

$$c \rho_0 \frac{\partial T}{\partial \tau} = \operatorname{div} (\lambda \nabla T) + r_{12} J_{12} - \sum_i c_i \vec{j}_i \nabla T, \quad (3.27)$$

где r_{12} – теплота парообразования, Дж/(кг·К).

Источник жидкости $J_2 = J_{12}$ определится из уравнения (3.23), для чего положим $\partial u_1 / \partial \tau = 0$;

$$J_2 = J_{12} = -J_1 = -\operatorname{div} \vec{j}_1. \quad (3.28)$$

Следовательно,

$$c\rho_0 \frac{\partial T}{\partial \tau} = \operatorname{div}(\lambda \nabla T) + r_{12} \operatorname{div}(a_{m1} \rho_0 \nabla u + a_{m1}^T \rho_0 \nabla T) - \sum_i c_i \vec{j}_i \nabla T. \quad (3.29)$$

Рассматривая зональную систему расчета [48, 78], в которой для каждого интервала (зоны) T и u коэффициенты переноса λ , a_{m1} , a_{m2} , a_{m1}^T , a_{m2}^T полагаются постоянными, система уравнений тепломассопереноса в дифференциальном виде запишется так:

$$\frac{du}{d\tau} = a_m \nabla^2 u + a_m^T \nabla^2 T = a_m [\nabla^2 u + \delta \nabla^2 T] \quad (3.30)$$

$$\frac{dT}{d\tau} = \left(a + a_{m1} \frac{r_{12}}{c} \right) \nabla^2 T + a_{m1} \frac{r_{12}}{c} \nabla^2 u - \left[(c_1 a_{m1} + c_2 a_{m2}) \nabla u + (c_1 a_{m1}^T + c_2 a_{m2}^T) \nabla T \right] \frac{\nabla T}{c} \quad (3.31)$$

Вследствие переноса вещества в одном направлении, градиент будет являться дифференциалом по координате x :

$$\frac{du}{d\tau} = a_m \frac{d^2}{dx^2} u + a_m^T \frac{d^2}{dx^2} T = a_m \left[\frac{d^2}{dx^2} u + \delta \frac{d^2}{dx^2} T \right] \quad (3.32)$$

$$\frac{dT}{d\tau} = \left(a + a_{m1} \frac{r_{12}}{c} \right) \frac{d^2}{dx^2} T + a_{m1} \frac{r_{12}}{c} \frac{d^2}{dx^2} u - \left[(c_1 a_{m1} + c_2 a_{m2}) \frac{du}{dx} + (c_1 a_{m1}^T + c_2 a_{m2}^T) \frac{dT}{dx} \right] \frac{dT}{c} \quad (3.33)$$

Запишем дифференциалы, используя правые конечно-разностные отношения:

$$\frac{dT}{d\tau} = \frac{T_{i+1} - T_i}{\Delta t} \quad (3.34)$$

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_{i+1} - T_i}{\Delta x} \quad (3.35)$$

$$\frac{d^2 T}{dx^2} = \frac{T_{i+1} - 2T_i + T_{i-1}}{\Delta x^2} \quad (3.36)$$

$$\frac{du}{d\tau} = \frac{u_{i+1} - u_i}{\Delta t} \quad (3.37)$$

$$\frac{d^2 u}{dx^2} = \frac{u_{i+1} - 2u_i + u_{i-1}}{\Delta x^2} \quad (3.38)$$

3.3 Конечно-разностная схема расчета процесса обжарки орехов фундук

С применением приведенных выше переходов от дифференциальных уравнений записи к уравнениям в конечно-разностной форме, исходные дифференциальные уравнения (3.32), (3.33) примут вид:

$$\begin{aligned} \frac{u_{n+1,k} - u_{n,k}}{\Delta t} &= a_m \frac{u_{n,k+1} - 2u_{n,k} + u_{n,k-1}}{\Delta x^2} + a_m^T \frac{T_{n,k+1} - 2T_{n,k} + T_{n,k-1}}{\Delta x^2} = \\ &= a_m \left[\frac{u_{n,k+1} - 2u_{n,k} + u_{n,k-1}}{\Delta x^2} + \delta \frac{T_{n,k+1} - 2T_{n,k} + T_{n,k-1}}{\Delta x^2} \right] \end{aligned} \quad (3.39)$$

$$\begin{aligned} \frac{T_{n+1,k} - T_{n,k}}{\Delta t} &= \left(a + a_{m1} \frac{r_{12}}{c} \right) \frac{T_{n,k+1} - 2T_{n,k} + T_{n,k-1}}{\Delta x^2} + a_{m1} \frac{r_{12}}{c} \frac{u_{n,k+1} - 2u_{n,k} + u_{n,k-1}}{\Delta x^2} - \\ &- \left[(c_1 a_{m1} + c_2 a_{m2}) \left(\frac{u_{n,k+1} - u_{n,k}}{\Delta x} \right) + (c_1 a_{m1}^T + c_2 a_{m2}^T) \left(\frac{T_{n,k+1} - T_{n,k}}{\Delta x} \right) \right] \frac{T_{n,k+1} - T_{n,k}}{c}, \end{aligned} \quad (3.40)$$

где k – номер шага разбиения по координате, n – номер шага разбиения по времени.

После ряда преобразований уравнений (3.39), (3.40), значения влагосодержания и температуры на каждом последующем шаге разбиения по времени через предыдущий будут находиться по формулам:

$$u_{n+1,k} = u_{n,k} + a_m dt \frac{u_{n,k+1} - 2u_{n,k} + u_{n,k-1}}{dx^2} + a_m^T dt \frac{T_{n,k+1} - 2T_{n,k} + T_{n,k-1}}{dx^2} \quad (3.41)$$

$$\begin{aligned} T_{n+1,k} &= T_{n,k} + dt \left(a + a_{m1} \frac{r_{12}}{c} \right) \frac{T_{n,k+1} - 2T_{n,k} + T_{n,k-1}}{dx^2} + dt a_{m1} \frac{r_{12}}{c} \frac{u_{n,k+1} - 2u_{n,k} + u_{n,k-1}}{dx^2} - \\ &- \left[(c_1 a_{m1} + c_2 a_{m2}) \left(\frac{u_{n,k+1} - u_{n,k}}{dx} \right) + (c_1 a_{m1}^T + c_2 a_{m2}^T) \left(\frac{T_{n,k+1} - T_{n,k}}{dx} \right) \right] \frac{(T_{n,k+1} - T_{n,k}) dt}{dx c} \end{aligned} \quad (3.42)$$

В выведенных дифференциальных уравнениях значения температуры и влагосодержания представлены в безразмерном виде, т. е. являются отношением текущей величины к ее начальному значению ($T_H = 293$ К; $u_H = 0,42$ кг/кг).

Температура продукта оказывает влияние на термодинамические характеристики процесса [17, 29, 77, 78]:

$$a_m = 2,1 \cdot 10^{-15} T_{n,k}^3 \quad (3.43)$$

$$a_{m1} = 0,3 \cdot 10^{-19} T_{n,k}^3 \quad (3.44)$$

Зависимости коэффициентов теплопроводности λ и температуропроводности a от температуры T определены экспериментальным путем и представлены в главе 2. Коэффициент a_{m2} и относительный коэффициент термодиффузии δ от зависят от температуры незначительно [17, 48], в расчетах они приняты постоянными: $a_{m2} = 0,42 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; $\delta = 1,241 \cdot 10^{-3}$.

Влагосодержание не оказывает значительного влияния на термодинамические коэффициенты [48, 77], поэтому им можно пренебречь.

Соотношение (3.16) связывает коэффициент массоотдачи β с коэффициентом диффузии влаги a_m , а коэффициент теплоотдачи α в расчетах принимался постоянным [72, 79].

Реализация явного метода конечно-разностной схемы проводилась с применением метода сетки [17, 48]. Суть этого метода заключается в разбиении всей заданной пространственно-временной области на одинаковые интервалы пространства и времени через заданные интервалы дискретизации по времени (Δt) и координате (Δx), затем значения интересующих нас параметров определяются для каждого узла сетки. Для решения поставленной задачи необходимо представление исходного дифференциального уравнения в конечно-разностном виде (3.39), (3.40).

Расчет значений влагосодержания и температуры на каждом шаге по времени происходит по схеме (рис. 3.1).

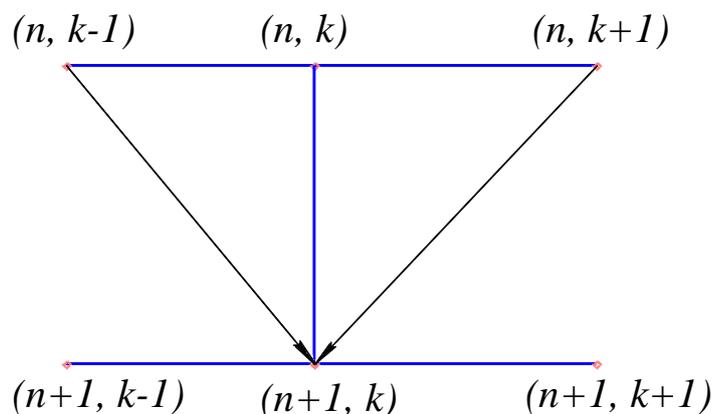


Рисунок 3.1 – Шеститочечная явная схема

Блок-схема алгоритма моделирования процесса обжарки орехов фундук

перегретым паром представлена на рисунке 3.2.

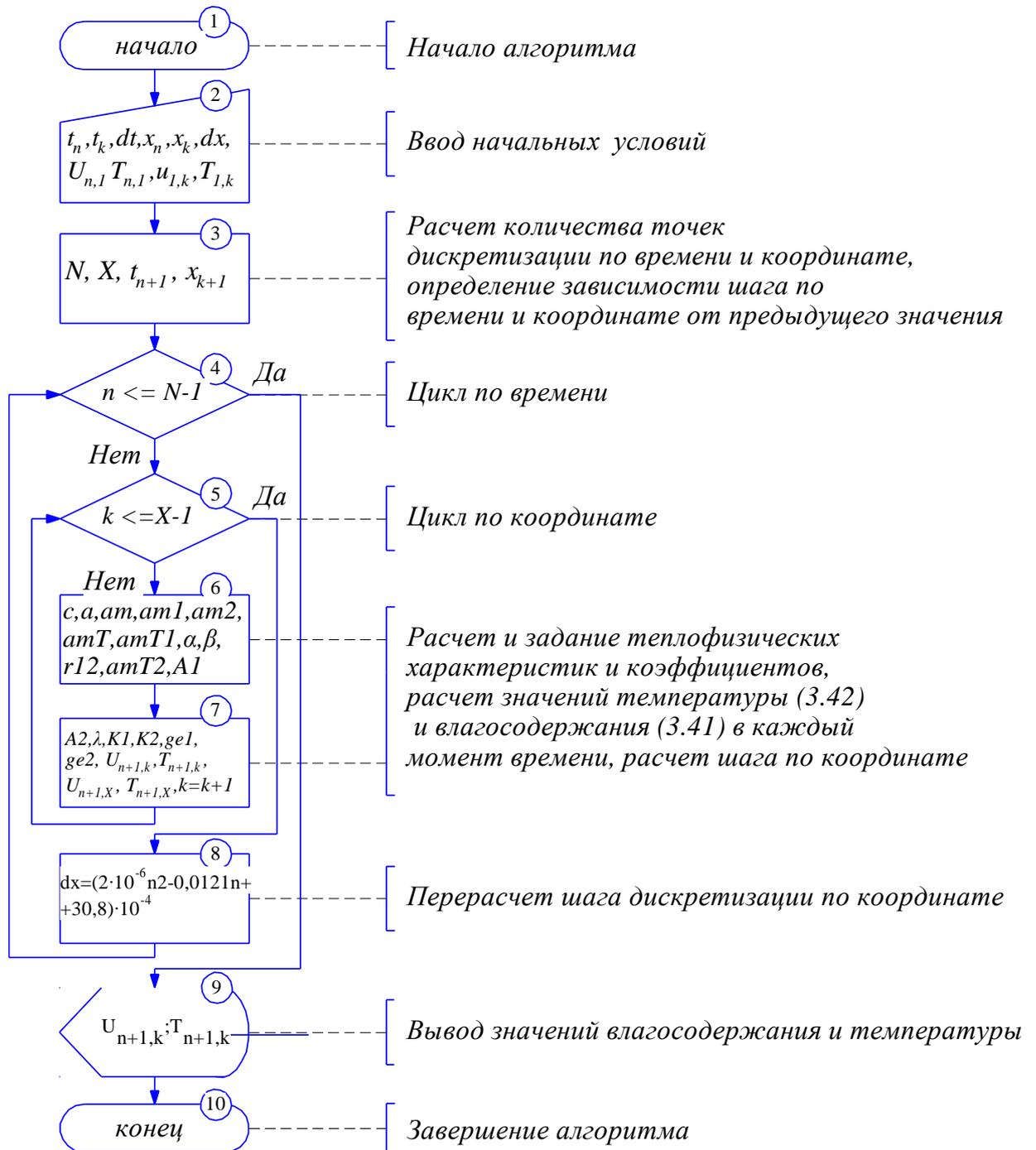


Рисунок 3.2 – Блок-схема алгоритма моделирования процесса обжарки орехов фундук

3.4 Результаты проведения моделирования

Задача (3.41– 3.42), являющаяся краевой задачей тепло- и массопроводности с одной статичной и одной движущейся границей [17, 36, 48], была решена при помощи функциональных преобразований методом конечных разностей [48]. Была разработана программа расчета процесса обжарки орехов фундук перегретым паром в системе *Mathcad 15* (Приложение Н).

Результаты моделирования представлены в виде расчетных поверхностей и отражают изменение температуры T , К, и влагосодержания u , кг/кг, по слоям продукта и по ходу процесса τ , мин, на рисунках 3.3 и 3.4.

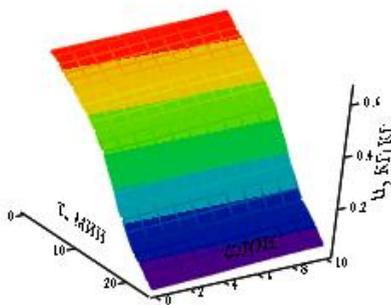


Рисунок 3.3 – Поверхность изменения температуры по слоям продукта и по ходу процесса

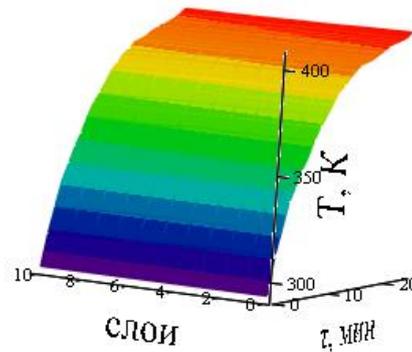


Рисунок 3.4 – Поверхность изменения влагосодержания по слоям продукта и по ходу процесса

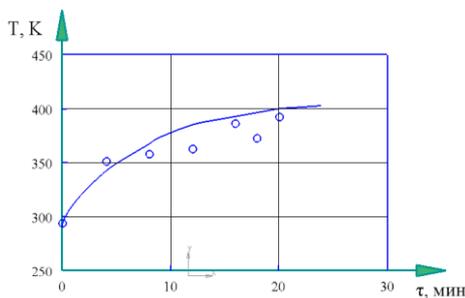


Рисунок 3.5 – Термограмма тепло-массопереноса при обжарке орехов фундук: сравнение расчетных (—) и экспериментальных (○) данных при обжарке перегретым паром, $T_{II} = 433$ К; $q_H = 9,6$ кг/м²; $v = 1,6$ м/с

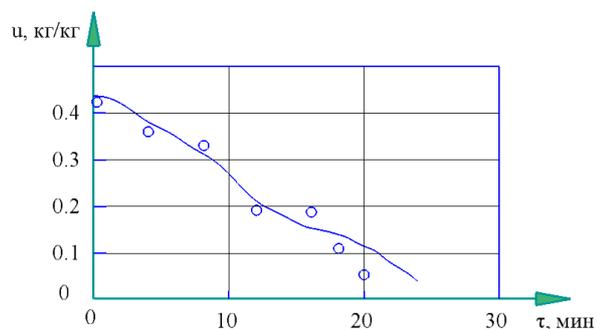


Рисунок 3.6 – Кривая обжарки орехов фундук: сравнение расчетных (—) и экспериментальных (○) данных при обжарке перегретым паром, $T_{II} = 433$ К; $q_H = 9,6$ кг/м²; $v = 1,6$ м/с

Анализ результатов сравнения экспериментальных и расчетных данных (рисунках 3.5 и 3.6) показал, что их отклонение для влагосодержания и для температуры по абсолютному значению не превышает 8,9 % и 3,4 % соответственно.

Результаты моделирования отражают кинетические закономерности процесса обжарки орехов фундук перегретым паром как объекта с распределенными параметрами с достаточной для инженерных расчетов точностью. Расчетные данные могут быть использованы для расчета и проектирования обжарочных аппаратов, анализа протекающих в продукте физико-химических изменений, разработки программно-логических алгоритмов управления технологическими параметрами, прогнозирования дальнейших процессов в продукте.

Глава 4 КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА КАШТАНОВ И ОРЕХОВ ФУНДУК КАК ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

4.1 Определение органолептических и физико-химических показателей качества растительного сырья

В качестве исходного сырья использовались: каштаны посевные *CastaneasativaMill* и орех фундук (Лещина), обжаренные с применением соответствующих ступенчатых режимов.

На рисунках 4.1 и 4.2 приведено сырье в свежем, обжаренном и обжаренном размолотом состоянии.



а б в
Рисунок 4.1 – Каштаны: а – свежие; б – обжаренные; в – размолотые



а б в
Рисунок 4.2 – Орехи фундук: а – свежий; б – обжаренный; в – размолотый

Определение нитратов. Фотометрический метод определения нитратов и нитритов по ISO 13395.

Выполняется анализ проб водных вытяжек пищевых продуктов. Данный метод основан на восстановлении нитрита из нитрата при помощи ме-

таллического кадмия с дальнейшим определением окрашенного соединения, образовавшегося в процессе реакций при участии нитрита.

Т а б л и ц а 4.1 – Нормативная документация для определения характеристик и показателей обжаренного и исходного растительного сырья

Определяемые характеристики и показатели	Обозначение НД, регламентирующих значения определяемых характеристик и показателей	Обозначение НД на методы испытаний и исследований
Сахара	ТР № 178-ФЗ от 27.10.2008	ГОСТ 8756.13-87, ГОСТ Р 51938-2002, ГОСТ Р 51240-98
Микробиологические показатели		ГОСТ 26668-85, ГОСТ 26669-85, ГОСТ 26670-85, ГОСТ Р 51446-99 (ИСО 7218-96), ГОСТ 10444.1-88ГК СЭН РФ N 01-19.9-11 от 21.07.92 г., ГОСТ 8756.18-70, ГОСТ Р 52711-2007, ГОСТ 30712-2001
КМАФАнМ		ГОСТ 10444.15-94, ГОСТ Р 52711-2007, ГОСТ 30712-2001, ГОСТ 30425-97
БГКП (колиформы)		ГОСТ Р 52816-2007 (ИСО 4831:200, 4832:2006), ГОСТ Р 52711-2007, ГОСТ 30712-2001, ГОСТ 30425-97
Витамины		ГОСТ Р 51938-2002, ГОСТ Р 51122-97, ГОСТ 25555.082, ГОСТ Р 51128, ГОСТ 25999-83, ГОСТ Р 50476-93 (РФ)
Аминокислоты		ГОСТ Р 52200-2004 (ИСО 3977-2-1997)
Нитраты		ГОСТ 29270-95
Минеральный состав		ГОСТ Р 51429-99 (РФ), ГОСТ Р 51430-99 (РФ)
Пестициды		ГОСТ 30425-97, ГОСТ 13799, ГОСТ 30349-96
Общий сахар		ГОСТ Р 52187-2003, ГОСТ 8756.13-87
Тяжелые металлы		ГОСТ Р 52187-2003, ГОСТ 30538-97, ГОСТ 30178-96, ГОСТ 26929-94, ГОСТ 26927-86, ГОСТ 25555.3-82
Массовая доля влаги		ГОСТ 15113.4-77, ГОСТ Р 53600-2009
Зола		ГОСТ 10847-74
Клетчатка		ГОСТ Р 53600-2009
Крахмал		ГОСТ 10845-98
Массовая доля протеина		ГОСТ Р 53600-2009

Определение содержания нитрита в пробе проводят не используя обработку кадмиевым восстановителем. Реакция идет двустадийно. На первой стадии сульфаниловая кислота подвергается воздействию нитрата и переходит в азотистую кислоту под воздействием уксуснокислой среды, таким об-

разом, получается diaзосоединение. В ходе второй стадии происходит его реакция с α -нафтиламином с превращением в азокраситель.

Эта колориметрическая реакция отличается высокой чувствительностью, позволяя обнаружить 0,5 мкг N/л. Точность метода составляет 3-5 %. Он позволяет определять без разбавления до 0,3 мг NO₂/л. Метод обладает высокой чувствительностью и для его проведения требуется тщательное предохранение дистиллированной воды и реактивов от загрязнения нитритами [19].

Определение витаминов В₁, В₂, С, РР. Для определения водорастворимых витаминов использовался хроматограф жидкостный Agilent 1100, в состав которого входят: дегазатор подвижной фазы, градиентный насос, термостат колонок, автосамплер, детектор на диодной матрице и масс-селективный квадрупольный детектор 1100 серии SL. Разделение проводилось при помощи хроматографических колонок Luna C 18(2) 5u 150 x 4,6 мм, Synergi 4u Hydro-RP 150x4,6 мм, и Zorbax SB-C18 150 x 4,6 мм и 250 x 4,6 мм с размером частиц 5 мкм. Во время работы все колонки оснащались предколонками SecurityGuard C18. Введение пробы осуществлялось с использованием автосамплера. Объем вводимой пробы был равен 20 мкл. Регистрирование хроматограмм осуществлялось на программно-аппаратном комплексе Agilent ChemStation.

Подбор условий масс-селективного детектирования. Условия масс-селективного детектирования выбирались без использования разделяющей колонки с режимом прямого ввода образца в масс-детектор. В ходе выбора условий отрабатывались варианты химической ионизации и электрораспылительной ионизации при атмосферном давлении. Так же была исследована возможность регистрации отрицательных и положительных ионов. В процессе подбора условий детектирования модельные растворы витаминов вводились в масс-детектор в потоке элюента и в режиме сканирования с разными значениями напряжения фрагментатора регистрировались получающиеся масс-спектры. Варианты подвижных фаз, описанные выше, использовались в ка-

честве элюентов. Величина напряжения фрагментора изменялась с шагом в 10 В в диапазоне от 0 до 400 В. Основываясь на полученных масс-спектрах, для режимов электрораспылительной ионизации и химической ионизации были выбраны наиболее интенсивные ионы для каждого из витаминов.

Таким образом, были выбраны следующие условия для определения витаминов: градиентное элюирование, колонка Zorbax SB-C18, элюент А — уксусная кислота, рН 2,5, элюент Б — ацетонитрил, поток элюента со скоростью 0,8 мл/мин, масс-селективное детектирование по выделенным ионам. С целью расчета пределов обнаружения для детектора с диодной матрицей фосфатный буфер был использован в качестве элюента, из расчета на то, что уксусная кислота обладает заметным поглощением, а это повышает пределы обнаружения.

Определение витамина Е. Определения токоферола в пробах растительного сырья проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Детектирование осуществляли с помощью УФ-детектора с длиной волны равной 285 нм. На хроматограмме разделения токоферолов отображались хорошо разделенные пики, принадлежащие γ -, β - и α -токоферолам.

В качестве подвижной фазы использовался метанол и 1 % водный раствор фосфорной кислоты (95:5). Подготовка пробы осуществлялась посредством пятикратной экстракции гексаном из пробы, диспергированной в диметилсульфоксиде.[68]

Определение тяжелых металлов. Анализ токсичных элементов проводился методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторе TA-Lab. На расшифровке поляризационных кривых - вольтамперограмм, которые были получены в электрохимической ячейке, заполняемой раствором анализируемой пробы, были основаны вольтамперометрические методы анализа.

Определение аминокислот. Определение аминокислот проводилось спектрофотометрическим методом. Количественное определение аминокислот проводили после предварительной их экстракции горячей водой спек-

трофотометрически по реакции с нингидрином. В результате данной реакции образовывалась соль енольной формы дикетогидринденкетогидринамина фиолетовой окраски. Оптическая плотность раствора стандарта и полученных растворов измерялась на спектрофотометре СФ-56 с длиной волны 568 нм относительно воды. Расчет количественного содержания аминокислот проводили по раствору стандарта кислоты глутаминовой.

Расчет содержания проводили по раствору стандарта кислоты глутаминовой в связи с тем, что максимумы поглощения аминокислот проб и кислоты глутаминовой находятся в области 568 ± 2 нм. Относительная погрешность определения не превышала $\pm 4,2\%$. [23]

Определение белка. Нахождение белка было произведено колориметрическим методом (по Лоури). [19] Используя полученные данные, вычерчивается калибровочная кривая.

Определение массовой доли влаги.

Нахождение массовой доли влаги проводилось при помощи метода ускоренного высушивания [66]. В качестве результатов испытания принимают среднее арифметическое для двух параллельных измерений. Измерения проводят с погрешностью не превышающей 0,01 %. Величина расхождения двух параллельных определений не должна превышать 0,25 %.

Определение сахарозы.

Определение проводилось при помощи рефрактометрического метода [66]. В качестве окончательного результата испытания принимается среднеарифметическое значение результатов двух одновременных вычислений, допустимое расхождение не должно превышать 0,3 %. Расчет проводится так, чтобы погрешность не превышала 0,01 %.

Органолептические характеристики орехов фундук.

Оценка качества обжаренных орехов фундук [46] проводилась по следующим органолептическим показателям: внешний вид орехов (цвет и форма); наличие орехов с дефектами; вкус и запах орехов фундук; содержание органических и минеральных примесей; характеристика обжаренных орехов

(лабораторное обжаривание орехов фундук); аромат и вкус обжаренных орехов устанавливали через дегустацию. Все показатели соответствовали требованиям ГОСТ 16834-81 «Орехи фундук» [16].

Органолептические показатели исходных и обжаренных орехов фундук приведены в таблице 4.3.

Т а б л и ц а 4.3 – Органолептические показатели обжаренных орехов фундук

Показатели	Характеристика орехов фундук	
	исходных	обжаренных
Внешний вид орехов (форма и цвет)	Свойственный здоровому ореху, коричневый с разными оттенками.	Равномерно обжаренные частицы орехов коричневого цвета с различными оттенками с блестящей или матовой поверхностью.
Запах и вкус	Свойственные здоровому ореху нормальные вкус и запах (без затхлого, плесневого и других посторонних запахов и привкусов).	Вкус приятный с различными оттенками. Аромат ярко выраженный, тонкий. Посторонние запах и привкус отсутствуют.
Наличие недоброкачественных орехов	Нет	Нет
Содержание минеральных и органических примесей	Нет	Нет
Влажность, %	от 40 до 50	0,5
Натура, г/л	632	655
Сорная примесь, %	2,0	1,9
Зараженность вредителями	Отсутствует	Отсутствует

Органолептические характеристики плодов каштана съедобного.

Каштаны, попавшие в переработку, по качеству соответствовали требованиям ГОСТ 16525-70 «Орехи каштана съедобного» [15]:

Внешний вид: орехи, очищенные от плюски, чистые, свежие, разных оттенков коричневого цвета без механических повреждений и пятен, треугольно-шаровидной формы с небольшими сплюснутостями, не мокрые.

Масса ореха в г, не менее: 5.

Плотность ядра: плотное.

Цвет ядра в разрезе: белый или слегка желтый, без пятен.

Запах и вкус ядра: присущие свежему каштану, без посторонних запаха и привкуса.

Содержание влаги в ядре ореха в % к массе: от 40 до 55.

Присутствие в области отгрузки орехов с визуальными повреждениями вредителями (долгоносиками и плодовой жоркой): не допускается.

Орехи со скрытыми повреждениями вредителями (плодовой жоркой и долгоносиками) в % к массе, не превышает: 10.

В местах назначения орехи со скрытыми и явными повреждениями вредителей (долгоносиков и плодовой жорки) в % к массе, не более: 10.

Орехи с весом менее 5 г в %, не более: 5.

В местах отгрузки и назначения орехи с треснутой естественным образом кожурой в % к массе, не более: 5.

Раздавленные орехи и орехи с механическими повреждениями: не допускаются.

В промышленной переработке разрешается использовать орехи каштана с массой не менее 3 г, а присутствие орехов каштана с кожурой треснувшей естественным образом не ограничивается.

4.2 Исследование аминокислотного, витаминного и минерального состава каштанов и орехов фундук

Результаты исследования витаминного, аминокислотного и минерального состава орехов фундук и каштанов приведены в таблицах 4.4 и 4.5. Анализ данных, указанных в табл., дает понять, что в продуктах и в свежем, и в обжаренном виде, содержание тяжелых металлов и пестицидов гораздо меньше предельно допустимых показателей в пищевых продуктах [11].

Микробиологические показатели тоже не превышают нормы. В каштанах и орехах фундук отсутствуют и пестициды, и тяжелые металлы.

Свежие орехи фундук и каштаны богаты минеральными веществами, белком, аминокислотами и витаминами. В ходе обжарки содержание микро- и макроэлементов изменяется незначительно.

Т а б л и ц а 4.4 – Химический состав свежих и обжаренных орехов фундук

Измеряемые параметры	Ед. изм./ образцы	Фундук свежий			Фундук обжаренный		
			±			±	
Общая влага	%	41,65	±	0,02	4,92	±	0,02
Массовая доля сырого протеина	%	14,83	±	0,04	6,21	±	0,04
Массовая доля крахмала	%	8,32	±	0,04	7,91	±	0,04
Зола	%	2,62	±	0,04	2,44	±	0,04
Общий сахар	%	11,38	±	0,04	8,47	±	0,04
Содержание NO ³⁻	мг/кг	29,93	±	0,04	18,70	±	0,04
Минеральный состав							
Натрий (Na)	мг%	3,76	±	0,02	3,45	±	0,02
Калий (K)	мг%	702,36	±	0,04	688,22	±	0,04
Кальций (Ca)	мг%	158,73	±	0,04	144,29	±	0,04
Магний (Mg)	мг%	178,84	±	0,04	173,91	±	0,04
Железо (Fe)	мг%	3,86	±	0,04	3,57	±	0,04
Фосфор (P)	мг%	284,03	±	0,02	283,76	±	0,02
Аминокислотный состав (незаменимые)							
Валин	мг/100 г	0,87	±	0,04	0,43	±	0,04
Изолейцин	мг/100 г	0,95	±	0,04	0,53	±	0,04
Лейцин	мг/100 г	1,03	±	0,04	0,58	±	0,04
Лизин	мг/100 г	0,59	±	0,04	0,32	±	0,04
Метионин + цистин	мг/100 г	69,01	±	0,04	30,95	±	0,04
Треонин	мг/100 г	54,08	±	0,04	27,96	±	0,04
Фенилаланин + тирозин	мг/100 г	1,22	±	0,04	0,64	±	0,04
Содержание тяжелых металлов							
Ртуть (Hg)	мг/г	-			-		
Свинец (Pb)	мг/г	-			-		
Мышьяк (As)	мг/г	-			-		
Кадмий (Cd)	мг/г	-			-		
Цезий (Cs ¹³⁷)	мг/г	-			-		
Стронций (Sr ⁹⁰)	мг/г	-			-		
Содержание пестицидов							
ГЧЦГ	мг/кг	-			-		
ДДТ	мг/кг	-			-		

В ходе термической обработки разрушаются аминокислоты и витамины и происходит денатурация белка. Тем не менее, благодаря специально разработанным режимам обжарки, потери ценных питательных веществ сводятся к минимуму.

Т а б л и ц а 4.5 – Химический состав свежих и обжаренных каштанов

Измеряемые параметры	Ед. изм./ образцы	<i>Каштаны свежие</i>	<i>Каштаны обжаренные</i>
Общая влага	%	42,67 ± 0,02	3,97 ± 0,02
Массовая доля сырого протеина	%	8,12 ± 0,04	4,53 ± 0,04
Массовая доля крахмала	%	59,62 ± 0,04	52,41 ± 0,04
Зола	%	3,93 ± 0,04	3,81 ± 0,04
Общий сахар	%	21,18 ± 0,04	15,89 ± 0,04
Содержание NO ³⁻	мг/кг	40,11 ± 0,04	29,55 ± 0,04
		<i>Минеральный состав</i>	
Натрий (Na)	мг%	112,84 ± 0,02	109,23 ± 0,02
Калий (K)	мг%	199,20 ± 0,04	181,03 ± 0,04
Кальций (Ca)	мг%	359,46 ± 0,04	346,97 ± 0,04
Магний (Mg)	мг%	161,65 ± 0,04	158,49 ± 0,04
Железо (Fe)	мг%	4,36 ± 0,04	3,98 ± 0,04
Фосфор (P)	мг%	95,25 ± 0,02	87,52 ± 0,02
		<i>Аминокислотный состав (незаменимые)</i>	
Валин	мг/100 г	21,37 ± 0,04	11,33 ± 0,04
Изолейцин	мг/100 г	44,83 ± 0,04	26,21 ± 0,04
Лейцин	мг/100 г	-	-
Лизин	мг/100 г	-	-
Метионин + цистин	мг/100 г	69,01 ± 0,04	30,95 ± 0,04
Треонин	мг/100 г	54,08 ± 0,04	27,96 ± 0,04
Фенилаланин + тирозин	мг/100 г	-	-
		<i>Содержание тяжелых металлов</i>	
Ртуть (Hg)	мг/г	-	-
Свинец (Pb)	мг/г	-	-
Мышьяк (As)	мг/г	-	-
Кадмий (Cd)	мг/г	-	-
Цезий (Cs ¹³⁷)	мг/г	-	-
Стронций (Sr ⁹⁰)	мг/г	-	-
		<i>Содержание пестицидов</i>	
ГЧЦГ	мг/кг	-	-
ДДТ	мг/кг	-	-

Глава 5 РАЗРАБОТКА СПОСОБА ОБЖАРКИ И КОНСТРУКЦИИ ОБЖАРОЧНОГО АППАРАТА ДЛЯ ПИЩЕВОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

5.1 Тепловой расчет обжарочного аппарата

Задание на проектирование. Рассчитать обжарочный аппарат для обжарки растительного сырья при следующих условиях: производительность сушилки по исходному продукту $G_{\text{МК}} = 160$ кг/ч; влагосодержании сырья (орех фундук): начальном $C_0 = 0,42$ кг/кг, конечном $C_k = 0,05$ кг/кг; критическом $C_{\text{кр}} = 0,21$ кг/кг, равновесном $C_p = 0,114$ кг/кг; начальная температура сырья $\theta_0 = 20$ °С; допустимая температура нагрева сырья $\theta_{\text{доп}} = 80$ °С; удельная теплоемкость сырья (орех фундук) $c_t = 3,13$ кДж/(кг·К); насыпная плотность сырья $\rho_{\text{нас}} = 725$ кг/м³; плотность частиц сырья $\rho_{\text{МК}} = 1097,92$ кг/м³; эквивалентный диаметр частицы $d_s = 3,72$ мм; сушильный агент – пар при начальном влагосодержании $X_0 = 0,01$ кг/кг; материал пористый, часть влаги ($<w_{\text{кр}}$) растворена в сырье.

Аппарат размещен в отапливаемом закрытом помещении (температура окружающей среды от + 10 °С до 25 °С).

Обжарочный аппарат работает в две смены по 7 ч (14 ч в сутки) и 305 дней в году.

Максимальная влажность воздуха 75 %, абразивной пыли в воздухе до 20 мг/м³. Плановая средняя массовая производительность обжарочного аппарата $Q_c = 1280$ кг/сутки; максимальная производительность $Q_m = 1400$ кг/сутки.

Коэффициент готовности обжарочного аппарата $K_r = 0,96$; коэффициент использования обжарочного аппарата по рабочему времени $K_b = 0,9$.

Тепловой расчёт

Для удобства расчетов переведем относительные влажности орехов фундук в абсолютные влагосодержания. Изменение влагосодержания гречневой крупы ΔC , кг/кг, рассчитываем по формуле

$$\Delta C = C_0 - C_k, \quad (5.1)$$

где C_0 – абсолютное начальное влагосодержание, кг/кг, $C_0 = 0,66$ кг/кг; C_k – абсолютное конечное влагосодержание, кг/кг, $C_k = 0,111$ кг/кг.

$$\Delta C = 0,42 - 0,05 = 0,415 \text{ кг/кг.}$$

Производительность сушилки по сухому продукту G_T , кг/ч, исходному материалу W , кг/ч, и испарившейся влаге G_{MO} , кг/ч, вычислим по формулам

$$G_T = \frac{G_{MK}}{1 + C_k}, \quad (5.2)$$

$$W = G_T \Delta C, \quad (5.3)$$

$$G_{MO} = G_{MK} + W, \quad (5.4)$$

где G_{MK} – производительность сушилки, кг/ч, $G_{MK} = 160$ кг/ч; C_k – конечное влагосодержание гречневой крупы, кг/кг, $C_k = 0,05$ кг/кг; ΔC – изменение влагосодержания гречневой крупы кг/кг, $\Delta C = 0,415$ кг/кг.

$$G_T = \frac{160}{1 + 0,05} = 152,4 \text{ кг/ч,}$$

$$W = 152,4 \cdot 0,415 = 63,25 \text{ кг/ч,}$$

$$G_{MO} = 160 + 63,25 = 223,25 \text{ кг/ч.}$$

Используя фактор термообработки из условия $\Phi_T \leq 1$, выберем температурный режим сушки. Учитывая, что в роторном обжарочном аппарате $\tau > \tau^\#$ и обеспечивается высокая степень перемешивания воздуха, воспользуемся формулой

$$\Phi_T = \frac{(t_o + t_k)}{2\theta_{доп}} \leq 1, \quad (5.5)$$

$$t_o = t_o = 2\theta_{доп} - t_k, \quad (5.6)$$

где t_0 – начальная температура сырья, °С, $t_0 = 20$ °С; t_k – конечная температура сырья, °С, $t_k = 40$ °С; $\theta_{\text{доп}}$ – допустимая температура нагрева сырья, °С, $\theta_{\text{доп}} = 80$ °С.

$$\Phi_T = \left[\frac{(20+40)}{2 \cdot 80} \right] = 0,375 \leq 1,$$

$$t_0 = 2 \cdot 80 - 40 = 120 \text{ °С}.$$

Температуру θ_k орехов фундук на выходе из сушилки примем по формуле

$$\theta_k = 0,9 \cdot t_k, \quad (5.7)$$

где t_k – конечная температура гречневой крупы, °С, $t_k = 40$ °С.

$$\theta_k = 0,9 \cdot 40 = 36 \text{ °С}.$$

Удельный расход g_m , кДж/кг, теплоты на нагрев гречневой крупы составит

$$g_m = \frac{(c_T + c_{\text{ж}} \cdot C_k) \cdot \Delta\theta}{\Delta C}, \quad (5.8)$$

$$\Delta\theta = \theta_k - \theta_0, \quad (5.9)$$

где c_T – удельная теплоемкость орехов фундук, кДж/(кг·К), $c_T = 3,13$ кДж/(кг·К); $c_{\text{ж}}$ – удельная теплоемкость воздуха, кДж/(кг·К), $c_{\text{ж}} = 4,186$ кДж/(кг·К); $\Delta\theta$ – разность температур на выходе из аппарата и входе в него, $\Delta\theta = 16$ °С;

$$g_m = \frac{(3,13 + 4,186 \cdot 0,05) \cdot 16}{0,415} = 128,74 \text{ кДж/кг},$$

$$\Delta\theta = 36 - 20 = 16 \text{ °С}.$$

Среднюю удельную теплоту \bar{g}_c , кДж/кг, связанной влаги вычислим по формуле

$$\bar{g}_c = \frac{a \cdot (C_{\text{кр}} - C_k)^2}{2 \cdot \Delta C}, \quad (5.10)$$

где a – постоянная величина, кДж/кг, $a = 4200$ кДж/кг;

$$\bar{g}_c = \frac{4200}{2} \cdot (0,21 - 0,05)^2 = 129,54 \text{ кДж/кг}.$$

Принимаем удельные тепловые потери $g_{\text{пт}} = 250$ кДж/кг. При установившемся процессе расход теплоты на нагрев транспортных средств отсутствует. Дополнительно теплота не подводится. В таком случае изменение энтальпии Δ , кДж/кг, сушильного агента будем рассчитывать по формуле

$$\Delta = c_{\text{ж}} \cdot \theta_0 - g_{\text{м}} - \bar{g}_{\text{с}} - g_{\text{пт}}, \quad (5.11)$$

где $c_{\text{ж}}$ – удельная теплоемкость пара, кДж/(кг·К), $c_{\text{ж}} = 2,637$ кДж/(кг·К); θ_0 – начальная температура материала °С, $\theta_0 = 20$ °С; $\bar{g}_{\text{с}}$ – средняя удельная теплота кДж/кг, $g_{\text{м}}$ – удельный расход кДж/кг, $g_{\text{м}} = 88,9$ кДж/кг; $\bar{g}_{\text{с}} = 84,7$ кДж/кг;

$$\Delta = 2,637 \cdot 20 - 88,9 - 84,7 - 250 = -370,86 \text{ кДж/кг.}$$

Энтальпия пара в начале процесса I_0 , кДж/кг

$$I_0 = c_r t_0 + (r_0 + c_{\text{п}} t_0) X_0, \quad (5.12)$$

где c_r – удельная теплоемкость наружного воздуха, кДж/(кг·К), $c_r = 1,006$ кДж/(кг·К); r_0 – удельная теплота парообразования при 0 °С, кДж/кг, $r_0 = 2495$ кДж/кг; $c_{\text{п}}$ – удельная теплоемкость пара, кДж/(кг·К), $c_{\text{п}} = 1,847$ кДж/(кг·К); t_0 – начальная температура продукта, °С, $t_0 = 20$ °С; X_0 – начальное влагосодержание воздуха, который поступает в перегреватель, кг/кг $X_0 = 0,01$ кг/кг;

$$I_0 = 1,006 \cdot 20 + (2495 + 1,847 \cdot 20) \cdot 0,01 = 45,44 \text{ кДж/кг.}$$

Содержащегося в воздухе энтальпия пара в конце процесса $I_{\text{пк}}$, кДж/кг

$$I_{\text{пк}} = r_0 + c_{\text{п}} t_{\text{к}}, \quad (5.13)$$

где $c_{\text{п}}$ – удельная теплоемкость пара, кДж/(кг·К), $c_{\text{п}} = 1,847$ кДж/(кг·К); $t_{\text{к}}$ – конечная температура продукта, °С, $t_{\text{к}} = 40$ °С;

$$I_{\text{п.к}} = 2495 + 1,847 \cdot 40 = 2568,88 \text{ кДж/кг.}$$

Энтальпия воздуха $I_{\text{к}}$, кДж/кг в конце процесса

$$I_{\text{к}} = \frac{c_r t_{\text{к}} \Delta + I_{\text{пк}} (X_0 \Delta - I_0)}{\Delta - I_{\text{пк}}}, \quad (5.14)$$

где c_r – удельная теплоемкость наружного воздуха, кДж/(кг·К), $c_r = 1,006$

кДж/(кг·К); Δ – изменение энтальпии, кДж/кг, $\Delta = -370,86$ кДж/кг; $I_{\text{пк}}$ – энтальпия пара в конце процесса, кДж/кг, $I_{\text{пк}}=2573,6$ кДж/кг; I_0 – энтальпия пара в начале процесса, кДж/кг, $I_0 = 148$ кДж/кг;

$$I_{\text{к}} = \frac{1,006 \cdot 40 \cdot (-370,86) + 2573,6 / (0,01(-339,88) - 148)}{-370,86 - 2573,6} = 137,4 \text{ кДж/кг.}$$

Влагосодержание пара в конце процесса $X_{\text{к}}$, кг/кг,

$$X_{\text{к}} = \frac{I_{\text{к}} - I_0}{\Delta} + X_0, \quad (5.15)$$

где $I_{\text{к}}$ – энтальпия пара в конце процесса кДж/кг, $I_{\text{к}} = 137,4$ кДж/кг; I_0 – энтальпия пара в начале процесса, кДж/кг, $I_0 = 148$ кДж/кг;

$$X_{\text{к}} = \frac{137,4 - 148}{-339,88} + 0,01 = 0,041 \text{ кг/кг.}$$

Изменение влагосодержания пара ΔX , кг/кг,

$$\Delta X = X_{\text{к}} - X_0, \quad (5.16)$$

где $X_{\text{к}}$ – влагосодержание пара в конце процесса, кг/кг, $X_{\text{к}} = 0,041$ кг/кг;

$$\Delta X = 0,041 - 0,01 = 0,031.$$

Удельный расход пара σ , кг/кг

$$\sigma = \frac{\Delta C}{\Delta X}, \quad (5.17)$$

где ΔC – изменение влагосодержания материала кг/кг, $\Delta C = 0,3$ кг/кг;

$$\sigma = \frac{0,415}{0,031} = 13,387 \text{ кг/кг}$$

Расход пара L , кг/ч

$$L = \sigma G_{\text{T}}, \quad (5.18)$$

где σ – удельный расход пара, кг/кг, $\sigma = 10,7$ кг/кг; G_{T} – производительность сушилки по сухому продукту кг/ч, $G_{\text{T}} = 160$ кг/ч;

$$L = 10,7 \cdot 160 = 1712 \text{ кг/ч.}$$

5.2 Эксергетический анализ

С целью поиска возможного направления повышения энергетической эффективности технологических схем, должен быть оценен уровень использования энергетических ресурсов. Перспективным методом оценки термодинамического совершенства теплотехнологических систем является эксергетический метод термодинамического анализа [3]. Его используют при анализе процессов, которые протекают как при использовании холодильных агрегатов, так и при повышенных температура [3, 7].

Задачей эксергетического анализа является оценка степени термодинамического совершенства технической системы в целом, основанная на втором законе термодинамики, а также определение этапов технического процесса, в ходе которых происходят основные эксергетические потери, для ее более эффективной работы. Применение эксергетического анализа делает возможным решение широкого круга технических задач на основе унифицированной термодинамической методики.

Эксергетический анализ выполнялся по методике [3]. Теплотехнологическая система производства обжаренного полуфабриката из растительного сырья в соответствии с данной методикой (рисунок. 5.1) условно изолирована от окружающей среды замкнутой контрольной поверхностью, а внутри этой системы при учете протекающих теплообменных процессов выделены следующие контрольные поверхности:

- I – Высокоскоростной слабый нагрев;
- II – Среднескоростной средний нагрев;
- III – Низкоскоростной сильный нагрев;
- IV – Пароэжекторная холодильная машина;
- V – Теплообменник-рекуператор;
- VI – Парогенератор;
- VII – Пароперегреватель.

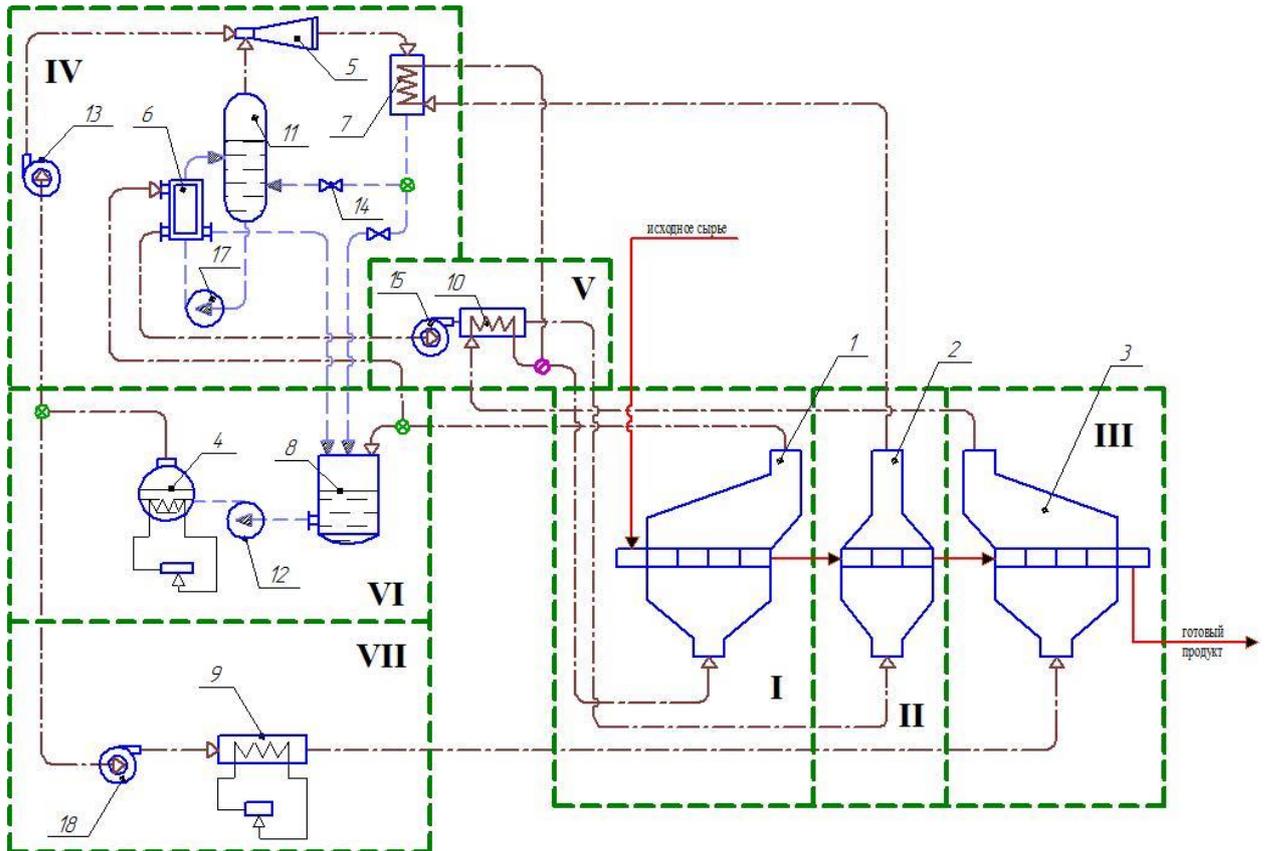


Рисунок 5.1. Схема технологического процесса: —▶—▶ — продукт; —▶—▶ — вода; —▶—▶ — пар; —▶—▶ — границы контрольных поверхностей.

- 1 - 1-ая зона обжарки; 2 - 2-ая зона обжарки; 3 - 3-я зона обжарки; 4 - парогенератор;
 5 - эжектор; 6 - пластинчатый теплообменник; 7 - конденсатор;
 8 - емкость для сбора конденсата; 9 - пароперегреватель; 10 - теплообменник-рекуператор;
 11 - испаритель; 12 - питающий насос; 13 - вентилятор высокого давления;
 14 - терморегулирующий вентиль; 15 - вентилятор; 16 - предохранительный клапан;
 17 - насос; 18 - вентиляторы

Схемы обмена рассматриваемой теплотехнологической системы производства обжаренного полуфабриката из растительного сырья тепловыми, материальными и энергетическими потоками между контрольными поверхностями и с окружающей средой изображена на рисунке 5.2.

В контрольных поверхностях изучаемой технологической системы, каждая из которых состоит из стандартных необратимых процессов, эксергия со временем уменьшается. Это связано с диссипацией энергии:

$$\sum E_z = \sum E_g + \sum D, \quad (5.19)$$

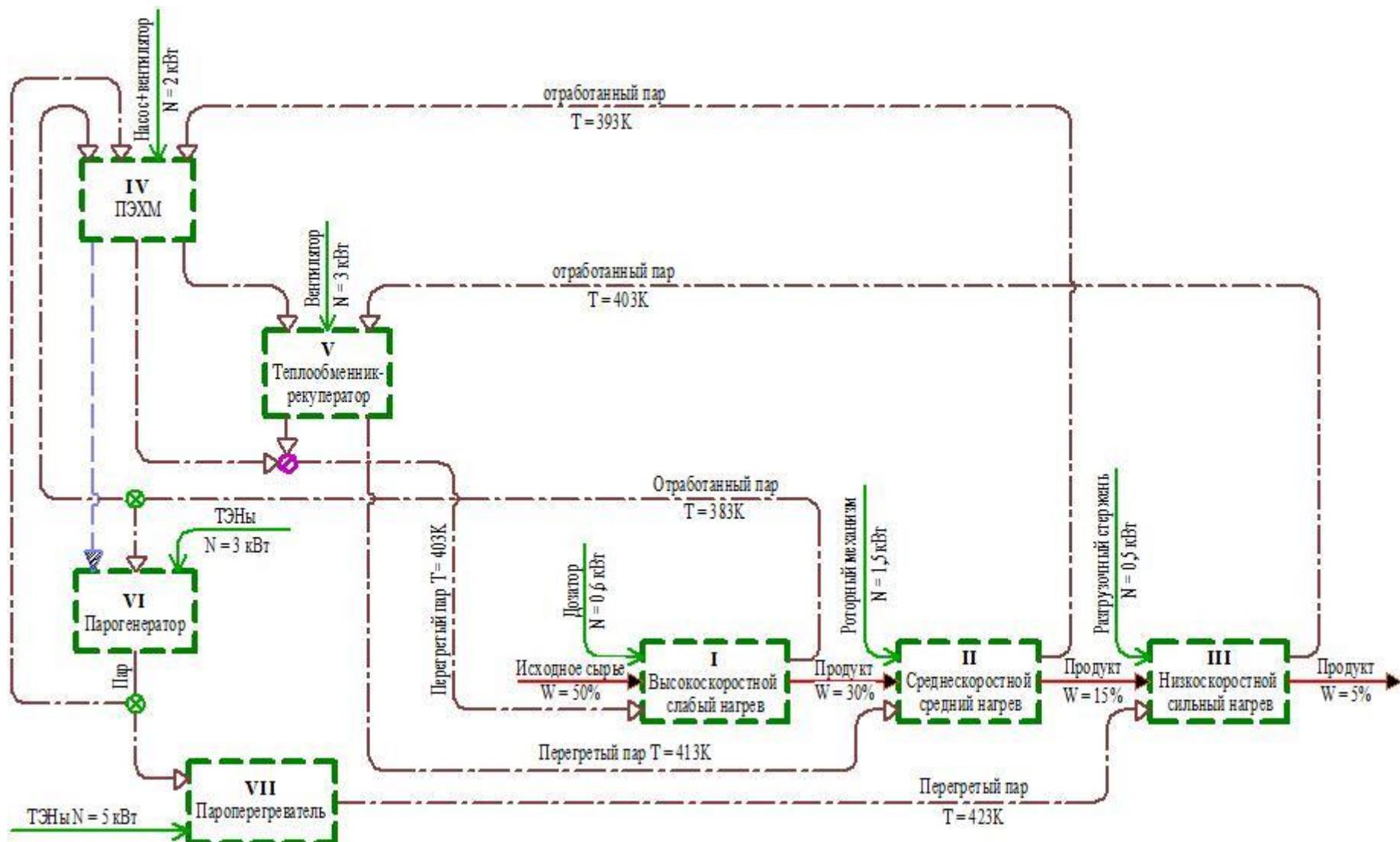


Рис. 5.2. Схема обмена потоками между контрольными поверхностями предлагаемой теплотехнологической системы: \dashrightarrow — вода; \dashrightarrow — продукт; \dashrightarrow — электроэнергия; \dashrightarrow — пар; \dashrightarrow — границы контрольных поверхностей

где $\sum E_3$ - суммарная эксергия энергетических и материальных потоков, которые вводятся в контрольную поверхность; $\sum E_9$ - сумма эксергий полезных энергетических и материальных потоков, которые выводятся из контрольной поверхности; $\sum D = T_0 \cdot \Delta S$ - эксергетические суммарные потери (уравнение Гюи-Стодолы).

Для рассматриваемой технологии [58] производства обжаренного полуфабриката соотношение (5.19) имело следующий вид:

$$E_1^H + \sum E_9^H = E_1^K + \sum D_i + \sum D_e, \quad (5.20)$$

где слагаемыми приведенных уравнений являются: эксергия (кДж): исходного сырья E_1^H ; суммарной электроэнергии приводов $\sum E_9^H$; готового продукта E_1^K ; суммарных эксергетических потерь по причине необратимости процессов, которые происходят внутри контрольной поверхности $\sum D_i$; сумма эксергетических потерь во внешнюю среду $\sum D_e$.

Уравнение (5.20) показывает изменение эксергии в теплотехнологической системе в зависимости от подвода электроэнергии к приводам обжарочного аппарата, ввода исходного сырья; необратимости процессов тепловой обработки промежуточного продукта в секциях обжарочного аппарата; компенсации потерь, которые обусловлены действием окружающей среды; покрытия потерь, возникающих при необратимых изменениях структурно-механических свойств продукта, которые сопряжены с затратами электроэнергии на приводы технологического оборудования; изменения его теплофизических свойств.

Эксергия внешних материальных потоков вводимых в систему – исходного сырья, находящегося в термодинамическом равновесии с окружающей средой, исключается из баланса, так как равна нулю.

В процессе нагрева и охлаждения сырья и промежуточных продуктов в технологическом оборудовании его химическая эксергия постоянна, вследствие того, что его состав в ходе переработки не изменяется. Исходя из этого, в расчет берется только его удельная термическая эксергия, которая определяется на основании уравнения Гюи-Стодолы:

$$e_{э.к.} = e - e_0 = h - h_0 - T_0(S - S_0) \quad (5.21)$$

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 теплофизическим свойствам воды, пара, сырья и продукта различной влажности и температуры взяты из справочной литературы [2,10,16].

В данной работе рассмотрено влияние на систему внешних D^e и внутренних D^i эксергетических потерь.

В общее количество внутренних эксергетических потерь входят электромеханические потери, которые возникают при необратимом изменении структурно-механических свойств продукта, потери от конечной разности температур в результате теплообмена между продуктом и перегретым паром и гидравлические потери, которые обусловлены внезапным увеличением удельного объема пара в результате его поступления из трубопровода в рабочие камеры оборудования.

Потери, которые обусловлены конечной разностью температур между потоками, были определены по формуле:

$$D^i = Q^{mo} \cdot \bar{\tau}_e \quad (5.22)$$

где Q^{mo} - количество теплоты, которое передается от одного потока к другому, кДж; $\bar{\tau}_e$ - среднее значение фактора Карно для двух взаимодействующих потоков.

Фактор Карно или эксергетическая температурная функция равна термическому КПД цикла Карно между температурами контрольной поверхности и условно принятой окружающей среды:

$$\tau_e = (T_{kn} - T_0) / T_{kn}, \quad (5.23)$$

где T_{kn} - температура теплоносителя внутри контрольной поверхности, К.

Гидравлические потери найдены по формуле Дарси-Вейсбаха [3] при входе теплоносителя в контрольную поверхность:

$$\Delta H_e = \xi \cdot \frac{V_{ex}^2}{2g}, \quad (5.24)$$

где v_{ex} - средняя скорость прохождения пара по сечению подводящего трубопровода, м/с; ξ - коэффициент сопротивления, который определяется как отношение внутреннего объема оборудования (в качестве контрольной поверхности), к поперечному сечению входного отверстия.

Электромеханические потери эксергии равны мощности приводов технологического оборудования, которое используется в процессе обработки промежуточных продуктов и сырья [19, 66].

Внешние потери, которые обусловлены несовершенством теплоизоляции оборудования, различием температур теплоносителя и окружающей среды, D^e связаны с условиями сопряжения системы с окружающей средой были найдены по формуле:

$$D^e = Q_{из} \cdot \tau_e, \quad (5.25)$$

где $Q_{из}$ - суммарные потери тепла в окружающую среду через контрольную поверхность, кДж; τ_e - фактор Карно.

Эксергетические потери готового продукта при достижении им термодинамического равновесия на выходе из обжарочного аппарата с окружающей средой были вычислены по следующей формуле:

$$D_{np} = h_{np} - h_{np}^0 - T_0 \cdot \bar{c} \cdot \ln \frac{T_{np}}{T_{np}^0} \quad (5.26)$$

где T_{np} , h_{np} - температура, К и энтальпия, кДж/кг готового продукта, \bar{c} - средняя удельная теплоемкость продукта между состоянием термодинамического равновесия с окружающей средой и его текущим состоянием в момент выгрузки в, кДж/(кг·К).

Оценка термодинамического совершенства рассматриваемой теплотехнологической системы проводилась, исходя из значения эксергии готового продукта, по эксергетическому КПД,:

$$\eta_{экс} = \frac{\sum_{k=1}^l e_i^э}{\sum_{i=1}^n e_i^э} = \frac{\sum_{i=1}^n e_i^э - \sum_{j=1}^m D_j}{\sum_{i=1}^n e_i^э}, \quad (5.27)$$

где $\sum_{i=1}^n e_i^3$ - суммарная затраченная удельная эксергия (подведенная в систему извне), кДж/кг; $\sum_{k=1}^l e_k^3$ - суммарная удельная эксергия готового продукта, 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, которые были рассчитаны по формулам (5.21 – 5.26), определив эксергетический баланс теплотехнологической системы производства обжаренного полуфабриката из растительного сырья (таблица 5.2). Обозначение потоков на рис. 5.3 представлено в таблице 5.1. Курсивом в данной таблице выделены потоки, являющиеся для системы в целом внутренними. Абсолютным эксергетическим параметром при построении эксергетических диаграмм Грассмана-Шаргута (рисунок 4) была выбрана эксергетическая мощность E , кДж/ч.

Полученный по формуле (5.27) эксергетический КПД оказался равен 12,20 %, что на 7,62 % выше, чем при использовании технологии-прототипа [56]. Это свидетельствует о повышении степени термодинамического совершенства системы при использовании парожекторной холодильной машины, которая работает в режиме теплового насоса и обеспечивает использование теплоносителя – перегретого пара – в режиме рециркуляции, что исключило потери эксергии в атмосферу с отходящими потоками.

Таблица 5.1
Обозначения потоков на диаграмме Грассмана-Шаргута исследуемой линии

№	<u>Наименование контрольной поверхности</u>	Обозначение на диаграмме
1	2	3
I	Высокоскоростной слабый нагрев	
П р и х о д		
1	Исходное сырье	1
2	Электроэнергия для привода дозатора	2
3	Перегретый пар (T=403K)	15
Р а с х о д		
1	<i>Высушенный продукт (I)</i>	3
2	<i>Отработанный пар(I)</i>	4
II	Среднескоростной средний нагрев	
П р и х о д		

1	Высушенный продукт (I)	3
2	Электроэнергия для привода роторного механизма)	5
3	Перегретый пар ($T=413K$)	16
Р а с х о д		
1	Высушенный продукт (II)	7
2	Отработанный пар	6
III	Низкоскоростной сильный нагрев	
П р и х о д		
1	Электроэнергия для привода разгрузочного стержня	8
2	Высушенный продукт (II)	7
3	Перегретый пар 423K	22
Р а с х о д		
1	Обжаренный продукт	10
2	Отработанный пар	9
IV	Пароэжекторная холодильная машина	
П р и х о д		
1	Электроэнергия для привода насоса и вентилятора	11
2	Отработанный пар	6
3	Отработанный пар	3
4	Пар	20
Р а с х о д		
1	Пар	12
2	Пар	14
3	Пар	17
V	Теплообменник-рекуператор	
П р и х о д		
1	Электроэнергия для привода вентилятора	13
2	Отработанный пар	9
3	Пар	12
Р а с х о д		
1	Перегретый пар ($T=403K$)	15
2	Перегретый пар ($T=413K$)	16
VI	Парогенератор	
П р и х о д		
1	Электроэнергия для привода ТЭНов	18
2	Отработанный пар	3
3	Пар	17
Р а с х о д		
1	Пар	19
2	Пар	20
VII	Пароперегреватель	
П р и х о д		
1	Электроэнергия для привода ТЭНов	21
2	Пар	19
Р а с х о д		
1	Перегретый пар	22

Таблица 5.2 – Эксергетический баланс линии производства обжаренного полуфабриката из растительного сырья

№	<u>Наименование контрольной поверхности</u>	Абсолютная эксергетическая мощность E, кДж/ч	Относительная эксергетическая мощность, %
1	2	3	4
I СЕКЦИЯ ОБЖАРКИ 1			
П р и х о д			
1	Исходное сырье	0,0	0,00
2	Электроэнергия для привода дозатора	2160,0	3,85
Суммарная эксергия, подводимая к контрольной поверхности		2160,0	3,85
Р а с х о д			
3	Внешние эксергетические потери	937,4	1,67
4	Внутренние эксергетические потери	2287,6	4,07
Суммарная эксергия, отводимая от контрольной поверхности		3225,0	5,74
II СЕКЦИЯ ОБЖАРКИ 2			
П р и х о д			
1	Электроэнергия для привода роторного механизма	5400,0	9,62
Суммарная эксергия, подводимая к контрольной поверхности		5400,0	9,62
Р а с х о д			
2	Внутренние эксергетические потери	9004,4	16,03
3	Внешние эксергетические потери	1553,6	2,77
Суммарная эксергия, отводимая от контрольной поверхности		10558,0	18,80
III СЕКЦИЯ ОБЖАРКИ 3			
П р и х о д			
1	Электроэнергия для привода разгрузочного стержня	1800,0	3,21
Суммарная эксергия, подводимая к контрольной поверхности		1800,0	3,21
Р а с х о д			
2	Обжаренный продукт	6853,2	12,20
3	Внутренние эксергетические потери	5856,2	10,43
4	Внешние эксергетические потери	1726,2	3,07
Суммарная эксергия, отводимая от контрольной поверхности		14435,6	25,70
IV ХОЛОДИЛЬНАЯ МАШИНА			
П р и х о д			
1	Электроэнергия для привода вентилятора и насосов	7200,1	12,82
Суммарная эксергия, подводимая к контрольной поверхности		7200,1	12,82
Р а с х о д			
2	Внутренние эксергетические потери	4251,5	7,57

3	Внешние эксергетические потери	1007,9	1,79
Суммарная эксергия, отводимая от контрольной поверхности		5259,4	9,37
V ТЕПЛООБМЕННИК-РЕКУПЕРАТОР			
П р и х о д			
1	Электроэнергия для приводов вентиляторов	10800,0	19,23
Суммарная эксергия, подводимая к контрольной поверхности		10800,0	19,23
Р а с х о д			
3	Внутренние эксергетические потери	6407,7	11,41
4	Внешние эксергетические потери	2076,4	3,70
Суммарная эксергия, отводимая от контрольной поверхности		8484,1	15,11
VI ПАРОГЕНЕРАТОР			
П р и х о д			
1	Электроэнергия для ТЭНов	10800,0	19,23
Суммарная эксергия, подводимая к контрольной поверхности		10800,0	19,23
Р а с х о д			
2	Внутренние эксергетические потери	4518,2	8,05
3	Внешние эксергетические потери	1128,0	2,01
Суммарная эксергия, отводимая от контрольной поверхности		5646,2	10,05
VII ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЬ			
П р и х о д			
1	Электроэнергия для ТЭНов	18000,0	32,05
Суммарная эксергия, подводимая к контрольной поверхности		18000,0	32,05
Р а с х о д			
2	Внутренние эксергетические потери	5471,1	9,74
3	Внешние эксергетические потери	3080,7	5,49
Суммарная эксергия, отводимая от контрольной поверхности		8551,8	15,23
ОБЩИЙ ПОДВОД		56160,1	100,0
ОБЩИЙ ОТВОД		56160,1	100,0

5.3 Способ производства обжаренных каштанов

Производство обжаренных каштанов осуществляют следующим образом.

Каштаны моют в вентиляторной моечной машине. Затем мытые каштаны очищают от кожуры и инспектируются и сортируются на сортировочно-инспекционном транспортере.

Одновременно с сортировкой проводится инспекция сырья, в ходе которой удаляются дефектные экземпляры (поврежденные вредителями, загнившие, силь-

но загрязненные, массой менее 3 г заплесневелые), посторонние предметы и примеси. Затем обработанные ядра каштанов (орехи) нарезают кубиками с линейным размером 3-5 мм.

Затем нарезанные на кубики каштаны подвергают обжарке перегретым паром атмосферного давления. Существенными преимуществами перегретого пара перед другими теплоносителями являются: высокий энергетический КПД процесса, который обусловлен возможностью утилизации вторичного пара; отсутствие кислорода в перегретом паре, что значительно повышает температуру процесса обжарки без существенного ухудшения качества готового продукта; уменьшение необходимого количества пара в контуре циркуляции благодаря более высокой удельной теплоемкости пара в сравнении с теплоемкостью воздуха; улучшение качественных показателей готового продукта, вследствие того, что повышается пластичность материала и уменьшаются градиенты влагосодержания [4].

На первом этапе порезанные кубики каштанов с линейным размером 3-5 мм продувают перегретым паром со скоростью 1,85 м/с и температурой 423 К в течение 12 мин (рисунок 2.20). В это время удаляется физико-механическая влага, т.е. влага микро- и макрокапилляров и влага смачивания. Скорость теплоносителя является основным параметром, который оказывает влияние на интенсивность влагоудаления в данный период. Поэтому наиболее целесообразно в начальный момент обжарки использовать обжарку с высокой скоростью теплоносителя и невысокой температурой нагрева продукта. Этому требованию наиболее полно отвечает обжарка на первом этапе.

Продолжительность первого этапа (12 мин) была определена эмпирически по результатам анализа полученных кривых обжарки.

На втором этапе предварительно поджаренные кубики каштанов продувают перегретым паром со скоростью 1,3 м/с и температурой 433 К в течение 5 мин (рисунок 2.20). С ходом процесса удаления физико-механической влаги скорость теплоносителя теряет свое значение как определяющего фактора интенсивности процесса.

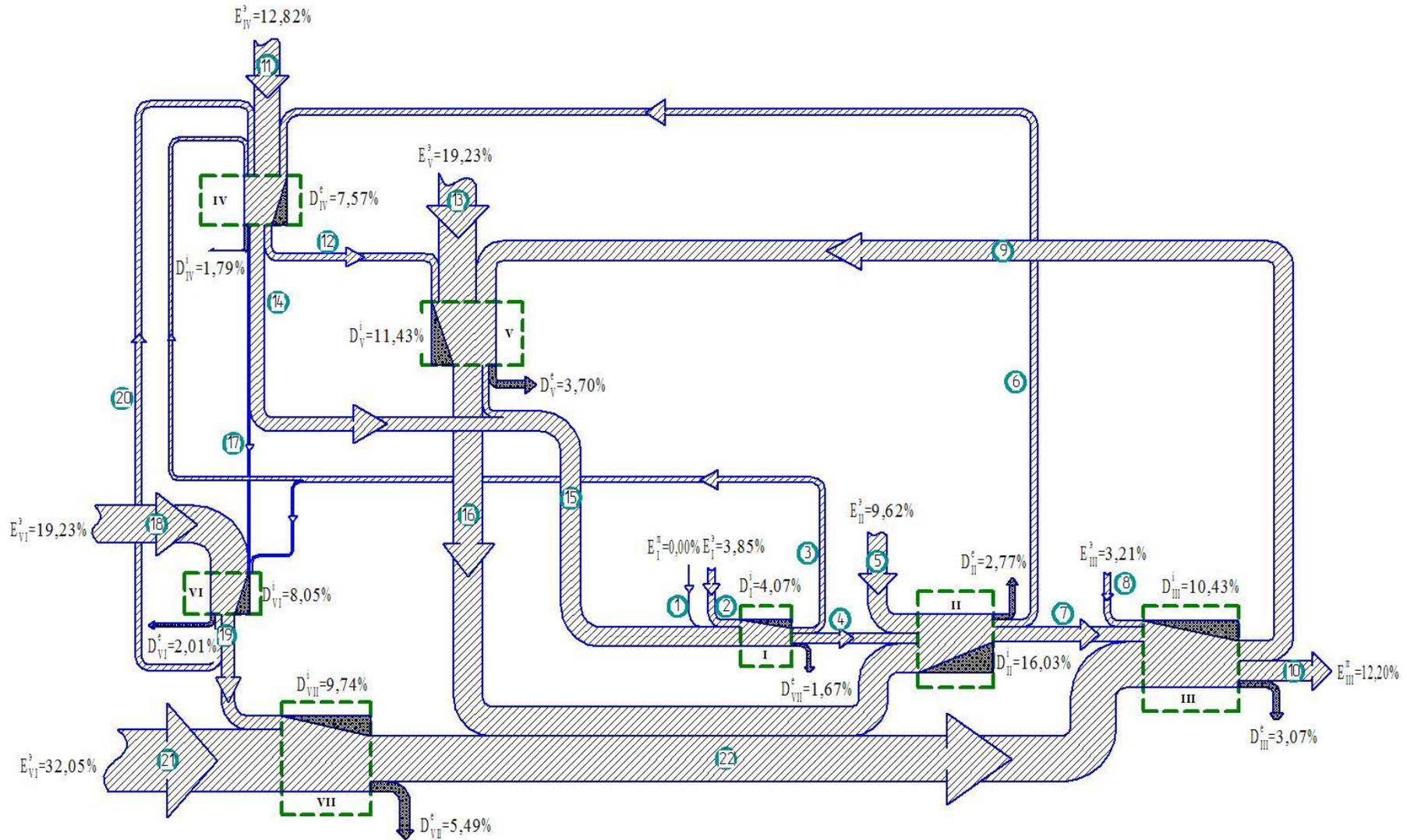


Рисунок 5.3. Диаграмма Грассмана-Шаргута для исследуемой технологии. I-VII – номера контрольных поверхностей.

Вследствие этого на втором этапе предпочтительнее вести обжарку при повышающейся температуре теплоносителя и снижающейся скорости. Из-за того, что наибольшее влияние на интенсивность удаления осмотической (внутриклеточной) влаги оказывается температурой, как фактором, определяющим интенсивность внутреннего влагопереноса, продукт подвергается обжарке перегретым паром с температуры 433 К.

На третьем этапе поджаренные кубики каштанов продувают перегретым паром со скоростью 0,8 м/с и температурой 443 К в течение 11 мин (рисунок 2.20). По мере удаления осмотической влаги скорость теплоносителя, как определяющий фактор интенсивности процесса, теряет свое значение. В связи с тем, что на интенсивность удаления адсорбционной влаги наибольшее влияние оказывает температура, как фактор, который определяет интенсивность внутреннего влагопереноса, продукт обжаривают перегретым паром с температурой 443 К.

Продолжительность третьего этапа (11 мин) была определена экспериментально с использованием результатов анализа полученных кривых обжарки. Подвод теплоносителя, адаптированный в соответствии с основными кинетическими закономерностями процесса обжарки продукта на трех этапах его обжарки, позволяет выбрать рациональные режимы обжарки, учитывая изменения влагосодержания продукта по ходу процесса обжарки.

Затем обжаренные до конечной влажности 4 % кубики каштанов передаются на дальнейшую переработку.

В таблице 5.3 приведен химический состав свежих, обжаренных по прототипу и по предлагаемому способу каштанов (в пересчете на сухое вещество).

Т а б л и ц а 5.3 – Химический состав свежих, обжаренных по прототипу и по предлагаемому способу каштанов (в пересчете на сухое вещество)

Измеряемые параметры	Каштаны свежие	Каштаны	
		обжаренные по прототипу	обжаренные по предлагаемому способу
Общая влага, %	42,65 ± 0,02	4,12 ± 0,02	3,98 ± 0,02
Массовая доля сырого протеина, %	8,12 ± 0,04	3,89 ± 0,02	4,53 ± 0,04

Массовая доля крахмала, %	59,62 ± 0,04	28,43 ± 0,02	52,41 ± 0,04
Зола, %	3,93 ± 0,04	2,94 ± 0,02	3,81 ± 0,04
Углеводы (общий сахар), %	21,18 ± 0,04	64,55 ± 0,02	15,89 ± 0,04
Содержание NO ₃ ⁻ , мг/кг	40,11±0,04	23,13 ± 0,02	29,55 ± 0,04
Минеральный состав			
Натрий (Na), мг%	112,84 ± 0,02	102,49±0,02	109,23 ± 0,02
Калий (K), мг%	199,20 ± 0,04	155,34±0,02	181,03 ± 0,04
Кальций (Ca), мг%	359,46 ± 0,04	189,28±0,01	346,97 ± 0,04
Магний (Mg), мг%	161,65 ± 0,04	146,01±0,02	158,49 ± 0,04
Железо (Fe), мг%	4,36 ± 0,04	3,19±0,02	3,98 ± 0,04
Фосфор (P), мг%	95,25 ± 0,02	50,55±0,02	87,52 ± 0,02
Аминокислотный состав (незаменимые)			
Валин, мг/100 г	21,37 ± 0,04	8,99±0,002	11,33 ± 0,04
Изолейцин, мг/100 г	44,83 ± 0,04	20,57±0,002	26,21 ± 0,04
Лейцин, мг/100 г	-	-	-
Лизин, мг/100 г	-	-	-
Метионин + цистин, мг/100 г	69,01 ± 0,04	32,88±0,002	30,95 ± 0,04
Треонин, мг/100 г	54,08 ± 0,04	19,02±0,001	27,96 ± 0,04
Фенилаланин + тирозин, мг/100 г	-	-	-
Микробиологические показатели			
КМАФАнМ, КОЕ/г	144	141	122
<i>S. aureus</i> , КОЕ/г	-	-	-
БГКП (колиформы), КОЕ/г	-	-	-
Витаминный состав			
Тиамин (B1), мг%	0,293±0,004	0,131±0,001	0,151±0,004
Рибофлавин (B2), мг%	0,365±0,004	0,155±0,002	0,199±0,004
Витамин E, мг%	0,145±0,004	0,063±0,002	0,081±0,004
Витамин C, мг%	1504,17±0,004	397,543±0,001	409,754±0,004
Ниацин (PP), мг%	0,038±0,004	0,016±0,002	0,019±0,004

Как видно из таблицы 5.3, каштаны, обжаренные по предлагаемому способу, имеют более высокое содержание ценных питательных термолабильных веществ по сравнению с прототипом. Это свидетельствует о правильности выбора мягких, щадящих температурно-гидродинамических режимов обжарки, позволяющих в максимальной степени сохранить нативные свойства каштанов.

Таким образом, использование предложенного способа производства обжаренных каштанов позволяет:

- получать обжаренные каштаны с высоким содержанием ценных термолабильных веществ (витамины, моносахара, аминокислоты и др.);
- интенсифицировать процесс и повысить его тепловую эффективность;
- снизить энерго- и трудозатраты на производство обжаренных каштанов вследствие использования ступенчатых режимов обжарки.

5.4 Разработка конструкции аппарата для обжарки растительного сырья перегретым паром

Для реализации предложенной технологии обжарки растительного сырья была разработана роторный сушильный аппарат.

На рисунке 5.4 изображен объемный вид роторного обжарочного аппарата, на рисунке 5.5 - изображение трапецеидальной формочки в зоне выгрузки роторного обжарочного аппарата, на рис. 5.6 - вид сверху трапецеидальной формочки.

Роторный обжарочный аппарат (рисунок. 5.4) включает в себя рабочую камеру 5, трапецеидальные формочки 1, две направляющие 2, приводной вал 3, загрузочный бункер 4, патрубки 6 для подвода теплоносителя, вытяжной зонт 7 для отвода отработанного теплоносителя, выгрузочный бункер 8. Выгрузочный бункер 8 расположен с внутренней стороны зоны выгрузки. Под каждой зоной сушки снизу расположен патрубок 6 для подвода теплоносителя с разными скоростями и температурами, а над ними - вытяжной зонт 7 для удаления отработанного теплоносителя.

Внутри рабочей камеры по окружности расположены две параллельные направляющие, выполненные из уголков. На некоторых участках внутренней горизонтальной поверхности направляющих выполнены выступы, для того, чтобы при перемещении формочек продукт, находящийся в них, подвергался вибрациям.

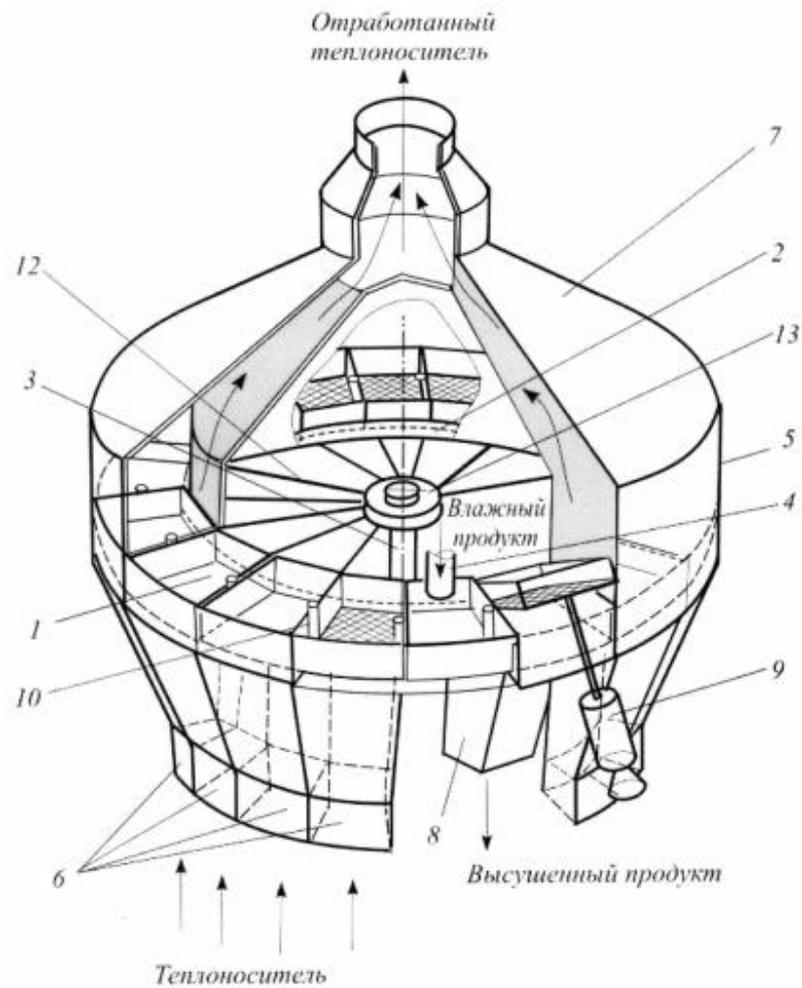


Рисунок 5.4 – Роторный обжарочный аппарат: 1 – трапецидальные формочки, 2 – направляющие, 3 – приводной вал, 4 – загрузочный бункер, 5 – рабочая камера, 6 – патрубки, 7 – вытяжной зонг, 9 – пневмоцилиндр, 10 – вертикальный штыри, 12 – крестовины, 13 – кольцеобразная втулка

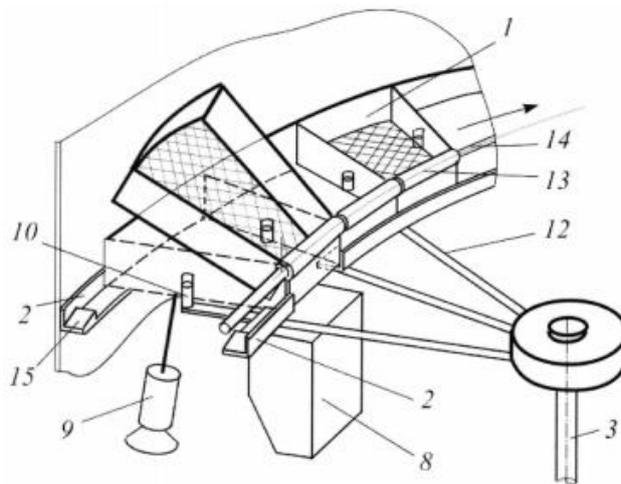


Рисунок 5.5 – Трапецидальные формочки в зоне выгрузки роторного обжарочного аппарата: 1 – формочки, 2 – направляющие, 3 – приводной вал, 8 – выгрузочный бункер, 9 – пневмоцилиндр, 10 – вертикальные штыри, 12 – радиальные крестовины, 13 – кольцеобразная втулка, 14 – кольцеобразная направляющая, 15 – выступы

На приводном валу расположены радиальные крестовины, на концах которых установлены вертикальные штыри. Расстояние между соседними вертикальными штырями равно ширине формочек.

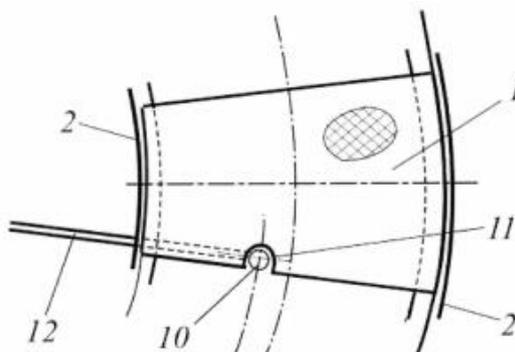


Рисунок 5.6 – Трапецеидальная формочка (вид сверху): 1 – внутренняя стенка формочки, 2 – параллельные направляющие, 10 – вертикальные штыри, 11 – пазы, 12 – крестовины

Вертикальные штыри 10 контактируют с пазами 11, выполненными в боковых стенках формочек. Дно формочки выполнено из перфорированной сетки. Формочки имеют трапецеидальную форму (рисунок. 5.6). К верхней части внутренней стенке формочек приварена кольцеобразная втулка 13, внутри которой проходит кольцеобразная направляющая 14. Внутренняя стенка формочек выполнена подвижной с возможностью вращения вокруг кольцеобразной направляющей для выгрузки продукта при подъеме формочки из горизонтального в наклонное положение. Формочки циклично с периодическими выстоями перемещаются по двум параллельным направляющим с помощью приводного вала.

Под зоной выгрузки расположен пневмоцилиндр, с помощью которого осуществляется подъем формочек из горизонтального в наклонное положение. С внутренней стороны зоны выгрузки смонтирован выгрузочный бункер.

Приводной вал работает циклично с периодическими выстоями. С этой целью он снабжен электродвигателем (на рисунке 5.5 не показан), который, вращая вал, приводит в движение формочки с помощью крестовин. Формочки установлены с таким шагом и расположены так, чтобы каждая из них находилась в одной из зон: первая формочка - в зоне загрузки, а вторая - в первой зоне сушки, третья - во второй зоне сушки и т.д., а последняя - в зоне выгрузки. В итоге, при циклич-

ном движении приводного вала с периодическими выстоями каждая из формочек перемещается последовательно через все зоны (рисунке. 5.4). Вибрационное воздействие на частицы высушиваемого продукта при перемещении формочек по направляющим способствует разравниванию высоты слоя и предотвращает комкование и слеживание.

Аппарат работает следующим образом. Исходный влажный сыпучий продукт подают в загрузочный бункер 4, и определенная порция исходного продукта засыпается в формочку (рисунок 5.5). После этого загрузка продукта прекращается. Включается электродвигатель (на рисунке. 5.4 не показан), который приводит во вращение приводной вал.

Приводной вал приводит в движение формочки с помощью крестовин. Формочки перемещаются по направляющим, причем, после того как каждая из формочек 1 переместится в следующую зону, выключается электродвигатель и приводной вал 3 останавливается. В это время последняя формочка переместится из зоны выгрузки в зону загрузки, первая формочка - в первую зону сушки, вторая - во вторую зону сушки и т.д.

В момент, когда первая формочка с продуктом целиком оказалась в первой зоне сушки, через патрубок подается теплоноситель с заданными параметрами. Теплоноситель, имеющий скорость псевдооживления, пронизывает слой продукта, проходя через перфорированное днище формочки с продуктом, (рисунок 5.4). Пар приводит продукт в псевдооживленное состояние и, тем самым, обеспечивает равномерную сушку всех частиц высушиваемого продукта.

Отработанный теплоноситель выводится из первой зоны сушки через вытяжной зонт. Гидродинамический режим обработки продукта может меняться в зависимости от его вида.

В первой зоне обжарки постепенно увеличивается температура частиц высушиваемого продукта без пересушивания их поверхностных слоев. Равномерная обработка продукта осуществляется применением псевдооживленного слоя при сушке частиц, а ограниченное применение псевдооживленного слоя ведет к сни-

жению измельчения и истирания частиц. По завершении сушки частиц в первую зону сушки прекращается подача теплоносителя.

Далее приводной вал приводится во вращение и при помощи крестовин перемещает каждую из формочек по направляющим в следующую зону. Когда первая формочка с продуктом полностью вошла во вторую зону сушки, электродвигатель выключается и приводной вал вновь останавливается и через патрубок во вторую зону сушки подают теплоноситель с заданными параметрами.

При этом продукт подвергается дальнейшей сушке. Отработанный теплоноситель удаляется из второй зоны сушки через вытяжной зонт. В зависимости от вида обрабатываемого продукта может меняться гидродинамический режим его обработки.

После завершения сушки частиц продукта подача теплоносителя во вторую зону прекращается.

Выступы 15, имеющиеся на некоторых участках внутренней горизонтальной поверхности направляющих, обеспечивают при перемещении формочек вибрирование продукта, находящегося в них.

Затем включается приводной вал, перемещающий формочки в следующие зоны. К примеру, первая формочка с продуктом переместилась в третью зону сушки. В момент входа формочки с продуктом в третью зону сушки, приводной вал вновь останавливается, для того, чтобы через патрубок в третью зону сушки вошел теплоноситель с заданными параметрами. Таким образом, цикл сушки в каждой из последующих зонах повторяется аналогично.

Из-за того, что каждая формочка проходит последовательно через зоны сушки с различным гидродинамическим режимом (в псевдооживленном, плотном неподвижном и плотном вибрирующем слое), в каждую зону сушки доставляется теплоноситель с оптимальными параметрами в зависимости от вида обрабатываемого сырья (орехов фундук, каштанов и других продуктов). После этого приводной вал снова приводится во вращение и с помощью крестовин перемещает формочку с высушенным продуктом в зону выгрузки. При этом электродвигатель выключается, и приводной вал вновь останавливается. Затем с помощью пневмоци-

линдра, расположенного под зоной выгрузки, осуществляется подъем формочек из горизонтального в наклонное положение. В наклонном положении внутренняя стенка формочек, вращаясь вокруг кольцеобразной направляющей, образует зазор, в который ссыпается высушенный продукт в выгрузочный бункер.

Полное и эффективное высыпание частиц продукта из формочки в выгрузочный бункер обеспечивается тем, что угол наклона перфорированной сетки формочек в момент опрокидывания больше угла естественного откоса готового продукта. Работа всех формочек полностью синхронизирована. Это означает, что в момент, когда последняя формочка разгружается, первая формочка загружается продуктом, а вторая формочка с продуктом подвергается сушке в первой зоне и т.д. (рисунок. 5.4).

Так продукт, перемещаясь по обжарочному аппарату, один за другим подвергается всем этапам технологической обработки. Применение предложенной конструкции формочек и многоступенчатой сушки обеспечивает стабилизацию тепловлажностного режима и улучшает качество высушенных частиц за счет более равномерного и быстрого увлажнения частиц. Данный роторный обжарочный аппарат универсален, т.к. он может быть использован для обжарки топинамбура, белых кореньев, каштанов и других продуктов.

Процесс сушки в предлагаемом роторном обжарочном аппарате адаптирован в соответствии с основными кинетическими закономерностями процесса обжарки.

Разработанный роторный обжарочный аппарат обладает следующими преимуществами:

- более высокой производительностью за счет интенсивного протекания процесса, благодаря использованию активных гидродинамических режимов,
- возможность улучшения качества получаемого продукта за счет применения равномерной обработки и более мягких, «щадящих» режимов;
- конструкция аппарата позволяет выбрать рациональные режимы обжарки, принимая во внимание изменение влагосодержания продукта по длине аппарата;

- расширение области применения за счет секционированного подвода теплоносителя.

5.5 Разработка машинно-аппаратурной схемы получения обжаренного полуфабриката из растительного сырья

Важным этапом реализации технологии получения полуфабриката из обжаренного растительного сырья является организация производственного процесса путем разработки машинно-аппаратурной схемы непрерывного действия, включающей в себя современные единицы оборудования, обеспечивающие минимальные энергозатраты и максимальное качество продукта.

Машинно-аппаратурная схема получения обжаренного полуфабриката из растительного сырья представлена на рисунке 5.7.

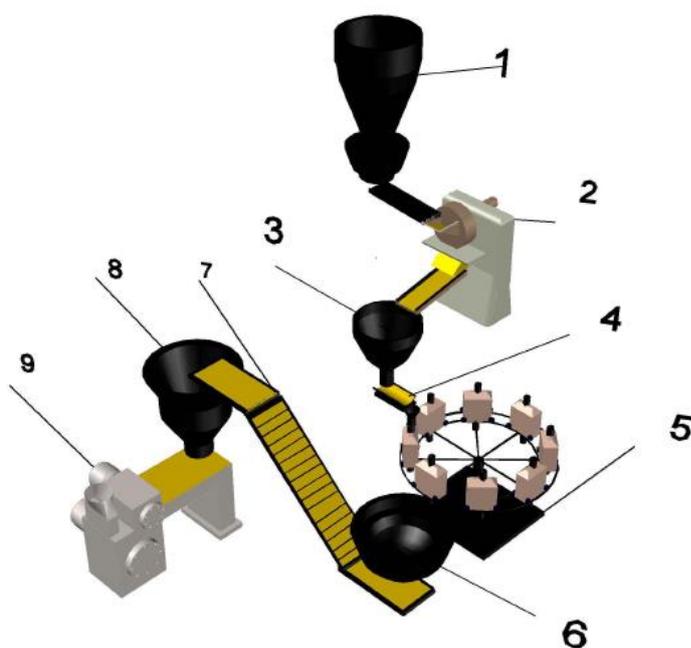


Рисунок 5.7 – Линия с внедренным обжарочным аппаратом: 1 – специализированный очиститель, 2 – резательная машина, 3 – накопительный бункер, 4 – весы, 5 – обжарочный аппарат, 6 – охладительная

Для очистки каштанов и орехов от кожуры и находящейся под ней внутренней пленки используется специализированный очиститель 1 итальянской фирмы Воета. Затем очищенные каштаны и орехи подают в резательную машину 2, предназначенную для измельчения растительного сырья.

Сырье, нарезанное на кубики,

подается в накопительный бункер 3, откуда поступает на весы 4. После взвешивания порции сырья направляют в роторный обжарочный аппарат 5 оригинальной конструкции, обеспечивающий непрерывность процесса обжарки.

Чередование зон увлажнения и обжарки и применение перегретого пара в качестве теплоносителя делает возможным проведение обжарки при мягких щадящих режимах, тем самым избегая растрескивания частиц продукта. Горячий продукт после обжарки направляют в охладительную чашу 6. Охлажденные кубики продукта по ленточному транспортеру 7 подаются в магнитный сепаратор 8 для отделения металломагнитных примесей. После этого продукт поступает в дробилку 9, где измельчаются до порошкообразного состояния с дисперсностью 80-100 мкм.

Преимуществом данной технологической линии является значительная экономия энергии при подаче сырья на каждый последующий этап обработки, высокая эффективность работы оборудования и непрерывность процесса. Полученный таким образом продукт имеет высокие физико-химические и органолептические показатели. Он является ценной пищевой добавкой, обладающей комплексом макро- и микроэлементов и витаминов.

5.6. Расчет ожидаемого экономического эффекта от использования роторного обжарочного аппарата

С целью расчета годового экономического эффекта и срока окупаемости затрат на реализацию проекта в качестве базы для сравнения принята сушиллка Г4-КСК-15, для замены которой и предназначается роторная сушиллка

Предлагаемая установка по сравнению с базовым аппаратом обладает следующими преимуществами:

- обеспечение непрерывной работы в течение 460 смен;
- повышение производительности оборудования на 20-29 % (от 30 до 45 вместо 25 до 35 кг/ч в зависимости от сырья);
- сокращение времени технологического процесса сушки растительного сырья на 30 % (30 мин вместо 43 мин);

- достижения более равномерной сушки продукта за счет применения ступенчатого режима обжарки, пересыпания частиц продукта за счет вибрации и кипящего слоя;
- повышения качества готового продукта с учетом использования рационального гидродинамического режима слоя продукта.

Исходные данные для расчета приведены в таблице 5.4.

Т а б л и ц а 5.4 – Исходные нормативные данные для расчета

Наименование показателей	Единица измерения	Варианты	
		Базовый	Проектируемый
1. Производительность по готовому продукту	кг/ч	120	160
2. Обслуживающий персонал:			
сушильщик	чел/разр.	0,6/3повр.	-
мойщик		0,2/2повр.	-
оператор		-	1/4повр.
3. Удельный расход электроэнергии:	кВт·ч/кг	0,5	0,4
4. Габаритные размеры:			
длина	мм	7600	4000
ширина		2400	4000
высота		3100	2000
5. Число смен в году	Смен	460	460
6. Стоимость 1 м ³ производственных помещений	р.	30000	30000
7. Высота здания	М	6	6
8. Срок службы до первого капитального ремонта	Лет	3	6
9. Стоимость 1 кВтч электроэнергии	р.	4,6	4,6
10. Норма амортизационных отчислений	%	10	10
11. Норма расходов на содержание, текущий ремонт оборудования	%	6,0	6,0
12. Амортизация, содержание здания, текущий ремонт	%	4,4	4,4

5.6.1 Расчет капиталовложений

Капитальные затраты К (тыс. р.) на создание и внедрение проекта направлены на приобретение и монтаж сушильной установки с роторным поворотным механизмом. Стоимость старого оборудования приведена в табл. 5.5.

Т а б л и ц а 5.5 – Стоимость старого оборудования

Наименование оборудования	Цена, р.	Транспортно монтажные работы (10 %), р.	Общая стоимость, р.
Сушилка Г4-КСК-15	1394000	139400	1534500

Стоимость устанавливаемого оборудования в рублях приведена в таблице 5.6.

Т а б л и ц а 5.6 – Стоимость устанавливаемого оборудования

Наименование оборудования	Цена, р.	Транспортно монтажные работы (10 %), р.	Общая стоимость, р.
Роторная сушилка	1250000	125000	1375000

Производительность старого аппарата и новой установки соответственно составляет:

$$B_1 = 0,12 \times 7,5 \times 460 = 414 \text{ т/год};$$

$$B_2 = 0,16 \times 7,5 \times 460 = 552 \text{ т/год},$$

где 7,5 – время работы в смену, ч; 460 – количество смен в году.

Коэффициент учета роста производительности оборудования:

$$B_1/B_2 = 552/414 = 1,33$$

Капиталовложения при внедрении проекта:

$$K = 1534500 - 1375000 = 159500.$$

Стоимость 1 м³ зданий овощесушильного завода – 35000 р.

Базовый вариант:

$$\text{Сушилка Г4-КСК-15: } 35000 \times (7,6 + 2) \times (2,4 + 2) \times 6 = 8870400.$$

Проектируемый вариант:

Роторная сушилка:

$$35000 \times (4 + 2) \times (4 + 2) \times 6 = 7560000 \text{ р.}$$

Сопутствующие капитальные вложения (K_1 и K_2) включают в себя транспортно-монтажные расходы и стоимость производственных зданий

Базовый вариант: $K_1 = 139400 + 8870400 = 9009800 \text{ р.}$

Проектируемый вариант: $K_2 = 125000 + 7560000 = 7685000 \text{ р.}$

5.6.2 Расчет эксплуатационных затрат

Эксплуатационные затраты включают: затраты на электроэнергию; расходы на текущий ремонт и содержание оборудования; расходы на содержание рабочей силы; амортизационные отчисления на капитальный ремонт оборудования; текущий ремонт и содержание здания; расходы на амортизацию.

1) Расходы на содержание рабочей силы.

В стандартном варианте предусмотрена установка пяти сушилок Г4-КСК-15, которые обслуживаются тремя сушильщиками третьего разряда и одним мойщиком второго разряда:

$$0,6 \times 112,5 \times 8 \times 460 \times 3 = 745200 \text{ р.}$$

$$0,2 \times 112,3 \times 8 \times 460 \times 1 = 82652,8 \text{ р.}$$

Общие затраты на содержание рабочей силы с учетом страховых платежей:

$$745200 \times 1,34 + 82652,8 \times 1,34 = 1109322,75 \text{ р.}$$

В проектируемом варианте на обслуживание роторной сушилки предусмотрен один оператор четвертого разряда:

$$1 \times 156,25 \times 8 \times 460 \times 1 = 575000 \text{ р.,}$$

С учетом страховых платежей: $575000 \times 1,34 = 770500 \text{ р.,}$

где 112,3; 112,5; 156,25 – часовая зарплата рабочего соответственно II, III, IV разрядов с учетом основной, дополнительной зарплат, премий и расходов по охране труда, р.

2) Затраты на электроэнергию.

Затраты на электроэнергию приведены в таблице 5.7.

Т а б л и ц а 5.7 – 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 Г4-КСК-15	1,5	7,5	460	0,85	4,65	20454,19
Калориферы	4,0	7,5	460	0,85		54544,5
Вентилятор	0,8	7,5	460			12834
Всего	-	-	-	-	-	87832,69
2 Новое:						
Роторная сушилка	2	7,5	460	0,85	4,65	27272,25
Калориферы	3,0	7,5	460	0,85		40908,38
Вентиляторы	1	7,5	460			16042,5
Парогенератор	5	3,5	460	0,5		18716,25
Всего	-	-	-	-	-	102939,38

3) Отчисления амортизационные на капремонт оборудования.

Для пищевых концентратной промышленности норма амортизационных отчислений для капитального ремонта оборудования равна 10 %.

Текущий вариант: $1534500 \times 0,10 = 153450$ р.

Предлагаемый вариант: $1375000 \times 0,10 = 137500$ р.

4) Расходы на содержание оборудования и текущий ремонт.

Норма расхода на содержание оборудования и текущий ремонт будет составлять 6 %.

Текущий вариант: $1534500 \times 0,06 = 92070$ р.

Предлагаемый вариант: $1375000 \times 0,06 = 82500$ р.

5) Расходы на содержание, текущий ремонт здания и амортизацию.

Норма расхода: $2,4 + 2,0 = 4,4$ %.

Текущий вариант: $8870400 \times 0,044 = 390297,6$ р.

Предлагаемый вариант: $7560000 \times 0,044 = 332640$ р.

Экономия на текущие затраты при реализации проекта

В таблице 5.8 приведены эксплуатационные затраты при эксплуатации текущего и предлагаемого оборудования.

Т а б л и ц а 5.8 – Эксплуатационные затраты

Статьи затрат	Текущий вариант	Предлагаемый вариант	Результат, снижение(-), увеличение(+)
1 Расходы на содержание рабочей силы	1109322,75	770500	- 338822,75
2 Затраты на электроэнергию	87832,69	102939,38	+ 15106,69
3 Амортизационные отчисления на капремонт оборудования	153450	137500	- 15950
4 Расходы на текущий ремонт и содержание оборудования	92070	82500	- 9570
5 Расходы на содержание, текущий ремонт зданий, амортизацию	390297,6	332640	- 57657,6
Итого	1832973,04	1426079,38	- 406893,66

По затратам электроэнергии предлагаемый проект незначительно превышает существующий:

$$102939,38 - 87832,69 = 15106,69 \text{ р./год};$$

Однако предлагаемый проект экономичен по остальным показателям. Так, экономия по расходу на содержание рабочей силы:

$$1109322,75 - 770500 = 338822,75 \text{ р./год.}$$

Общая экономия:

$$\mathcal{E}_T = 338822,75 - 15106,69 + 15950 + 9570 + 57657,6 = 406893,66 \text{ р./год.}$$

5.6.3. Расчет экономических показателей

Рентабельность продукции:

$$P = (\Pi / C) \times 100 \%,$$

где $\Pi = Ц - С$ – прибыль, р.; $Ц$ – цена продукции, р. (предполагается, что цена готовой продукции ($Ц$) будет составлять 850 р./кг); $С$ – себестоимость, р.

До внедрения проекта рентабельность продукции составляла:

$$P = ((850 - 740)/740) \times 100 = 14,87 \%.$$

После внедрения проекта рентабельность продукции составит:

$$P = ((850 - 662,3)/662,3) \times 100 = 28,34 \%.$$

Рентабельность увеличится на 13,47 %.

До реализации проекта себестоимость продукции составляла 740 р./кг, на переменные расходы при этом приходилось 55 % – 407 р./кг., постоянные – 45 % – 333 р.

Соотношение переменных затрат до и после реализации проекта составит:

$$(770500 + 102939,38) / (1109322,75 + 87832,69) = 0,73$$

В итоге, при сохранении цены – 850 р./кг, себестоимость продукции после реализации предлагаемого проекта составит 662,3 р./кг. Данное снижение обусловливается сокращением доли амортизационных отчислений в постоянных расходах – 2,7 р./кг. и переменных издержек на 10,5 %.

Эффективность капитальных вложений проекта характеризуется соотношением получаемого эффекта (от условно-постоянных расходов и снижения затрат) и капитальных вложений в проект:

$$\text{Э}_{\text{КВ}} = (2700 * 414 + 406893,66) / 153450 = 9,93 \text{ р.}$$

Срок окупаемости при этом равен:

$$T_{\text{ОК}} = 153450 / (2700 * 414 + 406893,66) = 0,10 \text{ года} = 1 \text{ месяц.}$$

Результаты реализации проекта приведены в таблице 5.9.

Т а б л и ц а 5.9 – Результаты реализации проекта

Наименование показателя	Величина показателя		Результат снижение (-) увеличение (+)
	до внедрения	после внедрения	
1. Объемы производства, т/год	414,00	552	+138
2. Цена реализации, р./кг	850,00	850,0	-
3. Себестоимость, р./кг	740	662,3	-77,7
4. Стоимость реализованной продукции, тыс. р.	351900,00	469200,00	+117300,00
5. Полная себестоимость продукции, тыс. р.	306360,00	365589,60	+59229,60
6. Прибыль от реализации продукции, тыс. р.	45540,00	103611,00	+58071,00
7. Численность персонала, чел.	4	1	-3
8. Производительность труда, тыс. р.	87975,00	469200,00	+381225,00
9. Стоимость активных фондов, р.	1534500,00	1375000,00	-159500,00
10. Фондоотдача активной части фондов, р./р.	0,07	0,10	+0,03
11. Экономия эксплуатационных затрат, р.	-	-	-406893,23
12. Рентабельность продукции, %	14,87	28,34	+13,47
13. Эффективность капитальных вложений, р./р.	-	-	9,93
14. Срок окупаемости проекта, мес.	-	-	1

Подводя итоги, определенные экономические показатели, показывают целесообразность использования нового оборудования – замены используемой сушилки Г4-КСК-15 роторной сушилкой.

Экономическая эффективность составит 9,93 р. на рубль капитальных вложений, тем самым позволив окупить затраты на модернизацию за один месяц. Более того, будет повышено качество продукции, улучшены условия и безопасность труда обслуживающего персонала.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Изучены каштаны и орехи фундук как объекты исследования; были систематизированы полученные данные, в результате чего выявлены полезные свойства данного сырья и значительный спрос на него (удовлетворяется лишь 1/3 потребностей) в пищевой промышленности.

2. Определены теплофизические характеристики орехов фундук и каштанов методом нестационарного теплового режима для интервала температур 293...353 К. Выявлено, что с повышением температуры коэффициенты теплопроводности и температуропроводности, а также удельная теплоемкость растительного сырья увеличиваются.

3. Изучены кинетические и гидродинамические закономерности процесса обжарки растительного сырья перегретым паром при температуре теплоносителя 403...493 К и 0,35...2 м/с. Исследовано, что процесс обжарки идет преимущественно в периоде убывающей скорости сушки. Разработаны ступенчатые режимы обжарки растительного сырья, предусматривающие повышение температуры теплоносителя и снижение скорости теплоносителя в процессе обжарки.

4. Проведен термический анализ каштанов и орехов фундук на комплексном термоанализаторе фирмы «Mettler-Toledo», выявлены формы связи влаги в продукте. Определены зоны испарения влаги различных форм связи.

5. Разработана математическая модель обжарки растительного сырья перегретым паром, которая позволяет определить поля влагосодержания и температуры по высоте слоя обжариваемого продукта. Среднеквадратичная погрешность не превышала 9,0 %.

6. Определены физико-химические и органолептические характеристики полученного обжаренного продукта. Установлено их соответствие гигиеническим требованиям к качеству и безопасности.

7. Проведены инженерные расчеты оборудования для предлагаемого процесса обжарки, разработана конструкция обжарочного аппарата и способ получения

обжаренного растительного сырья. Определены технические параметры обжарочного аппарата, легшие в основу эксергетического анализа.

8. Выполнен эксергетический анализ. Полученный эксергетический КПД равен 12,20 %, что на 7,62 % выше, чем при использовании технологии-прототипа, что говорит о повышении степени термодинамического совершенства системы.

9. Разработана конструкция обжарочного аппарата и способа обжарки растительного сырья. Продан патент № 2520752 на обжарочный аппарат ОАО «Всероссийскому научно-исследовательскому институту комбикормовой промышленности».

10. Проведен тепловой и экономический расчет внедрения разработанного обжарочного аппарата. Эффективность экономических вложений составит 9,93 р. на рубль капитальных вложений, что позволит окупить затраты на модернизацию за один месяц.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Аэров, М. Э.** Аппараты со стационарным зернистым слоем. Гидравлические и тепловые основы работы [Текст] / М. Э. Аэров, О. М. Тодес, Д. А. Наринский. – Л.: Химия, 1979. – 176 с.
2. **Богословский, С. В.** Физические свойства газов и жидкостей [Текст] / С. В. Богословский. – СПб.: СПбГУАП, 2001. – 73 с.
3. **Бродянский, В. М.** Эксергетический метод и его приложения [Текст] / В. М. Бродянский, В. Фратшер, К. Михалек. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 287 с.
4. **Броунштейн, Б. И.** Гидродинамика, массо- и теплообмен в дисперсных системах [Текст] / Б. И. Броунштейн, Г. А. Фишбейн. – Л.: Химия, 1977. – 279 с.
5. Большая энциклопедия лекарственных растений [Текст]. – М.: Издательский дом «АНС», 2006. – 960 с.
6. **Буглак, А. В.** Интенсификация процесса обжарки сыпучих пищевых материалов [Текст] / А. В. Буглак, В. А. Шуляк // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. науч.-техн. конф.: в 3 ч. – Могилев: Бел.-Рос. ун-т, 2007, ч. 1. – С. 113.
7. **Буглак, А. В.** Создание новой конструкции обжарочного аппарата для тепловой обработки сыпучих пищевых материалов [Текст] / А. В. Буглак, В. А. Шуляк // Тез. докл. VI Междунар. научн.-техн. конф. – Могилев: УО МГУП, 2007. – С. 15-17.
8. Виды каштанов и их применение [Электронный ресурс]
http://www.technoshop.ru/list/all_1/tag_659_1/topic_311/
9. Влияние температуры сушки на физико-химические свойства сушеных и регидратированных каштанов (*castanea sativa*) [Текст] / РЖ 19Р-1. Химия и технология пищевых продуктов. 2006. – № 1. – С. 58-65.
10. **Вукалович, М. П.** Теплофизические свойства воды и водяного пара [Текст] / М. П. Вукалович. – М.: Машиностроение, 1967. – 160 с.

11. 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.
12. **Гинзбург, А. С.** Массовлагообменные характеристики пищевых продуктов [Текст] / А. С. Гинзбург, И. М. Савина. – М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1982. – 280 с.
13. **Гинзбург, А. С.** Расчет и проектирование сушильных установок пищевой промышленности [Текст] / А. С. Гинзбург. – М.: Агропромиздат, 1985. – 336 с.
14. **Гинзбург, А. С.** Теплофизические характеристики пищевых продуктов: Справочник [Текст] / А. С. Гинзбург, М. А. Громов, Г. И. Красовская. – М.: Агропромиздат, 1990. – 287 с.
15. **ГОСТ 16525-70** Орехи каштана съедобного [Текст]. – Введ. 01.07.1971. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 1971. – 5 с.
16. **ГОСТ 16834-81** Орехи фундук [Текст]. – Введ. 01.07.1982. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 1982. – 7 с.
17. **Грачев, Ю. П.** Моделирование и оптимизация тепло- и массообменных процессов пищевых производств [Текст] / Ю.П. Грачев, А. К. Тубольцев, В. К. Тубольцев. – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1984. – 216 с.
18. **Губанов, И. А.** Энциклопедия природы России. Пищевые растения России [Текст] / И. А. Губанов. – М.: ABF, 1996. – 556 с.
19. **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.
20. **Добкин, В. М.** Системный анализ в управлении [Текст] / В. М. Добкин. – М.: Химия, 1984. – 224 с.
21. **Дроздова, Т. М.** Физиология питания [Текст] / Т. М. Дроздова, П. Е. Влощинский, В. М. Позняковский. – Новосибирск: Сибирское университетское издательство, 2007. – 352 с.

22. **Егорова Л. С.**, Кандаурова А. М. Тест-определение нитрата в пищевых продуктах [Текст] / Л. С. Егорова., А. М. Кандаурова // Известия Алтайского государственного университета. – 2010. - №3. – С. 147 -150.
23. **Есимова О. А.** Фотометрическое определение аминокислот в растительном сырье / О.А. Есимова [и др.] // Химия природных соединений. — 1991. — №3. — С. 443-444.
24. **Идельчик, И. Е.** Аэродинамика технологических аппаратов: (подвод, отвод и распределение потока по сечению аппаратов) [Текст] / И. Е. Идельчик. – М.: Машиностроение, 1983. – 351 с.
25. **Калашников, Г. В.** Ресурсосберегающие технологии пищевых концентратов [Текст] / Г. В. Калашников, А. Н. Остриков. – Воронеж: ВГУ, 2001. – 355 с.
26. **Кафаров, В. В.** Системный анализ процессов химической технологии: Энтропийный и вариационный методы неравновесной термодинамики в задачах химической технологии [Текст] / В. В. Кафаров и др. – М.: Наука, 1988. – 366 с.
27. **Ковальская, Л. П.** Технология пищевых производств [Текст] / Л. П. Ковальская, Г. М. Мелькина, Н. Н. Шебершнева и др.; Под ред. Л. П. Ковальской. – М.: Агропромиздат, 1988. – 286 с.
28. Каштан благородный [Электронный ресурс]
<http://www.floraprice.ru/articles/sad/kashtan-blagorodnyj.html>
29. **Кондратов, А. П.** Основы физического эксперимента и математическая обработка результатов измерений [Текст] / А. П. Кондратов. – М.: Атомиздат, 1977. – 196 с.
30. **Котова, Д. Л.** Термический анализ ионообменных материалов [Текст] / Д. Л. Котова, В. Ф. Селеменев. – М.: Наука, 2002. – 156 с.
31. Пищевые добавки из растительного сырья: [Электронный ресурс].
URL: <http://www.znaytovar.ru/new925.html>
32. **Куцов, С. В.** Научное обеспечение и разработка способа обжарки овса перегретым паром атмосферного давления [Текст]: автореф. дисс. канд. техн. наук: 05.18.12. – Воронеж: ВГТА, 2007. – 19 с.

33. **Кучменко, Т.А.** Инновационные решения в аналитическом контроле [Текст]: учеб. пособие / Т.А. Кучменко. – Воронеж. гос. технол. акад., ООО «СенТех». – Воронеж, 2009. – 252 с.
34. **Кучменко, Т.А.** Контроль качества и безопасности пищевых продуктов, сырья [Текст]: лабораторный практикум: учеб. пособие / Т. А. Кучменко, Р. П. Лисицкая, П. Т. Суханов, Ю. А. Асанова, Л. А. Харитоновна. – Воронеж. гос. технол. акад., ООО «СенТех». – Воронеж, 2010. – 116 с.
35. **Лыков, А. В.** Тепломассообмен [Текст] / А. В. Лыков. – М.: Энергия, 1978. – 479 с.
36. **Лыков, А. В.** Теория сушки [Текст] / А. В. Лыков. – М.: Энергия, 1968. – 470 с.
37. Машины и аппараты пищевых производств. В 3 кн. [Текст] / С. Т. Антипов, И. Т. Кретов, А. Н. Остриков и др.; Под ред. акад. РАСХН В. А. Панфилова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: КолосС, 2009. – 610 с.
38. **Муштаев, В. И.** Сушка дисперсных материалов [Текст] / В. И. Муштаев, В. М. Ульянов. – М.: Химия, 1988. – 351 с.
39. **Нечаев, А.П.** Пищевая химия [Текст] / А. П. Нечаев С.-Пб.: Гиорд, 2001. – 581 с.
40. **Нечаев, А. П.** Технологии пищевых производств [Текст] / А. П. Нечаев, И. С. Шуб, О. М. Аношина и др. – М.: КолосС, 2005. – 768 с.
41. **Никель, С. А.** Обжарочный аппарат непрерывного действия [Текст] / С. А. Никель // Пищевая промышленность. – 2002. – № 8. – С. 22.
42. **Никель, С. А.** Повышение эффективности процесса тепловой обработки какао-бобов и арахиса: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Воронежская государственная технологическая академия, Воронеж, 2004
43. Обжарочный аппарат барабанного типа CTR-3000 / CTR-1500 [Электронный ресурс]. URL: http://www.neuhaus-neotec.de/kaffee/_files/NN_57-Trommelroester_RU.pdf

44. Оборудования и решения. Mettler-Toledo [Электронный ресурс]. URL: <http://ru.mt.com/ru/ru/home.html>

45. **Ольховая, Л. П.** Технология переработки сырья растительного происхождения : учеб. пособие [Текст] / Л. П. Ольховая, А. А. Кушнирук ; Федер. агентство по рыболовству, Дальневост. гос. тех. ун-т. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2009. – 111 с.

46. Орех фундук [Электронный ресурс] <http://home.biz.ua/nuts-king.php>

47. **Орлов, А. И.** Нечисловая статистика [Текст] / А. И. Орлов. – М.: "МЗ-Пресс", 2004. – 516 с.

48. **Остапчук, Н. В.** Основы математического моделирования процессов пищевых производств [Текст] / Н. В. Остапчук. – Киев: Выща школа, 1991. – 368 с.

49. **Остриков, А. Н.** Энергосберегающие технологии и оборудование для сушки пищевого сырья [Текст] / А. Н. Остриков, И. Т. Кретов, А. А. Шевцов, В. Е. Добромиров. – Воронеж. гос. технол. акад. Воронеж, 1998. – 344 с.

50. **Остриков А.Н.** Обжарка кофе перегретым паром / А.Н.Остриков, А.А.Шевцов, В.М.Кравченко, А.Н.Зотов: Воронеж, гос. технол. акад. Воронеж. 2003. - 174 с.

51. **Панфилов, В. А.** Технологические линии пищевых производств (теория технологического потока): Учеб. пособие [Текст] / В. А. Панфилов. – М.: Колос, 1993. – 288 с.

52. **Пат. 10683 Респ. Беларусь, МПК⁷ А 23 N 12/08.** Обжарочный аппарат [Текст] /: А.В. Буглак, В.А. Шуляк; заявитель и патентообладатель УО МГУП – №20060318; заявл. 10.04.2006; опубл. 26.11.2007 // Аіфійны бюл. /Нац. цэнтр інтэлектуал уласнасці. – 2007. – № 3.

53. **Пат. 17514 Респ. Беларусь, МПК⁷ А 23 N 12/08.** Устройство для обжарки зерна [Текст] / Груданов В. Я., Поздняков В. М., Эбиенфа И. П, Бренч А. А.; заявитель и патентообладатель Белорусский государственный аграрный тех-

нический университет. - № 20110425; Заявл. 06.04.2011; опубл. 30.12.2012 // Национальный центр интеллектуальной собственности. – 2012. - № 2.

54. Пат. **18619 Респ. Беларусь, МПК⁷ А 23 N 12/10**. Обжарочный аппарат шахтного типа [Текст] / Новикова Н. А., Новиков А. И.; заявитель и патентообладатель Могилевский государственный университет продовольствия. - № 20120201; Заявл. 13.02.2012; опубл. 30.10.2013 // Национальный центр интеллектуальной собственности. – 2013. - №3.

55. Пат. **2267938 Российская Федерация, МПК⁷ А 23 F 5/04, 3/06, В 26 В 15/00**. Обжарочный аппарат [Текст] / Шевцов А. А., Остриков А. Н., Шамшина И. В., Куцов С. В.; заявитель и патентообладатель Воронеж. гос. технол. акад. – № 2004130340/13; Заявл. 15.10.2004; Опубл. 20.01.2006, Бюл. 2. // Изобретения. Полезные модели. – 2006. – № 2.

56. Пат. **2350865 Российская Федерация, МКИ⁷ F 26 В 17/10**. Сушилка [Текст] / Шевцов А.А., Острикова Е.А., Крячко А. В.; заявитель и патентообладатель Воронеж. гос. технол. акад. - № 2007126667/06; Заявлено 12.07.2007; Опубл. 27.03.2009; Бюл. № 9//Открытия. Изобретения. – 2008. – № 9.

57. Пат. **2544377 Российская Федерация, МКИ⁷ А 23L 1/01**. Линия производства обжаренных пищевых продуктов из ядер орехов и семян масличных культур [Текст] / Василенко В. Н., Фролова Л. Н., Копылов М. В., Драган И. В., Мошкина С. В.; заявитель и патентообладатель Воронеж. гос. унив. инж. техн. - № 2013150689/13; Заявлено 14.11.2013; Опубл. 20.03.2015; Бюл. № 8//Открытия. Изобретения. – 2015. – № 8.

58. **Пономарев, А.В.** Анализ термодинамической эффективности технологии комбикормов [Текст] / А.В. Пономарев, А.А. Шевцов, Л.И. Лыткина // Материалы III Международной научно-технической конференции «Инновационные технологии и оборудование для пищевой промышленности (приоритеты развития)». – Воронеж: ВГТА, 2009. – Т. 2. – С. 319-321.

59. Процессы и аппараты пищевых производств [Текст] / А. Н. Остриков, Ю. В. Красовицкий, А. А. Шевцов [и др.]: под ред. А.Н. Острикова. – С-Пб.: ГИОРД, 2007. – 704 с.

60. **Романков, П. Г.** Гидромеханические процессы химической технологии. – 3-е изд., перераб. [Текст] / П. Г. Романков, М. И. Курочкина. – Л.: Химия, 1982. – 288 с.

61. **Сажин, Б.С.**, Эксергетический метод в химической технологии [Текст] Б.С. Сажин, А.П. Булеков. – М.: Химия, 1992. – 208 с.

62. **Сарафанова, Л. А.** Современные пищевые ингредиенты. Особенности применения [Текст] / Л. А. Сарафанова. – СПб.: Профессия, 2009. – 208 с.

63. **Самарский, А. А.** Численные методы [Текст] / А. А. Самарский, А. В. Гулин. – М.: Наука, 1989. – 432 с.

64. **Соколов, В. П.** Экономика и организация производства на предприятиях пищевой промышленности [Текст]: учеб. пособие / Воронеж, гос. технол. академия; сост. В. П. Соколов, О. Ю. Коломыцева, А. Г. Волков. – Воронеж: ВГТА, 2006. – 120 с.

65. Состав каштанов различных сортов из провинции Галиция (Испания) [Текст] / РЖ 19Р-1. Химия и технология пищевых продуктов. – 2006. – № 3. – С. 86-92.

66. Справочник технолога пищевого концентратного и овощесушильного производства [Текст] / В. Н. Гуляев, Н. В. Дремина, З. А. Кац / под ред. В. Н. Гуляева. – М.: Легкая и пищевая пром-ть, 1984. – 488 с.

67. **Субегго, А. М.** Квалиметрия [Текст] / А. М. Субегго. – СПб.: Изд-во «Астероин», 2002. – 288 с.

68. **Тринеева О. В.** Методы анализа витамина Е [Текст] / О. В. Тринеева // Вестник ВГУ. – 2013. - №1. – С. 212-224

69. Упаковка орехов и семян [Электронный ресурс]
<http://akvipack.ru/flow/food/nuts/>

70. **Уэндландт, У.** Термические методы анализа [Текст] / У. Уэндландт Пер. с англ. – М.: Мир, 1978. – 526 с.
71. **Хамханова, Д. Н.** Основы квалиметрии [Текст] / Д. Н. Хамханова. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2003. – 144 с.
72. **Чубик, И.А.** Справочник по теплофизическим свойствам пищевых продуктов и полуфабрикатов [Текст] / И.А. Чубик, А.М. Маслов. – М.: Пищевая промышленность, 1970. – 184 с.
73. **Шаргут, Я.** Эксергия [Текст] / Я. Шаргут, В. Петела; пер. с польского. – М.: Энергия, 1968. – 279 с.
74. **Шевцов, А. А.** Гидродинамика процесса обжарки корней цикория перегретым паром [Текст] / А. А. Шевцов, Е. А. Острикова // Известия вузов. Пищевая технология. – 2010. – № 5-6. – С. 59-61.
75. **Шевцов, А. А.** Хроматографический анализ летучих компонентов кофе, образующихся при обжарке. [Текст] / А. А. Шевцов, А. Н., Остриков, О. Б. Рудаков, И. В. Кузнецова, А. Н. Зотов // Известия вузов. Пищевая технология. – 2003. – № 1. – С. 19-21.
76. **Шуляк, В. А.** Обжарочные аппараты малой производительности [Текст] / В. А. Шуляк, А. В. Буглак // Пищевая промышленность. – 2009. – № 9. – С. 18-21.
77. **Akpınar, E. K., Bercer, Y.** Mathematical modeling and experimental study on thin layer drying of strawberry. International Journal of Food Engineering Vol. 2, Issue 1.
78. **Asiru, W.B., Raji, A.O., Igbeka, J.C. Elemo, G.N.** Mathematical Modeling of Thin Layer Dried Cashew Kernels. Official Journal of Nigerian Institute of Food Science and Technology. – 2013. – Vol. 31. – pp. 106 - 112
79. **Baehr, H. D., Stephan, K.** Heat and Mass-Transfer / Springer, Berlin, 2011. – 688 pp.
80. **Bird, R.B., Steward, W.E. & Lightfoot, E.N.** Transport Phenomena. John Wiley & Sons, New York, 2002. – 914 pp.

81. **Bottazzi, D., Milani, M., Montorsi, L.** Energy efficiency analysis in pneumatic plants for food processing. In: Proceedings of the 6th FPNI Ph.D. Symposium, West Lafayette, USA, 2010 – pp. 435-450.
82. **Bottazzi, D., Milani, M., Montorsi, L.** Thermal fluid dynamics analysis of the pneumatic system for a food processing plant. In: Proceedings of the ASME-ATIUIT Conference on Thermal and Environmental Issues in Energy Systems, Aachen, D, 2010. – pp. 315-320.
83. **Bruce, D. M.** Exposed layer barley drying, three models fitted to new data up to 1500c. *Journal of Agricultural Engineering Research* 32: 337 – 347.
84. **Demitras, C., Ayhan, T., Kaygusuz, K.** Drying behavior of hazelnuts. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 76: 559 – 564.
85. **Dhole, S.D., Chhabra, R.P., Eswaran, V.** A numerical study on the forced convection heat transfer from an isothermal and isoflux sphere in the steady symmetric flow regime. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. – 2006. Vol. 49. – pp. 984-994.
86. **Feng, Z.G., Michaelides, E. E.** A numerical study on the transient heat transfer from a sphere at high Reynolds and Peclet numbers. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. – 2000. – Vol. 43. – pp. 219-229.
87. **Fortes, M., Okos, M. R.** Non-equilibrium thermodynamics approach to heat and mass transfer in corn kernels. *Transactions of American Society of Agricultural Engineers* 22: 761 – 769.
88. **Incropera, F.P., DeWitt, D.P.** *Fundamentals and Heat and Mass Transfer*, fifth ed. John Wiley and Sons, New York., 2002. – 859 pp.
89. **Morales, R. E. M., Balparda, A., Silveira-Neto, A.** Large-eddy simulation of the combined convection around a heated rotating cylinder. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. – 1999. – Vol. 42. – pp. 941-949.
90. **Ozedimir, M., Devres, O.** Turkish hazelnuts the properties and the effects of microbiology and chemical changes on the quality. *Food Review International* 15: 309 – 333.

91. Patent 7785643 US, Int. Cl. A23L1/217; A23L1/214 Preparation method of retort roast chestnuts using far infrared ray thawing Hee Soon Cheon, CJ Cheiljedang Corp. (Seoul, KR). – Application number 11/791531. Filed: 26.07.2005. Date of Patent: 31.08.2010.

92. Probat. Roasting and plant technology: [Электронный ресурс]. URL: <http://www.probat.com/en/roasting-plant-technology/coffee/roasting.html>.

93. **Seghir-Ouali, S., Saury, D., Harmand, S., Phillipart, O., Laloy, D.** Convective heat transfer inside a rotating cylinder with an axial air flow. *International Journal of Thermal Sciences*. – 2006. – Vol. 45. – pp. 1166-1178.

94. **Whitaker, S.** Forced convection heat transfer correlations for flow in pipes, past flat plates, single cylinders, single spheres, and flow in packed beds and tube bundles. *AIChE Journal*. – 1972. – Vol. 18. – pp. 361-371.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Химический состав свежего растительного сырья

№ п./п.	Измеряемые параметры	Ед. изм./образцы	Растительное сырье	
			Орехи фундук	Каштаны свежие
1	Общая влага	%	39,81	42,65
2	Массовая доля сырого протеина	%	14,83	8,12
3	Массовая доля крахмала	%	8,32	59,62
4	Зола	%	2,62	3,93
5	Общий сахар	%	11,38	21,18
6	Содержание NO ³⁻	мг/кг	29,93	40,11
			Минеральный состав	
7	Натрий (Na)	мг%	3,76	112,84
8	Калий (K)	мг%	702,36	199,20
9	Кальций (Ca)	мг%	158,73	359,46
10	Магний (Mg)	мг%	178,84	161,65
11	Железо (Fe)	мг%	3,86	4,36
12	Фосфор (P)	мг%	284,03	95,25
			Аминокислотный состав (незаменимые)	
13	Валин	мг/100 г	0,87	21,37
14	Изолейцин	мг/100 г	0,95	44,83
15	Лейцин	мг/100 г	1,03	-
16	Лизин	мг/100 г	0,59	-
17	Метионин + цистин	мг/100 г	69,01	69,01
18	Треонин	мг/100 г	54,08	54,08
19	Фенилаланин + тирозин	мг/100 г	1,22	-
			Содержание тяжелых металлов	
20	Ртуть (Hg)	мг/г	-	-
21	Свинец (Pb)	мг/г	-	-
22	Мышьяк (As)	мг/г	-	-
23	Кадмий (Cd)	мг/г	-	-
24	Цезий (Cs ¹³⁷)	мг/г	-	-
25	Стронций (Sr ⁹⁰)	мг/г	-	-
			Содержание пестицидов	
26	ГЧЦГ	мг/кг	-	-
27	ДДТ	мг/кг	-	-
			Микробиологические показатели	
28	КМАФАнМ	КОЕ/г	139	144
29	S. aureus	КОЕ/г	-	-
30	БГКП (колиформы)	КОЕ/г	-	-

			Витаминный состав	
31	Тиамин (В ₁)	мг%	0,426	0,293
32	Рибофлавин (В ₂)	мг%	0,095	0,365
33	Витамин Е	мг%	21,283	0,145
34	Витамин С	мг%	4,765	1504,173
35	Ниацин (РР)	мг%	2,760	0,038

Примечание: * – приведены данные по клетчатке

Техническая характеристика обжарочных аппаратов

Марка аппарата	Производительность, кг/ч	Установочная мощность, кВт
К-5	15	17,8
К-8	24	21,1
УОБ	30	4,0
АОА-30	30	20,0
СОА-50	50	8,0
К-20	55	17,8
АОА-70	70	24,9
СОАУ-100	80	25
К-30	95	21,1
ЖЖС	100	13,1
БОС-100	100	20,7
ОСМ-100	110	23,5
К-60	120	25,6
АО-100	150	23,1
ЦОА	150	15,0
АОА-150	150	33,9
БОС-250	250	33,0
ПРОВАТ KR-300	700	12,0
«Сирокко»	800	13,0
СОА	1000	48,5
ТНА-240	1500	42,0
СВИ-1000	250	19,1

Установка для определения коэффициента внешнего трения и методика проведения эксперимента



Рисунок В-1 – Установка для определения коэффициента внешнего трения

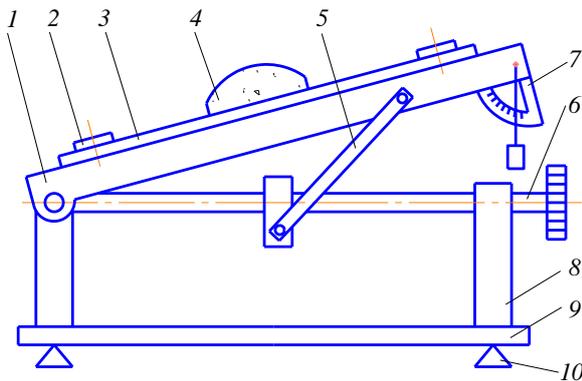


Рисунок В-2 – Схема установки для определения коэффициента внешнего трения: 1 – поворотный стол; 2 – прижимная планка; 3 – рабочая пластина; 4 – исследуемый продукт; 5 – рычажный механизм; 6 – винт; 7 – угломер; 8 – опорная рама; 9 – плита; 10 – установочные винты.

Установка для определения коэффициента внешнего трения пищевых продуктов (рисунки В-1 и В-2) состоит из поворотного стола 1, на котором с помощью прижимных планок 2 крепится рабочая пластина 3, изготовленная из исследуемого фрикционного материала. На пластине располагают исследуемый пищевой продукт 4.

Поворотный стол 1 имеет возможность поворачиваться относительно горизонтальной плоскости на некоторый угол посредством рычажного механизма 5 и винта 6, снабженного штурвалом. Угол подъема поворотного стола 1 определяют по угломеру 7. Элементы установки смонтированы на опорной раме 8 и плите 9.

Перед началом эксперимента установку устанавливают по уровню. Для этого плоский уровень устанавливают на плиту 9 (рисунок В-2) параллельно каждой паре установочных винтов 10; регулировку производят этими винтами. Вращая штурвал винта 6, переводят поворотный стол 1 в горизонтальное положение.

На поверхности поворотного стола 1 располагают рабочую пластину 3,

которую затем закрепляют прижимными планками 2. На рабочую пластину 3 укладывают первый образец исследуемого пищевого продукта 4, отобранного из общей партии. Медленно вращая штурвал винта 6, посредством рычажного механизма 5, осуществляют подъем поворотного стола 1. В момент начала скольжения пищевого продукта 4 по поверхности рабочей пластины 3 подъем поворотного стола 1 прекращают.

На поворотном столе, наклоненном под углом α к горизонту, покоится продукт M с силой тяжести P (рисунок В-2). Разложим силу P на две составляющие: P_n , перпендикулярную к поворотному столу, и P_t , параллельную ему. Составляющая P_t будет стремиться сдвинуть продукт M вниз по поворотному столу, а составляющая P_n будет прижимать продукт M , вызывая противоположные движению силы трения F , которые будут пропорциональны давлению.

Назовем угол α , составляемый полным давлением с нормалью к поворотному столу, т. е. угол, на который отклоняется полное давление, определяемый соотношением $\operatorname{tg}\alpha = P_t / P_n$, углом отклонения. Далее будем увеличивать угол наклона поворотного стола, на котором покоится продукт. Тогда при некоторой величине угла наклона поворотного стола (назовем его α_{\max}) силы трения будут превзойдены, и начнется скольжение тела по поворотному столу.

Составим уравнение равновесия всех сил, действующих на продукт M , для положения поворотного стола, весьма близкого к началу его движения.

Проектируя все силы на направление поворотного стола, имеем:

$$P \sin \alpha_{\max} - P f_{\text{внешн}} \cos \alpha_{\max} = 0, \quad (\text{В-1})$$

где $f_{\text{внешн}}$ – коэффициент внешнего трения.

Получаем

$$f_{\text{внешн}} \approx \operatorname{tg} \alpha_{\max}, \quad (\text{В-2})$$

т. е. коэффициент трения равен тангенсу максимального угла наклона поворотного стола в момент начала скольжения. Назовем этот угол углом трения φ . Таким образом, имеем $f_{\text{внешн}} \approx \operatorname{tg} \alpha_{\max} = \operatorname{tg} \varphi$.

Установка для определения коэффициента внутреннего трения и методика проведения эксперимента

Экспериментальные исследования влияния влажности на коэффициент



Рисунок Г-1 – Установка для определения коэффициента внутреннего трения

внутреннего трения проводили на приборе (рисунок Г-1), схема которого представлена на рисунке Г-2.

Установка представляет собой тележку 2, на которую крепится сдвиговая ячейка 1. На ячейку 1 устанавливается матрица 3 с навеской сыпучего продукта так, чтобы она могла скользить вдоль сдвиговой

ячейки. Динамометр 4 крепят в горизонтальном направлении за опору с одной стороны, а с другой за матрицу 3 с определенной навеской продукта.

При установившемся движении тележки фиксируют показания динамометра. Сначала определяют сопротивление движению пустого ящика 3 по направляющим $a-a$ по массе гири, установленных на чашу, при котором ящик будет выведен из состояния покоя. Затем насыпают исследуемый продукт в лоток 1 до уровня направляющих $a-a$ и выравнивают его поверхность. Установив ящик в исходное положение, насыпают в него продукт слоем h . На продукт кладут пластины 4 с известной массой и на чашку добавляют гири до тех пор, пока ящик не начнет медленно двигаться. Горизонтальная сила, приложенная в плоскости движения (плоскость соприкосновения продукта в лотке 1 и ящике 3), преодолевает силу трения, появившуюся в той же плоскости от массы продукта высотой h в ящике и массы ΣG пластин 4 (рисунок Г-2).

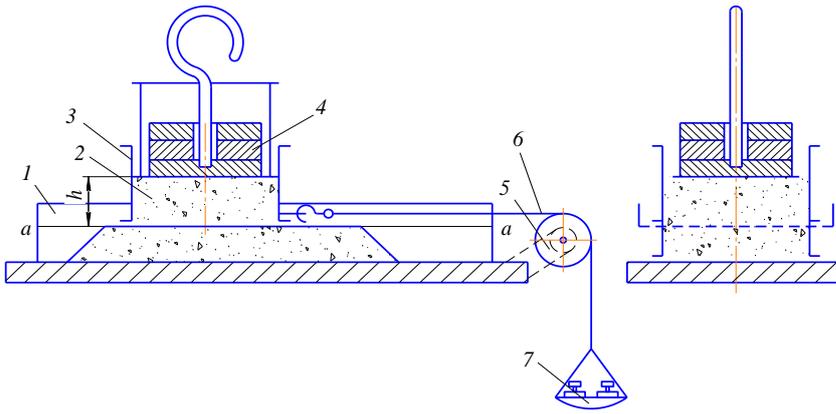


Рисунок Г-2 – Схема установки для определения коэффициента внутреннего трения: 1 – лоток; 2 – сыпучий продукт; 3 – ящик; 4 – пластины; 5 – блок; 6 – нить; 7 – чаша для гирь

Нормальные напряжения скольжения будут:

$$\sigma = \frac{\Sigma G}{\Omega} + h \gamma, \quad (\text{Д-1})$$

где ΣG – масса грузовых пластин, кг; Ω – площадь сечения ящика, см^2 ; h – высота слоя продукта в ящике между пластинами и плоскостью скольжения, см; γ – насыпная (объемная) масса продукта, $\text{кг}/\text{см}^3$ (определяется по количеству продукта в данном объеме ящика).

Предельные горизонтальные (касательные) напряжения сдвига ($\text{кг}/\text{см}^2$) будут определяться по формуле:

$$\tau = \frac{\Delta G \cdot (1 - \sqrt{2} W_{\text{бл}})}{\Omega}, \quad (\text{Г-2})$$

где ΔG – масса гирь на чаше за вычетом массы гирь при перемещении пустого ящика, кг; $W_{\text{бл}}$ – коэффициент сопротивления блока, при значительном диаметре блока (150...200 мм) и тонком шнуре можно принять равным нулю.

Величина коэффициента внутреннего трения исследуемого сыпучего продукта в покое определяется:

$$f_{\text{внутр}} \approx \text{tg } \varphi = \frac{\tau}{\sigma}, \quad (\text{Г-3})$$

Теплофизические характеристики каштанов

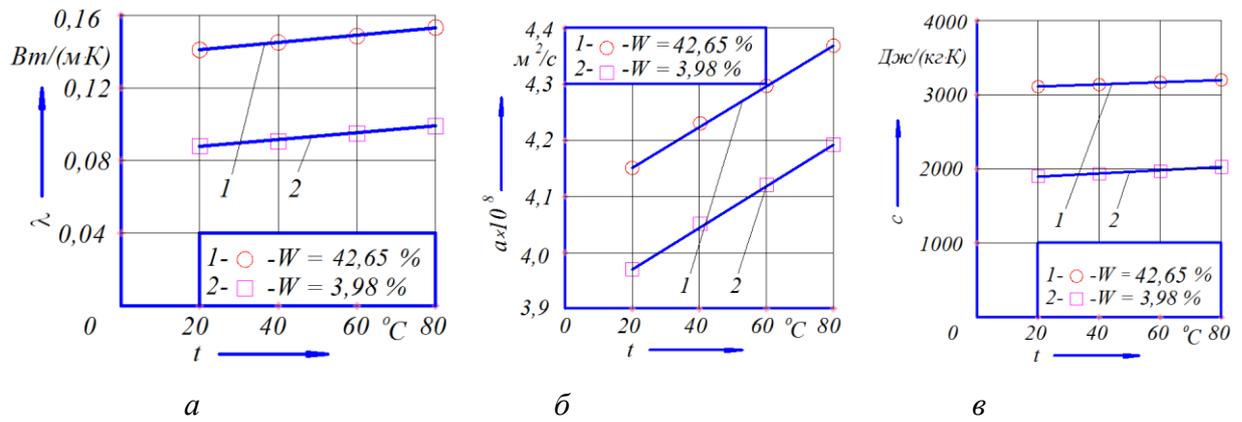


Рисунок Д-1 – Зависимости коэффициента теплопроводности (а), коэффициента температуропроводности (б), удельной теплоемкости (в) каштанов от температуры при влажности $W = 42,65 \%$ (1) и при влажности $W = 3,98 \%$ (2)

Усадка орехов фундук и каштанов в процессе обжарки

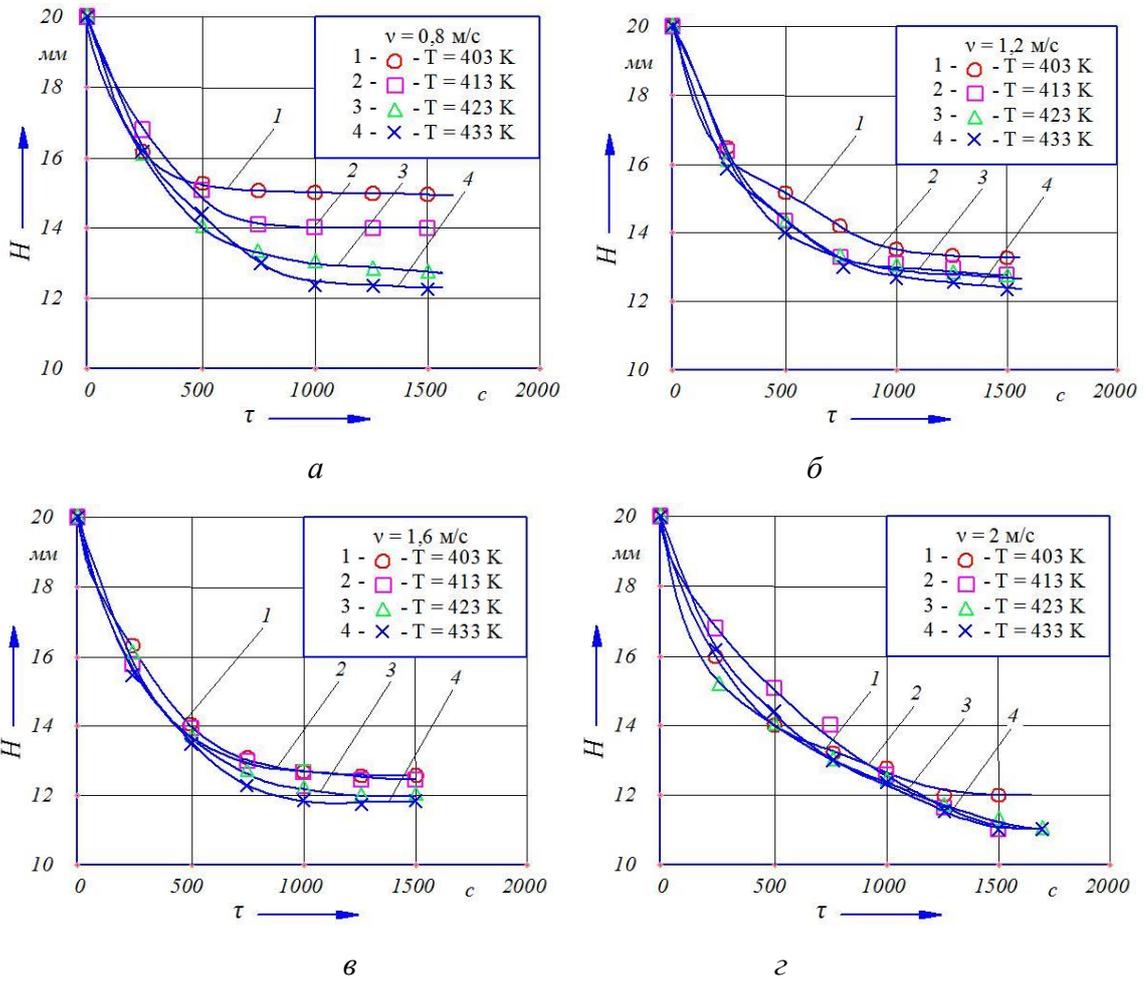
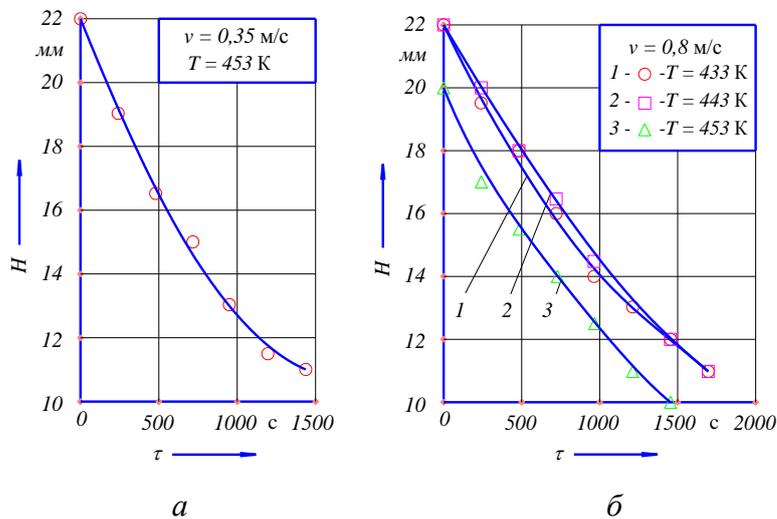


Рис. Е-1. Зависимость высоты слоя орехов фундук от времени в процессе обжарки перегретым паром при различных скоростях перегретого пара, v , м/с: а – 0,8; б – 1,2; в – 1,6; г – 2



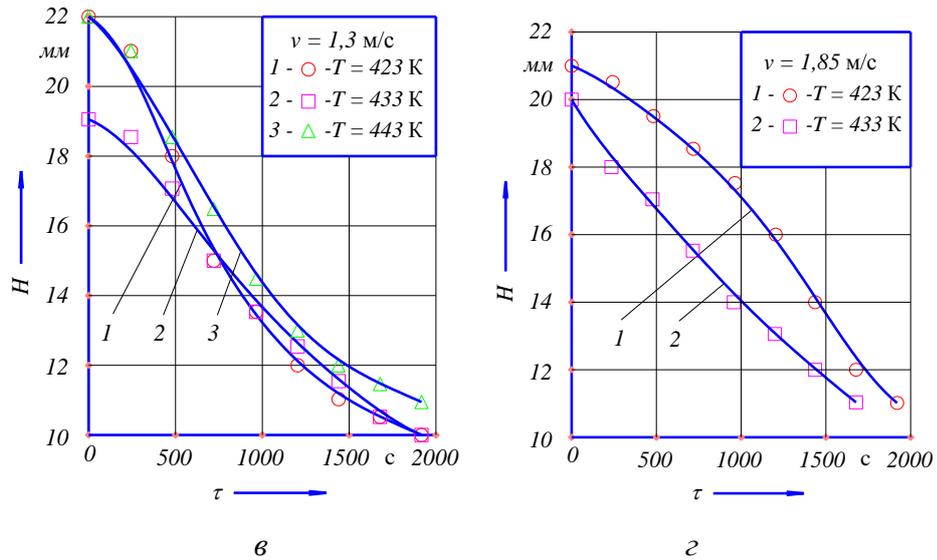


Рис. Е-2. Зависимость высоты слоя каштанов от времени в процессе обжарки перегретым паром при различных скоростях перегретого пара, v , м/с: а – 0,35; б – 0,80; в – 1,30; з – 1,85

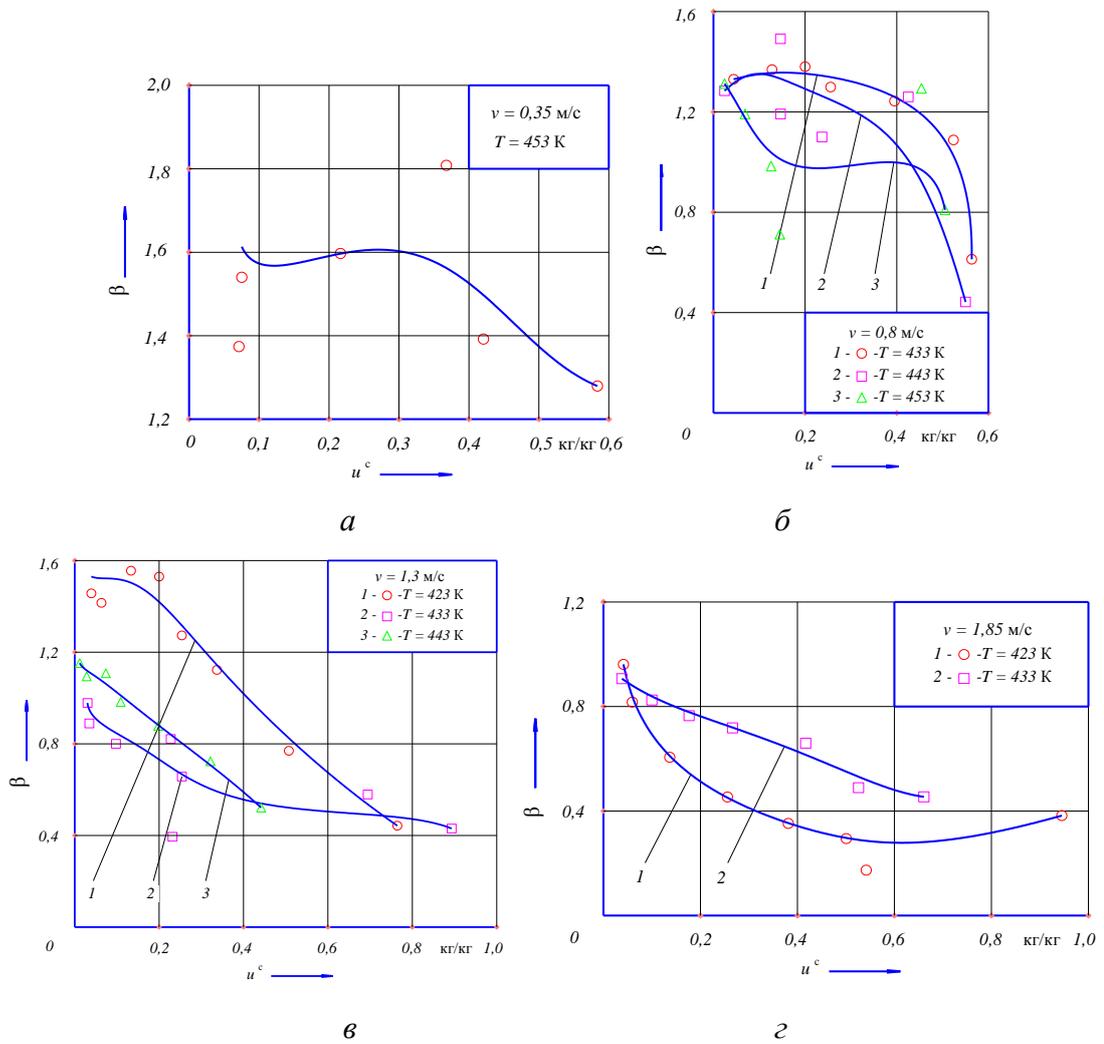


Рис. Е-3. Зависимость коэффициента объемной усадки β от влагосодержания u^c , кг/кг, в процессе обжарки каштанов перегретым паром при различных скоростях перегретого пара, v , м/с: а – 0,35; б – 0,80; в – 1,30; з – 1,85

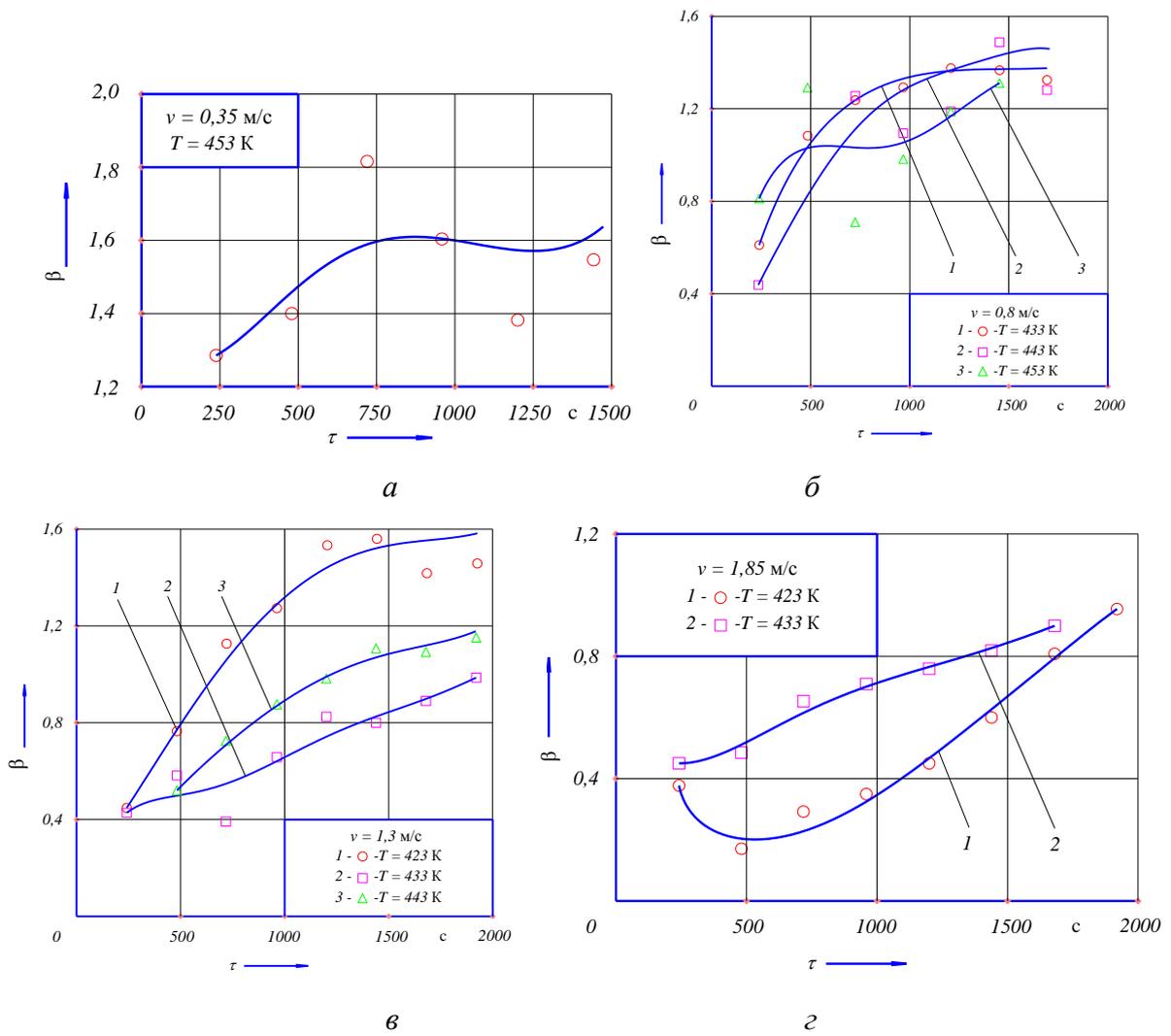


Рис. Е-4. Зависимость коэффициента объемной усадки β от времени τ , с в процессе обжарки каштанов перегретым паром при различных скоростях перегретого пара, v , м/с: а – 0,35; б – 0,80; в – 1,30; г – 1,85

Кинетические закономерности процесса обжарки каштанов

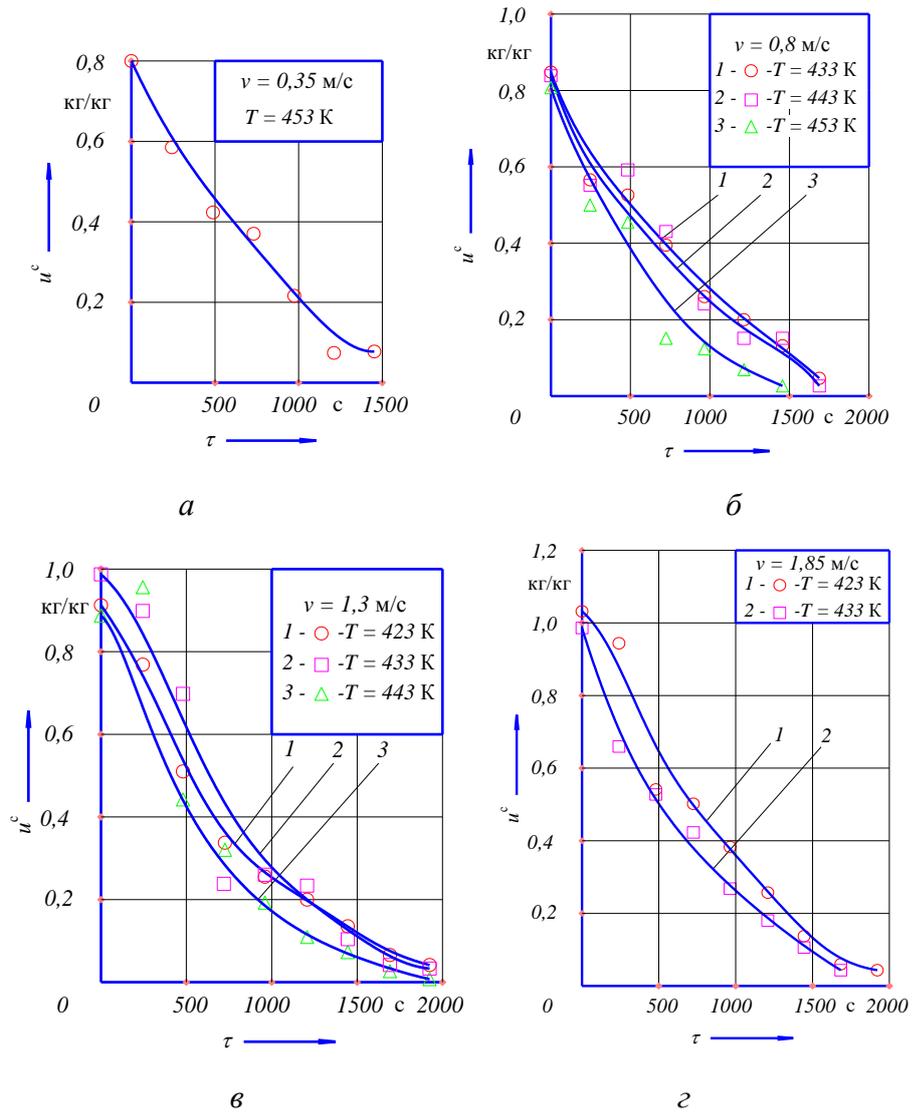
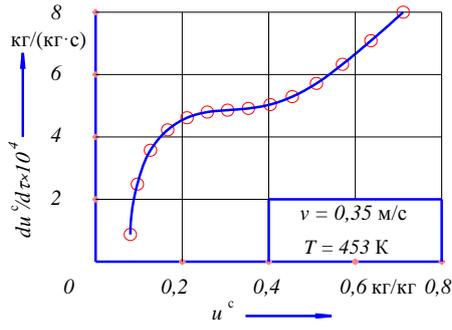
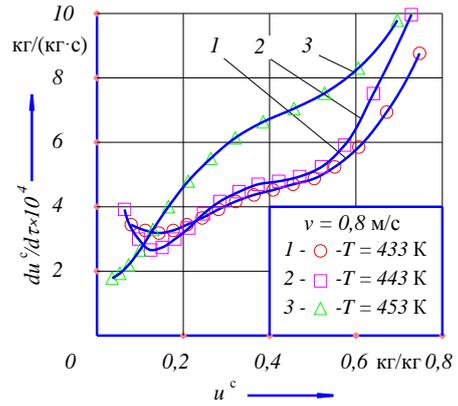


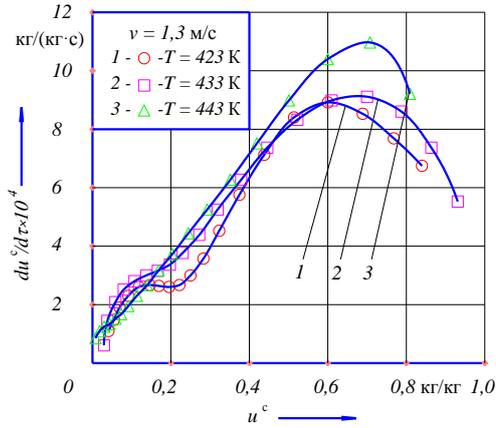
Рис. Ж-1. Кривые обжарки каштанов при различных скоростях перегретого пара, v , м/с: а – 0,35; б – 0,80; в – 1,30; г – 1,85



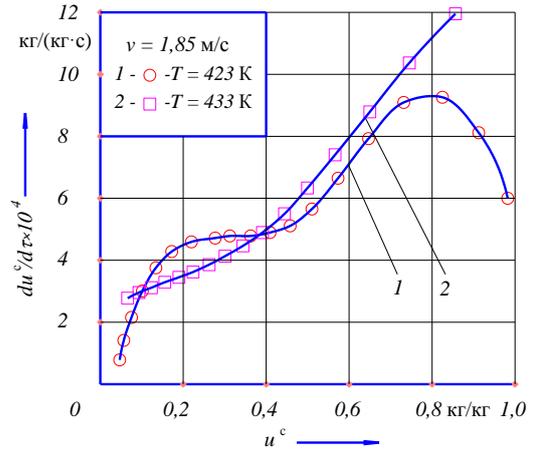
a



б

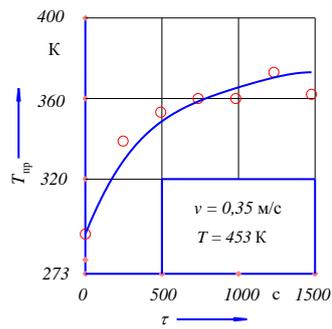


в

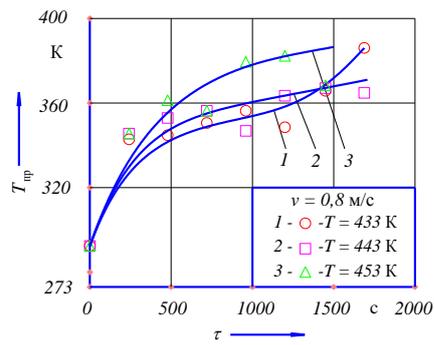


г

Рис. Ж-2. Кривые скорости обжарки каштанов при различных скоростях перегретого пара, v , м/с: *a* – 0,35; *б* – 0,80; *в* – 1,30; *г* – 1,85



a



б

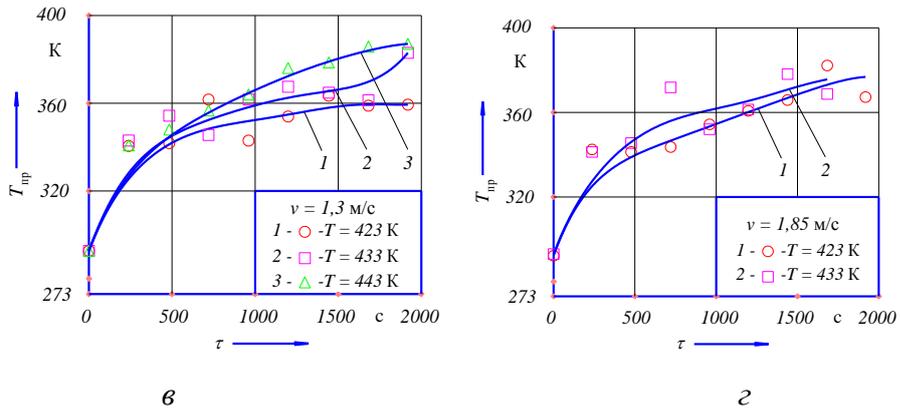


Рис. Ж-3. Термограммы каштанов при различных скоростях перегретого пара, v , м/с: а – 0,35; б – 0,80; в – 1,30; з – 1,85

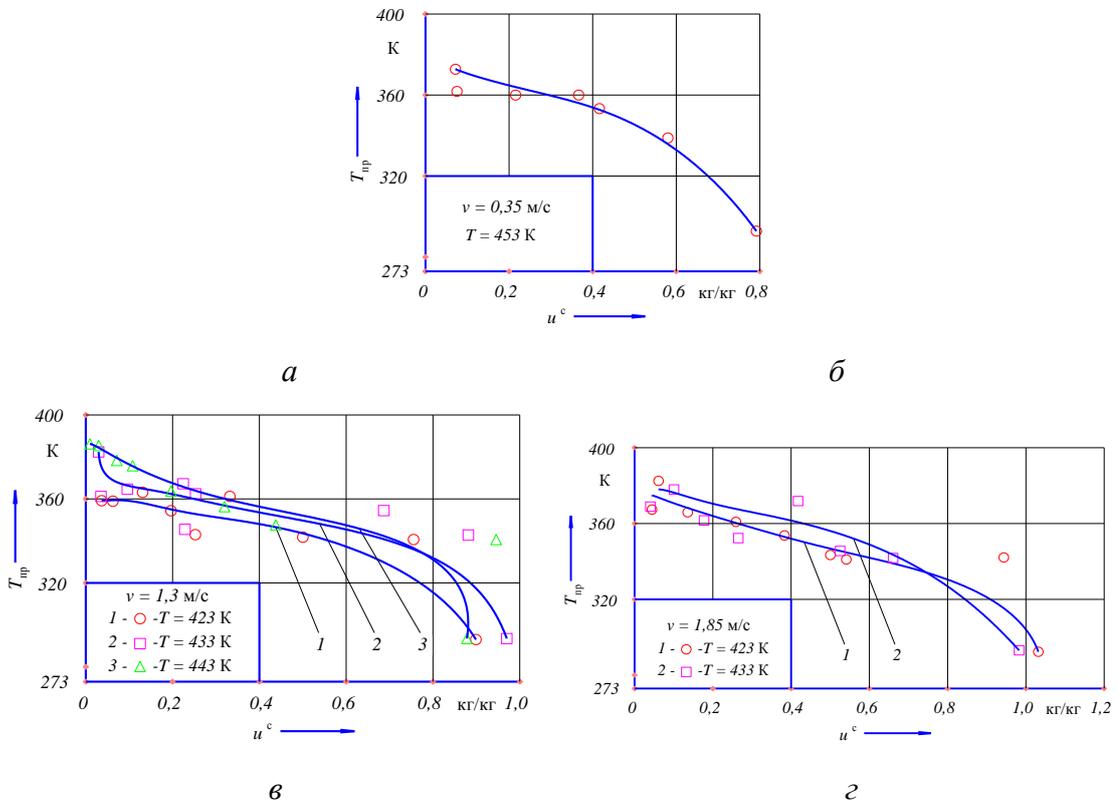


Рис. Ж-4. Температурные кривые каштанов при различных скоростях перегретого пара, v , м/с: а – 0,35; б – 0,80; в – 1,30; з – 1,85

Гидродинамические и кинетические закономерности процесса обжарки каштанов при ступенчатом режиме

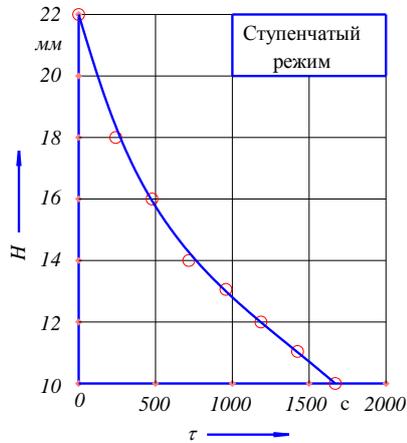


Рис. 3-1. Зависимость высоты слоя каштанов от времени в процессе обжарки перегретым паром при ступенчатом режиме

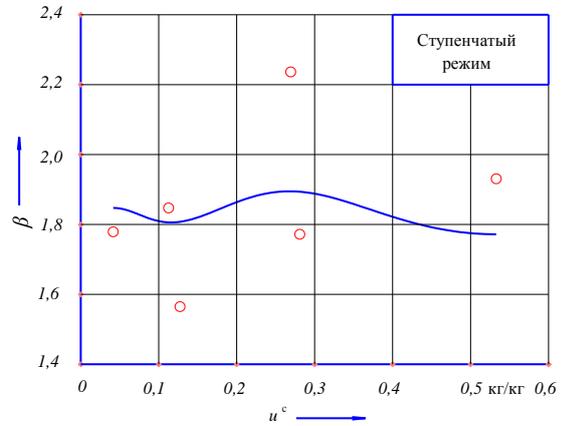


Рис. 3-2. Зависимость коэффициента объемной усадки β от влагосодержания u , кг/кг, в процессе обжарки каштанов перегретым паром при ступенчатом режиме

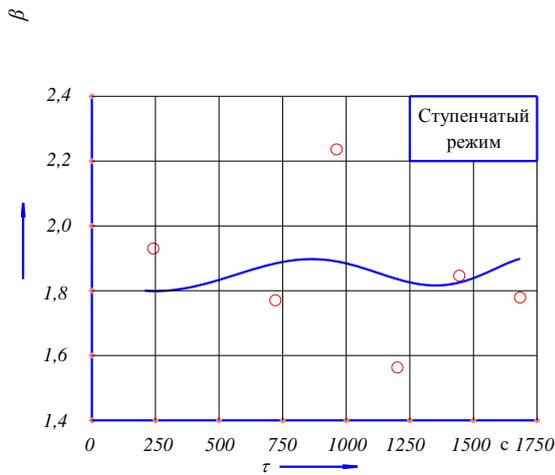


Рис. 3-3. Зависимость коэффициента объемной усадки β от времени в процессе обжарки каштанов перегретым паром при ступенчатом режиме

Математическое моделирование процесса обжарки орехов фундук перегретым паром

начальное время	$t_n := 0$	
конечное время	$t_k := 24$	
значение шага дискретизации по времени	$dt := 1$	
число интервалов разбиения по времени	$N := \frac{t_k - t_n}{dt}$	$N = 24$
значение нижней границы слоя продукта	$x_n := 0$	
значение верхней границы слоя продукта	$x_k := 0.0$	
значение шага дискретизации по координате	$dx := 0.00$	
число интервалов разбиения по координате	$X := \frac{x_k - x_n}{dx}$	$X = 10$

диапазон расчета по времени и координате

$$t_0 := t_n \quad n := 0..N - 1$$

$$x_0 := x_n \quad k := 0..X - 1$$

Определение следующего шага по времени и координате через приращение

$$t_{n+1} := t_n + dt \quad x_{k+1} := x_k + dx$$

влага, удаляемая после достижения 100 С	$u1 := 0.0$
влага, удаляемая до достижения 100 С	$u2 := 0.5$
удельная теплота парообразования	$r12 := 2256.210^3$
удельная теплопроводность абс.сух.прод.	$c0 := 2105.2$
удельная теплоемкость пара	$c1 := 202$
удельная теплоемкость воды	$c2 := 418$
температура пара	$T_{para} := 47$
влажгосодержание пара	$U_{para} := 1$
коэффициент теплоотдачи	$\alpha := 20$

```

func (param) := for n ∈ 1..N
  |
  |   un,1 ← 8·10-5·n2 - 0.0195n + 0.6823
  |   Tn,1 ← -0.0012n4 + 0.0807n3 - 1.8278n2 + 18.555n + 289.32
  |
  |   for k ∈ 1..X - 1
  |   |
  |   |   u1,k ← 0.427
  |   |   T1,k ← 293
  |   |
  |   |   for n ∈ 1..N - 1
  |   |   |
  |   |   |   for k ∈ 2..X - 1
  |   |   |   |
  |   |   |   |   c ← c0 + c1·u1 if Tn,k < 373
  |   |   |   |   c ← c0 + c2·u2 otherwise
  |   |   |   |   a ← (0.0033Tn,k + 2.0368)·10-8
  |   |   |   |   am ← 2.1·10-15·(Tn,k)3
  |   |   |   |   am1 ← 0.3·10-19·(Tn,k)3
  |   |   |   |   am2 ← 0.4·10-6
  |   |   |   |   δ ← 1.149·10-3
  |   |   |   |   amT ← am·δ
  |   |   |   |   amT1 ← am1·δ
  |   |   |   |   amT2 ← am2·δ
  |   |   |   |   A1 ← (a + am1· $\frac{r12}{c}$ )· $\frac{dt}{dx^2}$ 
  |   |   |   |   A2 ← am1· $\frac{r12}{c}$ · $\frac{dt}{dx^2}$ 
  |   |   |   |   K1 ←  $\frac{dt·am}{dx^2}$ 
  |   |   |   |   K2 ←  $\frac{dt·amT}{dx^2}$ 
  |   |   |   |   ge1 ← c1·am1 + c2·am2
  |   |   |   |   ge2 ← c1·amT1 + c2·amT2
  |   |   |   |   λ ← 0.0002Tn,k + 0.0789
  |   |   |   |   β ←  $\frac{1.437am}{0.005}$ 
  |   |   |   |   Tn+1,k ← 293· $\left[ \frac{T_{n,k}}{293} + A1·\left( \frac{T_{n,k+1}}{293} - 2·\frac{T_{n,k}}{293} + \frac{T_{n,k-1}}{293} \right) + A2·\left( \frac{u_{n,k+1}}{0.64} - 2·\frac{u_{n,k}}{0.64} + \frac{u_{n,k-1}}{0.64} \right) \dots \right]$ 
  |   |   |   |   +  $\left[ \left[ ge1·\left( \frac{u_{n,k+1}}{0.64} - \frac{u_{n,k}}{0.64} \right) + ge2·\left( \frac{T_{n,k+1}}{293} - \frac{T_{n,k}}{293} \right) \right]·\left( \frac{T_{n,k+1}}{293} - \frac{T_{n,k}}{293} \right)·\frac{dt}{dx^2}·c \right]$ 
  |   |   |   |   un+1,k ← 0.64· $\left[ \frac{u_{n,k}}{0.64} + K1·\left( \frac{u_{n,k+1}}{0.64} - 2·\frac{u_{n,k}}{0.64} + \frac{u_{n,k-1}}{0.64} \right) + K2·\left( \frac{T_{n,k+1}}{293} - 2·\frac{T_{n,k}}{293} + \frac{T_{n,k-1}}{293} \right) \right]$ 
  |   |   |   |   un+1,X ←  $\frac{\beta·dx}{am}·Upara + \left( 1 - \frac{\beta·dx}{\lambda} \right)·u_{n,k}$ 
  |   |   |   |   Tn+1,X ←  $\frac{\alpha·dx}{\lambda}·Tpara + \left( 1 - \frac{\alpha·dx}{\lambda} \right)·T_{n,k}$ 
  |   |   |   |   dx ← (2·10-6·n2 - 0.0121n + 30.8)·10-4
  |   |   |
  |   |   u if param = 1
  |   |   T if param = 2

```

Вывод массива значений влагосодержания

u := func (1)

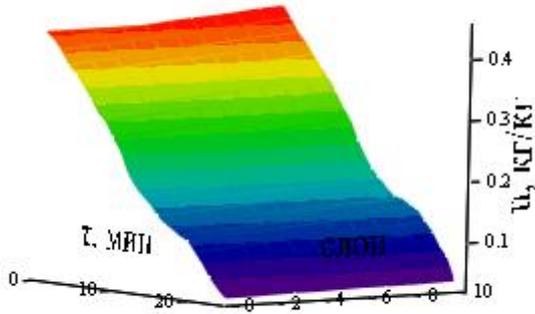
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0.427	0.427	0.427	0.427	0.427	0.427	0.427	0.427	0.427	0.427	0.427
1	0.418	0.421	0.424	0.428	0.43	0.434	0.437	0.439	0.442	0.446	0.448
2	0.401	0.404	0.406	0.409	0.412	0.415	0.418	0.421	0.424	0.428	0.431
3	0.379	0.381	0.385	0.389	0.391	0.394	0.398	0.401	0.404	0.407	0.409
4	0.366	0.369	0.371	0.375	0.377	0.379	0.382	0.385	0.389	0.392	0.395
5	0.348	0.351	0.354	0.357	0.36	0.363	0.365	0.367	0.37	0.373	0.376
6	0.329	0.333	0.336	0.339	0.341	0.344	0.347	0.35	0.353	0.356	0.358
7	0.307	0.311	0.315	0.319	0.322	0.326	0.328	0.331	0.335	0.339	0.342
8	0.294	0.297	0.301	0.303	0.306	0.31	0.312	0.315	0.316	0.319	0.321
9	0.27	0.272	0.275	0.279	0.281	0.284	0.287	0.29	0.292	0.294	0.297
10	0.249	0.253	0.256	0.258	0.26	0.265	0.267	0.269	0.273	0.276	0.279
11	0.216	0.22	0.224	0.228	0.231	0.234	0.237	0.24	0.243	0.245	0.248
12	0.195	0.198	0.199	0.201	0.206	0.208	0.211	0.214	0.217	0.22	0.223
13	0.181	0.183	0.185	0.188	0.19	0.192	0.194	0.196	0.198	0.2	0.202
14	0.169	0.171	0.173	0.175	0.177	0.179	0.181	0.183	0.185	0.187	0.189
15	0.152	0.154	0.157	0.159	0.162	0.164	0.166	0.169	0.17	0.172	0.174
16	0.141	0.143	0.145	0.146	0.148	0.15	0.152	0.154	0.156	0.158	0.162
17	0.133	0.137	0.139	0.142	0.145	0.148	0.151	0.153	0.156	0.158	0.16
18	0.124	0.127	0.13	0.132	0.135	0.137	0.14	0.142	0.145	0.148	0.151
19	0.118	0.122	0.125	0.128	0.13	0.132	0.135	0.138	0.14	0.142	0.145
20	0.1	0.103	0.107	0.11	0.112	0.115	0.118	0.12	0.123	0.125	0.128
21	0.083	0.087	0.09	0.093	0.095	0.098	0.101	0.104	0.107	0.11	0.113
22	0.062	0.065	0.067	0.069	0.072	0.075	0.078	0.081	0.084	0.086	0.09
23	0.046	0.048	0.05	0.053	0.055	0.057	0.059	0.063	0.067	0.07	0.073
24	0.033	0.033	0.034	0.035	0.035	0.036	0.037	0.037	0.037	0.038	0.039

Вывод массива значений температуры

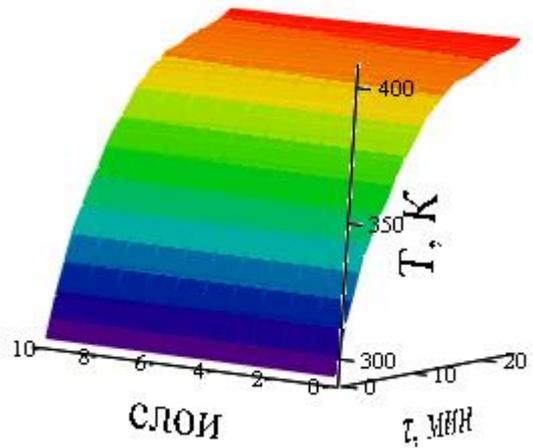
T := func (2)

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293
1	311.784	311.501	311.267	310.843	310.511	310.174	309.743	309.233	308.926	308.284	307.933
2	323.216	322.873	322.654	322.269	322	321.721	321.642	321.374	321.063	320.36	320.051
3	335.349	335.047	334.994	334.626	334.301	334.062	333.734	333.391	332.953	332.446	332
4	342.093	341.866	341.57	341.29	341.092	340.972	340.364	340.025	339.7	339.407	339.166
5	349.461	349.117	349.002	348.543	348.117	347.918	347.532	347.289	347.176	346.938	346.901
6	355.22	355.009	354.903	354.673	354.269	354.051	353.87	353.264	353.179	352.842	352.529
7	362.778	362.389	362.064	361.829	361.492	362.284	360.922	360.47	360.269	360.185	359.919
8	368.55	368.3	368.128	368.003	367.721	367.472	367.174	367.001	366.744	366.427	366.197
9	373.239	373.005	372.94	372.468	372.195	372.01	371.845	371.292	370.775	370.296	370.004
10	378.025	377.763	377.463	377.164	376.829	376.384	376.091	375.854	375.381	375.293	374.951
11	383.394	383.121	382.992	382.661	382.445	382.103	381.934	381.553	381.286	380.846	380.386
12	386.043	385.912	385.629	385.367	385.039	384.9	384.336	384.044	383.958	383.26	383.012
13	389.568	389.32	389.045	388.921	388.614	388.274	388.026	387.925	387.449	387.003	386.826
14	392.118	391.98	391.673	391.366	391.015	390.642	390.343	389.996	389.163	388.774	388.222
15	394.579	394.234	393.953	393.408	393.155	392.947	392.664	392.254	392.03	391.848	391.752
16	395.262	395.052	394.83	394.573	394.287	393.936	393.555	393.282	392.929	392.497	392.159
17	396.078	395.982	395.739	395.38	395.26	394.926	394.636	394.288	394.002	393.765	393.285
18	397.73	397.347	397.163	396.82	396.401	396.176	396.028	395.977	395.691	395.286	395.008
19	399.187	398.943	398.521	398.386	398.094	397.936	397.623	397.271	396.853	396.395	396.093
20	400.949	400.772	400.26	399.94	399.616	399.475	399.104	398.638	398.284	397.702	397.295
21	401.8	401.467	401.136	400.822	400.472	400.04	399.83	399.295	398.582	398.191	397.844
22	402.353	402.086	401.729	401.3	401.068	400.935	400.237	399.9	399.581	399.281	399.031
23	403.276	403.055	402.835	402.643	402.27	401.857	401.593	401.375	401.188	400.827	400.532
24	405.563	405.23	404.949	404.473	404.127	403.946	403.578	403.291	403.053	402.961	402.649

Поверхность изменения влагосодержания



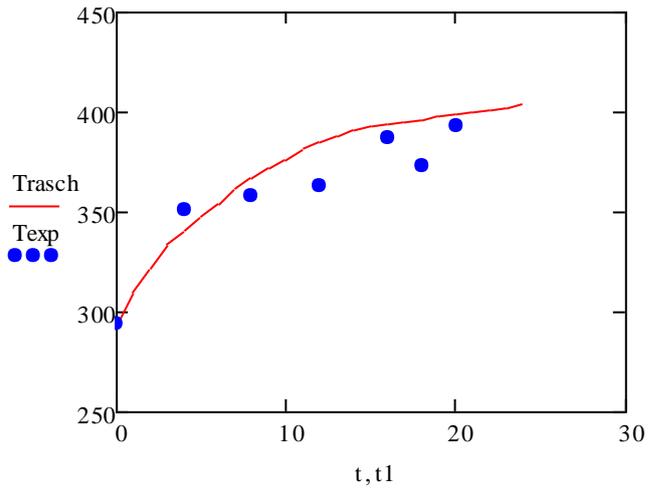
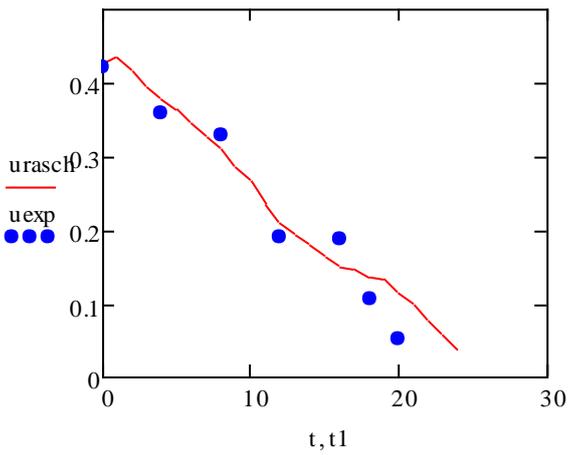
Поверхность изменения температуры



Сравнение расчетных и экспериментальных значений

$$u_{exp} := \begin{pmatrix} 0.42 \\ 0.36 \\ 0.33 \\ 0.19 \\ 0.188 \\ 0.105 \\ 0.052 \end{pmatrix} \quad t1 := \begin{pmatrix} 0 \\ 4 \\ 8 \\ 12 \\ 16 \\ 18 \\ 20 \end{pmatrix}$$

$$T_{exp} := \begin{pmatrix} 293.8 \\ 351 \\ 357.9 \\ 362.9 \\ 386.8 \\ 372.7 \\ 392.8 \end{pmatrix}$$



$$urasc1 := \begin{pmatrix} (u^{(s)})_0 \\ (u^{(s)})_4 \\ (u^{(s)})_8 \\ (u^{(s)})_{12} \\ (u^{(s)})_{16} \\ (u^{(s)})_{20} \end{pmatrix}$$

$$Trasch1 := \begin{pmatrix} (T^{(s)})_0 \\ (T^{(s)})_4 \\ (T^{(s)})_8 \\ (T^{(s)})_{12} \\ (T^{(s)})_{16} \\ (T^{(s)})_{20} \end{pmatrix}$$

Среднеквадратичное отклонение

$$\varepsilon_u := \frac{\sum_{i=0}^5 \frac{|u_{\text{exp}_i} - u_{\text{расч}_i}|}{u_{\text{exp}_i}}}{6} \cdot 100$$

$$\varepsilon_u = 8.98$$

$$\varepsilon_T := \frac{\sum_{i=0}^5 \frac{|T_{\text{exp}_i} - T_{\text{расч}_i}|}{T_{\text{exp}_i}}}{6} \cdot 100$$

$$\varepsilon_T = 3.482$$

ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ



ГРАМОТА

НАТРАЖДАЕТСЯ

**СТОЛЯРОВ
ИВАН НИКОЛАЕВИЧ**

**аспирант кафедры технологии жиров, процессов
и аппаратов химических и пищевых производств**

за успехи в научной работе и публикационную активность

Ректор



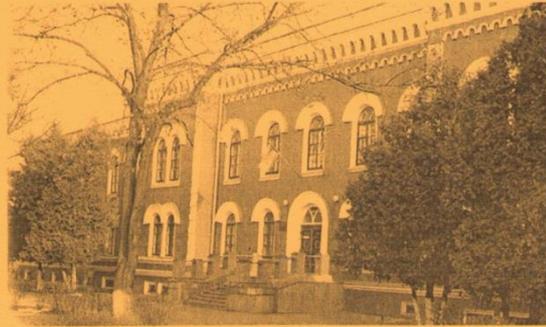
Е. Д. Чертов

2015 г.

приказ от 21.04.2015 г. № 68



ВГУИТ



СЕРТИФИКАТ

**УЧАСТНИКА
СТУДЕНЧЕСКОЙ НАУЧНОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ 2012 года
ВОРОНЕЖСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА ИНЖЕНЕРНЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

ВЫДАН

Столярову И

**И.о. декана ЭФ
Проректор по НТП**



**Л.В. ЛЕБЕДЕВА
С.Т. АНТИПОВ**

Воронеж 2012 г.







ГРАМОТА

НАГРАЖДАЕТСЯ

Столяров Иван Николаевич

*за активное участие
в VII Международной
научно-практической конференции*

**«МЕСТО И РОЛЬ РОССИИ
В МИРОВОМ ХОЗЯЙСТВЕ»**

г. Воронеж, 30 ноября 2012г.

Председатель оргкомитета Чертов Е.Д.
Ректор ВГИУТ





ДИПЛОМ ПОБЕДИТЕЛЯ КОНКУРСА

ИНЖЕНЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ XXI ВЕКА

В РАМКАХ НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
ЦЕНТРА «ЭНЕРГОСЕРВИС»

НАГРАЖДАЕТСЯ КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ:

ОСТРИКОВ А.Н., СТОЛЯРОВ И.Н.

ЗА ИННОВАЦИОННЫЙ ПРОЕКТ

ЗАНЯВШИЙ

I МЕСТО

«СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБЖАРКИ
КАШТАНОВ И РАЗРАБОТКА СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ
БЕЛОКСОДЕРЖАЩЕЙ ПИЩЕВОЙ ДОБАВКИ НА ИХ
ОСНОВЕ»

ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

ВОРОНЕЖ 21 МАЯ 2013 ГОДА

РЕКТОР



Е.Д. ЧЕРТОВ



ДИПЛОМ

НАГРАЖДАЕТСЯ

*участник III межрегиональной выставки
«Инновационные технологии в производстве кондитерских,
хлебобулочных, макаронных изделий и зернопродуктов»*

*Остриков А.Н., Шевцов С.А.,
Столяров И.Н.*

За разработку конструкции роторной сушилки

Ректор ФГБОУ ВПО «ВГУИТ»



Е.Д. Чертов

06 апреля 2014 г.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2014614264

«Программа для расчета процесса сушки пищевого растительного сырья перегретым паром атмосферного давления при комбинированных гидродинамических режимах»

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Воронежский государственный университет инженерных технологий" (RU)*

Авторы: *Остриков Александр Николаевич (RU), Шевцов Сергей Александрович (RU), Столяров Иван Николаевич (RU)*

Заявка № 2014611995

Дата поступления 11 марта 2014 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 21 апреля 2014 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2014614592

«Программа для расчета сбалансированности тепловых и материальных потоков в технологии производства пищевых концентратов»

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Воронежский государственный университет инженерных технологий" (RU)*

Авторы: *Остриков Александр Николаевич (RU), Шевцов Сергей Александрович (RU), Столяров Иван Николаевич (RU)*

Заявка № 2014611698

Дата поступления 03 марта 2014 г.

Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ 29 апреля 2014 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПРИЛОЖЕНИЕ

К ПАТЕНТУ НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2520752

**Государственная регистрация договора о распоряжении
исключительным правом**

Вид договора: *лицензионный*

Дата и номер государственной регистрации договора: *09.12.2014 №РД0163361*

Лицо(а), предоставляющее(ие) право использования: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Воронежский государственный университет инженерных технологий" (RU)*

Лицо, которому предоставлено право использования: *Открытое акционерное общество "Всероссийский научно-исследовательский институт комбикормовой промышленности" (RU)*

продолжение см. на обороте

Запись внесена в Государственный реестр
изобретений Российской Федерации
09 декабря 2014 г.

Врио руководителя Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Л.Л. Кирий



Протокол экспериментального исследования процесса обжарки каштанов

Дата 04.11.12 Начало 11:20

№	№ бьюксы	Масса пустой бьюксы, г	Масса бьюксы с влажным продуктом, г	Масса бьюксы с высушенным продуктом	Влагосодержание по абсолютно сухому продукту, кг/кг	Влажность по влажному продукту, %	Температура, °С		Время, мин	Скорость воздуха v, м/с	Гидравлическое сопротивление		Высота слоя продукта, мм
							Теплоносителя	Продукта			мм водн. ст.	Па	
1	1	24,91	29,78	27,49	0,889	47,03	170	20,8	0	1,3	0	0	21
2	2	25,16	28,86	27,05	0,959	48,93		68,6	4		0	0	20
3	3	25,75	30,41	28,98	0,445	30,7		75,2	8		0	0	17,5
4	4	25,4	30,66	29,38	0,323	24,34		84,0	12		0	0	15,5
5	5	24,14	29,54	28,65	0,198	16,49		91,4	16		0	0	13,5
6	6	24,06	26,7	26,44	0,11	9,86		103,5	20		0	0	12
7	7	26,68	30,62	30,35	0,075	6,87		105,7	24		0	0	11
8	8	24,73	28,35	28,26	0,029	2,76		113,3	28		0	0	10,5
9	9	26,48	31,35	31,3	0,011	1,04		114,2	32		0	0	10

Протокол экспериментального исследования процесса обжарки каштанов

Дата 07.11.12 Начало 10:30

№	№ бьюксы	Масса пустой бьюксы, г	Масса бьюксы с влажным продуктом, г	Масса бьюксы с высушенным продуктом	Влагосодержание по абсолютно сухому продукту, кг/кг	Влажность по влажному продукту, %	Температура, °С		Время, мин	Скорость воздуха v, м/с	Гидравлическое сопротивление		Высота слоя продукта, мм
							Теплоносителя	Продукта			мм водн. ст.	Па	
1	1	24,93	29,26	27,11	0,982	49,54	160	19,8	0	1,3	0	0	21
2	2	25,18	30,72	28,1	0,894	47,21		69,4	4		0	0	20,5
3	3	25,77	30,71	28,68	0,695	41,01		81,1	8		0	0	19
4	4	25,42	29,95	29,09	0,235	18,95		72,2	12		0	0	17
5	5	24,16	28,13	27,32	0,257	20,35		88,7	16		0	0	15,5
6	6	24,07	28,8	27,92	0,228	18,57		94	20		0	0	14,5
7	7	26,69	30,71	30,35	0,099	8,93		91,4	24		0	0	13,5
8	8	24,74	28,77	28,63	0,036	3,47		88	28		0	0	12,5
9	9	26,47	30,79	30,66	0,032	3,02		109,4	32		0	0	11

Протокол экспериментального исследования процесса обжарки каштанов

Дата 07.11.12 Начало 16:10

№	№ бьюксы	Масса пустой бьюксы, г	Масса бьюксы с влажным продуктом, г	Масса бьюксы с высушенным продуктом	Влагосодержание по абсолютно сухому продукту, кг/кг	Влажность по влажному продукту, %	Температура, °С		Время, мин	Скорость воздуха v, м/с	Гидравлическое сопротивление		Высота слоя продукта, мм
							Теплоносителя	Продукта			мм водн. ст.	Па	
1	1	24,91	29,82	27,62	0,812	44,81	180	19,8	0	0,8	2	20	20
2	2	25,16	29,75	28,21	0,505	33,55		73,2	4		3	30	17
3	3	25,76	30,11	28,75	0,455	31,26		88,5	8		4	40	15,5
4	4	25,38	28,84	28,4	0,146	12,72		83,9	12		4	40	14
5	5	24,12	28,85	28,32	0,126	11,21		106,8	16		3	30	12,5
6	6	24,04	29,19	28,86	0,068	6,41		109,6	20		1	10	11
7	7	26,68	30,46	30,37	0,024	2,38		95,7	24		3	30	10

Примечание: продукт обжарен неравномерно и немного подгорел

Протокол экспериментального исследования процесса обжарки каштанов

Дата 08.11.12 Начало 12:50

№	№ бьюксы	Масса пустой бьюксы, г	Масса бьюксы с влажным продуктом, г	Масса бьюксы с высушенным продуктом	Влагосодержание по абсолютно сухому продукту, кг/кг	Влажность по влажному продукту, %	Температура, °С		Время, мин	Скорость воздуха v, м/с	Гидравлическое сопротивление		Высота слоя продукта, мм
							Теплоносителя	Продукта			мм водн. ст.	Па	
1	1	24,92	28,78	26,82	1,032	50,78	150	19,1	0	1,85	0	0	21
2	2	25,17	30,38	27,85	0,944	48,56		69,1	4		0	0	20,5
3	3	25,74	30,24	28,66	0,541	35,11		68,2	8		0	0	19,5
4	4	25,4	31,25	29,3	0,500	33,33		70,5	12		0	0	18,5
5	5	24,12	29,51	28,02	0,382	27,64		80,8	16		0	0	17,5
6	6	24,05	29,49	28,38	0,256	20,40		87,7	20		0	0	16
7	7	26,68	32,29	31,62	0,136	11,94		92,9	24		0	0	14
8	8	24,72	30,04	29,74	0,060	5,64		109,2	28		0	0	12
9	9	26,48	31,47	31,27	0,042	4,01		94,1	32		0	0	11

Протокол экспериментального исследования процесса обжарки каштанов
Дата 09.11.12 Начало 11:10

№	№ бьюксы	Масса пустой бьюксы, г	Масса бьюксы с влажным продуктом, г	Масса бьюксы с высушенным продуктом	Влагосодержание по абсолютно сухому продукту, кг/кг	Влажность по влажному продукту, %	Температура, °С		Время, мин	Скорость воздуха v, м/с	Гидравлическое сопротивление		Высота слоя продукта, мм
							Теплоносителя	Продукта			мм водн. ст.	Па	
1	1	24,91	29,13	27,21	0,835	45,50	170	19,1	0	0,8	0	0	22
2	2	25,16	29,33	27,85	0,550	35,49		71,8	4		0	0	20
3	3	25,75	30,56	28,78	0,587	37,01		79,5	8		0	0	18
4	4	25,39	30,11	28,70	0,426	29,87		83	12		0	0	16,5
5	5	24,12	28,13	27,36	0,238	19,20		73,7	16		0	0	14,5
6	6	24,05	28,88	28,26	0,147	12,84		90,3	20		0	0	13
7	7	26,67	32,02	31,33	0,148	12,90		93,5	24		0	0	12
8	8	24,72	29,25	29,14	0,025	2,43		91,3	28		0	0	11

Протокол экспериментального исследования процесса обжарки каштанов

Дата 09.11.12 Начало 15:20

№	№ бьюксы	Масса пустой бьюксы, г	Масса бьюксы с влажным продуктом, г	Масса бьюксы с высушенным продуктом	Влагосодержание по абсолютно сухому продукту, кг/кг	Влажность по влажному продукту, %	Температура, °С		Время, мин	Скорость воздуха v, м/с	Гидравлическое сопротивление		Высота слоя продукта, мм
							Теплоносителя	Продукта			мм водн. ст.	Па	
1	1	24,90	29,96	27,45	0,984	49,60	160	19,7	0	1,85	0	0	20
2	2	25,16	29,10	27,53	0,662	39,85		68,2	4		0	0	18
3	3	25,75	31,14	29,28	0,527	34,51		72,1	8		0	0	17
4	4	25,4	30,62	29,08	0,418	29,50		98,7	12		0	0	15,5
5	5	24,13	28,37	27,48	0,266	20,99		78,9	16		0	0	14
6	6	24,05	28,01	27,41	0,179	15,15		88	20		0	0	13
7	7	26,67	30,26	29,93	0,101	9,19		104,8	24		0	0	12
8	8	24,72	29,68	29,49	0,040	3,83		95,5	28		0	0	11

Протокол экспериментального исследования процесса обжарки каштанов

Дата 10.11.12 Начало 11:05

№	№ бьюксы	Масса пустой бьюксы, г	Масса бьюксы с влажным продуктом, г	Масса бьюксы с высушенным продуктом	Влагосодержание по абсолютно сухому продукту, кг/кг	Влажность по влажному продукту, %	Температура, °С		Время, мин	Скорость воздуха v, м/с	Гидравлическое сопротивление		Высота слоя продукта, мм
							Теплоносителя	Продукта			мм водн. ст.	Па	
1	1	24,91	29,53	27,48	0,798	44,37	180	19,7	0	0,35	0	0	22
2	2	25,15	29,36	27,81	0,583	36,82		66	4		0	0	19
3	3	25,75	31,03	29,47	0,419	29,55		80,3	8		0	0	16,5
4	4	25,39	29,92	28,70	0,369	26,93		87,4	12		0	0	15
5	5	24,12	28,90	28,05	0,216	17,78		86,7	16		0	0	13
6	6	24,04	27,35	27,13	0,071	6,65		100,2	20		0	0	11,5
7	7	26,67	31,94	31,57	0,076	7,02		89,3	24		0	0	11

Протокол экспериментального исследования процесса обжарки каштанов

Дата 11.11.12 Начало 11:30

№	№ бьюксы	Масса пустой бьюксы, г	Масса бьюксы с влажным продуктом, г	Масса бьюксы с высушенным продуктом	Влагосодержание по абсолютно сухому продукту, кг/кг	Влажность по влажному продукту, %	Температура, °С		Время, мин	Скорость воздуха v, м/с	Гидравлическое сопротивление		Высота слоя продукта, мм
							Теплоносителя	Продукта			мм водн. ст.	Па	
1	1	24,90	29,52	27,32	0,909	47,62	150	19,8	0	1,3	0	0	22
2	2	25,16	30,93	28,43	0,765	43,33		67,5	4		0	0	21
3	3	25,75	31,43	29,52	0,507	33,63		68,9	8		0	0	18
4	4	25,39	31,23	29,76	0,336	25,17		88,3	12		0	0	15
5	5	24,12	28,37	27,51	0,254	20,24		70	16		0	0	13,5
6	6	24,05	28,34	27,63	0,198	16,55		81,2	20		0	0	12
7	7	26,67	31,71	31,12	0,133	11,71		90	24		0	0	11
8	8	24,71	29,08	28,82	0,063	5,95		85,9	28		0	0	10,5
9	9	26,47	32,19	31,98	0,038	3,67		86,4	32		0	0	10

Протокол экспериментального исследования процесса обжарки каштанов

Дата 11.11.12 Начало 16:55

№	№ бьюксы	Масса пустой бьюксы, г	Масса бьюксы с влажным продуктом, г	Масса бьюксы с высушенным продуктом	Влагосодержание по абсолютно сухому продукту, кг/кг	Влажность по влажному продукту, %	Температура, °С		Время, мин	Скорость воздуха v, м/с	Гидравлическое сопротивление		Высота слоя продукта, мм
							Теплоносителя	Продукта			мм водн. ст.	Па	
1	1	24,91	29,60	27,45	0,846	45,84	160	19,8	0	0,8	0	0	22
2	2	25,16	29,85	28,16	0,563	36,03		69,7	4		0	0	19,5
3	3	25,75	31,10	29,26	0,524	34,39		71,4	8		0	0	18
4	4	25,39	29,03	28,00	0,395	28,30		77,1	12		0	0	16
5	5	24,12	29,46	28,37	0,256	20,41		83,4	16		0	0	14
6	6	24,05	28,99	28,16	0,202	16,80		75,5	20		0	0	13
7	7	26,68	30,74	30,28	0,128	11,33		92,9	24		0	0	12
8	8	24,72	28,99	28,81	0,044	4,22		113,1	28		0	0	11

Протокол экспериментального исследования процесса обжарки каштанов

Дата 12.11.12 Начало 13:35

Ступенчатый режим

№	№ бьюксы	Масса пустой бьюксы, г	Масса бьюксы с влажным продуктом, г	Масса бьюксы с высушенным продуктом	Влагосодержание по абсолютно сухому продукту, кг/кг	Влажность по влажному продукту, %	Температура, °С		Время, мин	Скорость воздуха v, м/с	Гидравлическое сопротивление		Высота слоя продукта, мм
							Теплоноситель	Продукта			мм водн. ст.	Па	
1	1	24,92	29,6	27,57	0,767	43,39	150	21,7	0	1,85	0	0	20
2	2	25,17	29,17	27,78	0,534	34,76		62,5	4		0	0	16
3	3	25,76	30,99	29,09	0,572	36,34		74,5	8		0	0	14
4	4	25,4	29,58	28,66	0,283	22,02		76,6	12		0	0	13
5	5	24,13	28,79	27,8	0,271	21,25	160	87,8	16	1,3	0	0	12
6	6	24,06	28,14	27,68	0,128	11,28	160/170	89,7	20	1,3/0,8	0	0	11
7	7	26,68	31,51	31,04	0,113	10,11	170	100,1	24	0,8	0	0	10
8	8	24,73	29,5	29,31	0,042	3,99		115,2	28		0	0	10

Протокол экспериментального исследования процесса обжарки орехов фундук
Дата 7.12.13 Начало 12:00

№	№ бьюксы	Масса пустой бьюксы, г	Масса бьюксы с влажным продуктом, г	Масса бьюксы с высушенным продуктом	Влагосодержание по абсолютно сухому продукту, кг/кг	Влажность по влажному продукту, %	Температура, °С		Время, мин	Скорость воздуха v, м/с	Гидравлическое сопротивление		Высота слоя продукта, мм
							Теплоносителя	Продукта			мм водн. ст.	Па	
1	1	21,42	25,02	24,87	0,043	4,17	150	120,3	0	0,8	6	60	20
2	2	24,21	26,95	26,91	0,015	1,46		127,9	4		6	60	19
3	3	24,69	27,27	27,24	0,012	1,16		132,5	8		6	60	18
4	4	25,58	28,42	28,39	0,011	1,06		133,8	12		6	60	17
5	5	26,53	28,5	28,48	0,010	1,02		132,8	16		6	60	16
6	6	25,24	28,78	28,75	0,009	0,85		134,4	20		6	60	16
7	7	26,08	28,8	28,78	0,007	0,74		134,3	24		6	60	16
8	8	26,23	29,48	29,46	0,006	0,62		134,6	28		6	60	16
9	9	23,63	26,26	26,25	0,004	0,38		134	32		6	60	16
10	10	23,59	26,41	26,4	0,004	0,35		135,2	36		6	60	15,5

Протокол экспериментального исследования процесса обжарки орехов фундук

Дата 14.12.13 Начало 16:20

№	№ бьюксы	Масса пустой бьюксы, г	Масса бьюксы с влажным продуктом, г	Масса бьюксы с высушенным продуктом	Влагосодержание по абсолютно сухому продукту, кг/кг	Влажность по влажному продукту, %	Температура, °С		Время, мин	Скорость воздуха v, м/с	Гидравлическое сопротивление		Высота слоя продукта, мм
							Теплоносителя	Продукта			мм водн. ст.	Па	
1	1	21,44	25,4	25,23	0,045	4,29	140	77,7	0	0,8	8	80	20
2	2	24,18	29,21	29,16	0,010	0,99		106	4		7	70	18
3	3	25,58	29,37	29,33	0,011	1,06		113,8	8		7	70	16
4	4	25,37	32,82	32,8	0,003	0,27		117,8	12		7	70	14,5
5	5	24,67	28,55	28,53	0,005	0,52		118	16		7	70	13,5
6	6	26,53	30,05	30,04	0,003	0,28		120,4	20		7	70	13
7	7	25,1	29,1	29,1	0,000	0,00		121,5	24		7	70	13
8	8	26,07	30,1	30,1	0,000	0,00		121,6	28		7	70	13
9	9	26,21	30,39	30,39	0,000	0,00		120,7	32		7	70	13
10	10	23,58	29,14	29,14	0,000	0,00		124	36		7	70	13

Протокол экспериментального исследования процесса обжарки орехов фундук

Дата 14.12.13 Начало 16:20

№	№ бьюксы	Масса пустой бьюксы, г	Масса бьюксы с влажным продуктом, г	Масса бьюксы с высушенным продуктом	Влагосодержание по абсолютно сухому продукту, кг/кг	Влажность по влажному продукту, %	Температура, °С		Время, мин	Скорость воздуха v, м/с	Гидравлическое сопротивление		Высота слоя продукта, мм
							Теплоносителя	Продукта			мм водн. ст.	Па	
1	1	21,44	25,54	25,38	0,041	3,90	130	39,5	0	0,8	9	90	19
2	2	24,19	29,43	29,38	0,010	0,95		97,5	4		9	90	18
3	3	25,38	28,9	28,88	0,006	0,57		103,8	8		9	90	17,5
4	4	24,68	28,38	28,37	0,003	0,27		106,3	12		9	90	17
5	5	25,58	29,69	29,69	0,000	0,00		108,2	16		9	90	16
6	6	26,54	30,2	30,2	0,000	0,00		109,4	20		9	90	15,5
7	7	25,09	30,01	30,01	0,000	0,00		110,1	24		9	90	15
8	8	26,07	29,57	29,57	0,000	0,00		111	28		9	90	15
9	9	26,21	30,28	30,28	0,000	0,00		112,4	32		9	90	15
10	10	23,6	27,78	27,78	0,000	0,00		112,6	36		9	90	15

Протокол экспериментального исследования процесса обжарки орехов фундук

Дата 16.12.13 Начало 15:20

№	№ буюксы	Масса пустой буюксы, г	Масса буюксы с влажным продуктом, г	Масса буюксы с высушенным продуктом	Влагосодержание по абсолютно сухому продукту, кг/кг	Влажность по влажному продукту, %	Температура, °С		Время, мин	Скорость воздуха v, м/с	Гидравлическое сопротивление		Высота слоя продукта, мм
							Теплоносителя	Продукта			мм водн. ст.	Па	
1	1	21,44	24,42	24,28	0,049	4,70	130	88,7	0	1,2	9	90	20
2	2	24,19	29,08	29,01	0,015	1,43		111,5	4		9	90	18
3	3	25,38	27,72	27,68	0,017	1,71		114,1	8		9	90	16
4	4	24,69	28,74	28,68	0,015	1,48		115,2	12		9	90	15
5	5	25,58	29,37	29,32	0,013	1,32		115,4	16		9	90	14
6	6	26,52	31,12	31,07	0,011	1,09		116,3	20		8	80	13
7	7	25,11	29,12	29,08	0,010	1,00		118,3	24		8	80	12,5
8	8	26,07	28,26	28,25	0,005	0,46		117,2	28		8	80	12,5
9	9	26,21	31,15	31,12	0,006	0,61		116,9	32		8	80	12,5
10	10	23,59	28,88	28,85	0,000	0,57		116,6	36		8	80	12,5

Протокол экспериментального исследования процесса обжарки орехов фундук

Дата 19.12.13 Начало 16:40

№	№ бьюксы	Масса пустой бьюксы, г	Масса бьюксы с влажным продуктом, г	Масса бьюксы с высушенным продуктом	Влагосодержание по абсолютно сухому продукту, кг/кг	Влажность по влажному продукту, %	Температура, °С		Время, мин	Скорость воздуха v, м/с	Гидравлическое сопротивление		Высота слоя продукта, мм
							Теплоносителя	Продукта			мм водн. ст.	Па	
1	1	21,44	24,67	24,51	0,052	4,95	140	86,3	0	1,2	6	60	20
2	2	24,19	27,57	27,51	0,018	1,78		116,2	4		6	60	18
3	3	25,37	29,44	29,4	0,010	0,98		120,9	8		6	60	16
4	4	26,53	30,86	30,83	0,007	0,69		122,4	12		6	60	14
5	5	25,59	31,21	31,18	0,005	0,53		123,6	16		5	50	13,5
6	6	26,53	32,5	32,45	0,008	0,84		124,4	20		5	50	13
7	7	25,11	29,62	29,6	0,004	0,44		125,7	24		5	50	12
8	8	26,08	29,13	29,12	0,003	0,33		126,1	28		5	50	12
9	9	26,21	30,18	30,15	0,008	0,76		126,4	32		5	50	12
10	10	23,58	28,01	28	0,000	0,23		125,3	36		5	50	12

Протокол экспериментального исследования процесса обжарки орехов фундук
Дата 21.12.13 Начало 13:50

№	№ бьюксы	Масса пустой бьюксы, г	Масса бьюксы с влажным продуктом, г	Масса бьюксы с высушенным продуктом	Влагосодержание по абсолютно сухому продукту, кг/кг	Влажность по влажному продукту, %	Температура, °С		Время, мин	Скорость воздуха v, м/с	Гидравлическое сопротивление		Высота слоя продукта, мм
							Теплоносителя	Продукта			мм водн. ст.	Па	
1	1	21,45	25,83	25,56	0,066	6,16	150	87,5	0	1,2	8	80	20
2	2	24,19	28,44	28,37	0,017	1,65		117	4		8	80	18
3	3	25,38	29,05	29,02	0,008	0,82		123,5	8		8	80	16
4	4	26,53	29,75	29,72	0,009	0,93		125,8	12		8	80	15
5	5	25,59	29,47	29,44	0,008	0,77		125,7	16		7	70	14
6	6	26,53	30,2	30,19	0,003	0,27		127,2	20		7	70	13,5
7	7	25,12	28,64	28,62	0,006	0,57		127,6	24		7	70	13
8	8	26,08	29,43	29,41	0,006	0,60		128,4	28		7	70	13
9	9	26,21	29,53	29,51	0,006	0,60		129,1	32		7	70	13
10	10	23,58	27,46	27,46	0,000	0,00		128,8	36		7	70	13

Протокол экспериментального исследования процесса обжарки орехов фундук

Дата 23.12.13 Начало 11:50

№	№ бьюксы	Масса пустой бьюксы, г	Масса бьюксы с влажным продуктом, г	Масса бьюксы с высушенным продуктом	Влагосодержание по абсолютно сухому продукту, кг/кг	Влажность по влажному продукту, %	Температура, °С		Время, мин	Скорость воздуха v, м/с	Гидравлическое сопротивление		Высота слоя продукта, мм
							Теплоносителя	Продукта			мм водн. ст.	Па	
1	1	21,45	25,74	25,49	0,062	5,83	130	75,3	0	1,6	6	60	20
2	2	24,2	28,13	28,04	0,023	2,29		106,6	4		6	60	16
3	3	25,4	30,03	29,96	0,015	1,51		110,7	8		6	60	15
4	4	26,55	31,8	31,73	0,014	1,33		112,1	12		6	60	14
5	5	25,61	29,78	29,73	0,012	1,20		111,7	16		6	60	13
6	6	26,54	31,18	31,14	0,009	0,86		113,3	20		6	60	12,5
7	7	25,11	28,66	28,64	0,006	0,56		110,8	24		6	60	12
8	8	24,73	29,62	29,59	0,006	0,61		112,7	28		6	60	11,5
9	9	26,22	30,36	30,35	0,002	0,24		114,3	32		6	60	11,5
10	10	23,59	28,32	28,3	0,000	0,42		115,5	36		6	60	11,5

Протокол экспериментального исследования процесса обжарки орехов фундук

Дата 23.10.10 Начало 14:15

№	№ бьюксы	Масса пустой бьюксы, г	Масса бьюксы с влажным продуктом, г	Масса бьюксы с высушенным продуктом	Влагосодержание по абсолютно сухому продукту, кг/кг	Влажность по влажному продукту, %	Температура, °С		Время, мин	Скорость воздуха v, м/с	Гидравлическое сопротивление		Высота слоя продукта, мм
							Теплоносителя	Продукта			мм водн. ст.	Па	
1	1	21,43	25,44	25,18	0,069	6,48	140	57,1	0	1,6	6	60	20
2	2	24,18	28,72	28,61	0,025	2,42		106,7	4		6	60	16
3	3	25,38	29,52	29,47	0,012	1,21		114,1	8		6	60	15
4	4	26,53	31,1	31,04	0,013	1,31		116,8	12		6	60	14
5	5	25,58	29,92	29,88	0,009	0,92		117,6	16		6	60	13
6	6	26,52	32,3	32,24	0,010	1,04		117	20		6	60	12
7	7	25,11	30,6	30,54	0,011	1,09		120,6	24		6	60	11
8	8	24,73	28,84	28,82	0,005	0,49		118,7	28		6	60	11
9	9	26,22	29,82	29,78	0,011	1,11		120,7	32		6	60	11
10	10	23,6	28,49	28,45	0,000	0,82		121,3	36		6	60	11

Протокол экспериментального исследования процесса обжарки орехов фундук

Дата 25.12.13 Начало 13:00

№	№ бьюксы	Масса пустой бьюксы, г	Масса бьюксы с влажным продуктом, г	Масса бьюксы с высушенным продуктом	Влагосодержание по абсолютно сухому продукту, кг/кг	Влажность по влажному продукту, %	Температура, °С		Время, мин	Скорость воздуха v, м/с	Гидравлическое сопротивление		Высота слоя продукта, мм
							Теплоносителя	Продукта			мм водн. ст.	Па	
1	1	21,43	26,81	26,51	0,059	5,58	150	59,1	0	1,6	7	70	20
2	2	24,19	29,35	29,26	0,018	1,74		120,7	4		7	70	18
3	3	25,38	29,87	29,82	0,011	1,11		128,3	8		7	70	15
4	4	26,54	32,21	32,14	0,013	1,23		129,8	12		7	70	14
5	5	25,57	30,01	29,96	0,011	1,13		129,9	16		7	70	13
6	6	26,52	30,11	30,07	0,011	1,11		132,2	20		7	70	12,5
7	7	25,09	29,78	29,76	0,004	0,43		135,2	24		7	70	12
8	8	24,72	28,29	28,26	0,008	0,84		132,2	28		7	70	11,5
9	9	26,21	31,3	31,27	0,006	0,59		132,1	32		7	70	11,5
10	10	23,57	28,1	28,08	0,000	0,44		132,8	36		7	70	11,5

Протокол экспериментального исследования процесса обжарки орехов фундук
Дата 25.12.13 Начало 16:00

№	№ бьюксы	Масса пустой бьюксы, г	Масса бьюксы с влажным продуктом, г	Масса бьюксы с высушенным продуктом	Влагосодержание по абсолютно сухому продукту, кг/кг	Влажность по влажному продукту, %	Температура, °С		Время, мин	Скорость воздуха v, м/с	Гидравлическое сопротивление		Высота слоя продукта, мм
							Теплоносителя	Продукта			мм водн. ст.	Па	
1	1	21,44	26,03	25,75	0,065	6,10	130	58,4	0	2	8	80	20
2	2	24,19	29,07	28,98	0,019	1,84		109,3	4		8	80	16
3	3	25,39	30,7	30,62	0,015	1,51		112,1	8		8	80	14
4	4	26,53	32,09	32,03	0,011	1,08		113,5	12		8	80	13,5
5	5	25,57	31,71	31,68	0,005	0,49		113,8	16		7	70	13
6	6	26,51	30,17	30,14	0,008	0,82		115	20		7	70	12,5
7	7	25,06	30,03	30	0,006	0,60		115,3	24		7	70	12
8	8	24,68	28,72	28,69	0,007	0,74		115,1	28		7	70	12
9	9	26,17	30,68	30,66	0,004	0,44		115	32		7	70	12
10	10	23,54	26,73	26,71	0,000	0,63		114,4	36		7	70	12

Протокол экспериментального исследования процесса обжарки орехов фундук

Дата 26.12.13 Начало 12:30

№	№ бьюксы	Масса пустой бьюксы, г	Масса бьюксы с влажным продуктом, г	Масса бьюксы с высушенным продуктом	Влагосодержание по абсолютно сухому продукту, кг/кг	Влажность по влажному продукту, %	Температура, °С		Время, мин	Скорость воздуха v, м/с	Гидравлическое сопротивление		Высота слоя продукта, мм
							Теплоносителя	Продукта			мм водн. ст.	Па	
1	1	21,44	25,62	25,38	0,061	5,74	140	60,7	0	2	7	70	20
2	2	24,19	27,4	27,34	0,019	1,87		111,4	4		7	70	16
3	3	25,39	28,74	28,69	0,015	1,49		117	8		7	70	15
4	4	26,53	31,5	31,44	0,012	1,21		118	12		7	70	14
5	5	25,58	28,29	28,27	0,007	0,74		119,8	16		7	70	13
6	6	26,53	32,51	32,48	0,005	0,50		120,8	20		7	70	12
7	7	25,1	31,12	31,09	0,005	0,50		121,2	24		7	70	11
8	8	24,73	28,17	28,15	0,006	0,58		124,2	28		7	70	11
9	9	26,21	32	31,97	0,005	0,52		122	32		7	70	11
10	10	23,58	28,31	28,29	0,000	0,42		122,6	36		7	70	11

Протокол экспериментального исследования процесса обжарки орехов фундук

Дата 11.01.14 Начало 11:30

№	№ бьюксы	Масса пустой бьюксы, г	Масса бьюксы с влажным продуктом, г	Масса бьюксы с высушенным продуктом	Влагосодержание по абсолютно сухому продукту, кг/кг	Влажность по влажному продукту, %	Температура, °С		Время, мин	Скорость воздуха v, м/с	Гидравлическое сопротивление		Высота слоя продукта, мм
							Теплоноситель	Продукта			мм водн. ст.	Па	
1	1	21,43	25,15	24,93	0,063	5,91	150	58,7	0	2	7	70	20
2	2	24,19	28,15	28,08	0,018	1,77		115,6	4		7	70	15
3	3	25,4	30,65	30,6	0,010	0,95		122,9	8		7	70	14
4	4	25,22	29,69	29,66	0,007	0,67		123,7	12		7	70	13
5	5	25,6	29,37	29,34	0,008	0,80		127,5	16		7	70	12,5
6	6	26,54	30,12	30,1	0,006	0,56		127,1	20		7	70	12
7	7	25,11	28,99	28,98	0,003	0,26		127,4	24		7	70	11,5
8	8	24,73	29,33	29,31	0,004	0,43		130,4	28		7	70	11
9	9	26,22	29,81	29,81	0,000	0,00		130,8	32		7	70	11
10	10	23,58	27,69	27,69	0,000	0,00		125,6	36		7	70	11

Протокол экспериментального исследования процесса обжарки орехов фундук

Дата 26.12.13 Начало 12:30

№	№ бьюксы	Масса пустой бьюксы, г	Масса бьюксы с влажным продуктом, г	Масса бьюксы с высушенным продуктом	Влагосодержание по абсолютно сухому продукту, кг/кг	Влажность по влажному продукту, %	Температура, °С		Время, мин	Скорость воздуха v, м/с	Гидравлическое сопротивление		Высота слоя продукта, мм
							Теплоносителя	Продукта			мм водн. ст.	Па	
1	1	21,44	25,63	25,41	0,055	5,25	160	53,2	0	2	7	70	20
2	2	24,19	28,39	28,34	0,012	1,19		117,2	4		7	70	16
3	3	25,39	30,3	30,28	0,004	0,41		127	8		7	70	15
4	4	25,21	29,27	29,25	0,005	0,49		129,4	12		7	70	14
5	5	25,59	30,56	30,56	0,000	0,00		129,4	16		7	70	13
6	6	26,54	31,1	31,08	0,004	0,44		133,7	20		6	60	12
7	7	25,12	28,42	28,41	0,003	0,30		133	24		6	60	11
8	8	24,74	28,14	28,14	0,000	0,00		134	28		6	60	11
9	9	26,23	30,59	30,59	0,000	0,00		134,1	32		6	60	11
10	10	23,61	29,05	29,05	0,000	0,00		135	36		6	60	11

Протокол экспериментального исследования процесса обжарки орехов фундук
Дата 1.02.14 Начало 11:00

№	№ бьюксы	Масса пустой бьюксы, г	Масса бьюксы с влажным продуктом, г	Масса бьюксы с высушенным продуктом	Влагосодержание по абсолютно сухому продукту, кг/кг	Влажность по влажному продукту, %	Температура, °С		Время, мин	Скорость воздуха v, м/с	Гидравлическое сопротивление		Высота слоя продукта, мм
							Теплоносителя	Продукта			мм водн. ст.	Па	
1	1	21,41	26,28	25,93	0,077	7,19	160	69,1	0	1,2	7	70	20
2	2	24,15	28,26	28,23	0,007	0,73		125,6	4		7	70	18
3	3	25,4	30,4	30,37	0,006	0,60		131,5	8		7	70	15
4	4	25,61	30,85	30,84	0,002	0,19		136,3	12		7	70	14
5	5	25,13	29,34	29,33	0,002	0,24		134,6	16		7	70	13
6	6	26,54	31,54	31,52	0,004	0,40		136,1	20		6	60	13
7	7	25,07	30,94	30,94	0,000	0,00		136,3	24		6	60	12,5
8	8	24,73	30,36	30,36	0,000	0,00		136,8	28		6	60	12,5
9	9	26,21	30,83	30,83	0,000	0,00		138,3	32		6	60	12,5
10	10	23,57	28,54	28,54	0,000	0,00		137,2	36		6	60	12,5

Протокол экспериментального исследования процесса обжарки орехов фундук
Дата 8.02.14 Начало 13:10

№	№ бьюксы	Масса пустой бьюксы, г	Масса бьюксы с влажным продуктом, г	Масса бьюксы с высушенным продуктом	Влагосодержание по абсолютно сухому продукту, кг/кг	Влажность по влажному продукту, %	Температура, °С		Время, мин	Скорость воздуха v, м/с	Гидравлическое сопротивление		Высота слоя продукта, мм
							Теплоносителя	Продукта			мм водн. ст.	Па	
1	1	21,45	25,66	25,49	0,042	4,04	160	50,9	0	0,8	7	70	20
2	2	24,19	28,38	28,34	0,010	0,95		118,4	4		7	70	18
3	3	25,39	29,7	29,68	0,005	0,46		127,8	8		7	70	16
4	4	25,14	29,5	29,49	0,002	0,23		131,7	12		7	70	15
5	5	25,61	30,6	30,6	0,000	0,00		132,8	16		7	70	14
6	6	26,52	32,75	32,75	0,000	0,00		132,8	20		7	70	13
7	7	25,07	28,3	28,3	0,000	0,00		132,9	24		7	70	12,5
8	8	24,72	29,01	29,01	0,000	0,00		134,8	28		7	70	12,5
9	9	23,6	26,91	26,91	0,000	0,00		135,8	32		7	70	12,5
10	10	23,59	27,26	27,26	0,000	0,00		135,6	36		7	70	12,5

Протокол экспериментального исследования процесса обжарки орехов фундук
Дата 8.02.14 Начало 13:10

№	№ бьюксы	Масса пустой бьюксы, г	Масса бьюксы с влажным продуктом, г	Масса бьюксы с высушенным продуктом	Влагосодержание по абсолютно сухому продукту, кг/кг	Влажность по влажному продукту, %	Температура, °С		Время, мин	Скорость воздуха v, м/с	Гидравлическое сопротивление		Высота слоя продукта, мм
							Теплоносителя	Продукта			мм водн. ст.	Па	
1	1	21,41	25,97	25,81	0,045	4,03	160	52,1	0	1,6	7	70	20
2	2	24,12	28,03	28,06	0,013	1,12		124,6	4		7	70	18
3	3	25,33	29,1	29,37	0,007	0,70		126,1	8		7	70	16
4	4	25,14	28,82	28,81	0,000	0,00		132,7	12		7	70	15
5	5	25,58	28,64	28,56	0,000	0,00		131,8	16		7	70	14
6	6	26,51	31,76	31,63	0,000	0,00		133,6	20		7	70	13
7	7	25,07	29,07	29,11	0,000	0,00		131,9	24		7	70	12
8	8	24,75	29,35	29,33	0,000	0,00		133,5	28		7	70	12
9	9	26,3	30,25	30,27	0,000	0,00		135,7	32		7	70	12,5
10	10	23,52	27,43	27,44	0,000	0,00		135,6	36		7	70	12,5

Протокол экспериментального исследования процесса обжарки орехов фундук
Дата 8.02.14 Начало 13:10

№	№ бьюксы	Масса пустой бьюксы, г	Масса бьюксы с влажным продуктом, г	Масса бьюксы с высушенным продуктом	Влагосодержание по абсолютно сухому продукту, кг/кг	Влажность по влажному продукту, %	Температура, °С		Время, мин	Скорость воздуха v, м/с	Гидравлическое сопротивление		Высота слоя продукта, мм
							Теплоносителя	Продукта			мм водн. ст.	Па	
1	1	21,41	25,97	25,81	0,045	4,03	160	52,1	0	1,6	7	70	20
2	2	24,12	28,03	28,06	0,013	1,12		124,6	4		7	70	18
3	3	25,33	29,1	29,37	0,007	0,70		126,1	8		7	70	16
4	4	25,14	28,82	28,81	0,000	0,00		132,7	12		7	70	15
5	5	25,58	28,64	28,56	0,000	0,00		131,8	16		7	70	14
6	6	26,51	31,76	31,63	0,000	0,00		133,6	20		7	70	13
7	7	25,07	29,07	29,11	0,000	0,00		131,9	24		7	70	12
8	8	24,75	29,35	29,33	0,000	0,00		133,5	28		7	70	12
9	9	26,3	30,25	30,27	0,000	0,00		135,7	32		7	70	12,5
10	10	23,52	27,43	27,44	0,000	0,00		135,6	36		7	70	12,5

Протокол экспериментального исследования процесса обжарки орехов фундук

Дата 9.02.14 Начало 11:20

Ступенчатый режим

№	№ бюксы	Масса пустой бюксы, г	Масса бюксы с влажным продуктом, г	Масса бюксы с высушенным продуктом	Влагосодержание по абсолютно сыхому продукту, кг/кг	Влажность по влажному продукту, %	Температура, ° С		Время, мин	Скорость воздуха v, м/с	Гидравлическое сопротивление		Высота слоя продукта, мм
							Теплоноситель	Продукта			мм водн. ст.	Па	
1	1	24,91	29,53	27,77	0,616	37,4	130	19,2	0	2	3	30	20
2	2	25,16	28,48	27,34	0,524	34,35		62,3	3		3	30	19
3	3	25,75	30,34	29,26	0,309	23,54		68,5	6		2	20	15,5
4	4	25,4	30,78	29,75	0,238	19,15	130/140	77,4	9	2/1,2	3	30	14
5	5	24,13	29,37	28,66	0,158	13,56	140	73,5	12	1,2	3	30	13
6	6	24,05	30,18	29,34	0,16	13,71		77,1	15		3	30	12,5
7	7	26,68	30,93	30,54	0,102	9,19	140/150	75,9	18	1,2/0,8	4	40	11,5
8	8	24,8	29,95	29,51	0,093	8,48	150	90,8	21	0,8	5	50	10
9	9	26,48	30,31	30,2	0,031	2,87		102,9	24		6	60	9

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

**ОРЕХОВО-ЗУЕВСКИЙ ФИЛИАЛ ФЕДЕРАЛЬНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО УЧРЕЖДЕНИЯ "МЕНДЕЛЕЕВСКИЙ
ЦЕНТР СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И
СЕРТИФИКАЦИИ**

Контроль качества товаров и услуг, повышение их конкурентоспособности
на внутреннем и мировом рынках, обеспечение единства измерений



УТВЕРЖДАЮ

Директор испытательного
центра пищевой продукции
Фролова И.В.
«18 февраля» 2015 г.



АКТ № 113550-Л

о проведении лабораторных испытаний каштанов

Цель испытаний: определение теплофизических характеристик и плотности образцов каштанов.

Опыты проведены на установке для определения теплофизических и реологических характеристик вязкоупругих жидкостей *Coesfeld* RT-1394H (National Instruments) и пикнометре АТС (ThermoScientific).

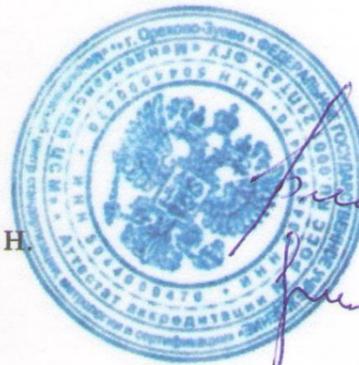
Заказчик: Воронежский государственный университет инженерных технологий, асп. Столяров И. Н.

Результаты испытаний: результаты проведения опытов представлены в Приложении 1.

Заключение: определены основные теплофизические параметры и плотность представленного образца. Экспериментальные данные позволяют рекомендовать проведение опытно-промышленных испытаний.

Начальник испытательной лаборатории, д.х.н.

Инженер-исследователь



Волкова Н. Ф.

Подкопаев Р. Н.

№ п./п.	Интервал температур	Ед. изм.	<i>Образцы каштанов</i>			
			W ~ 42,67 %		W ~ 3,97 %	
			<i>исходная</i>		<i>конечная</i>	
			Коэффициент температуропроводности (<i>a</i>), $\times 10^8$ м ² /с			
1	20	°С	4,15	± 0,02	3,97	± 0,02
2	40	°С	4,23	± 0,02	4,05	± 0,02
3	60	°С	4,30	± 0,02	4,12	± 0,02
4	80	°С	4,37	± 0,02	4,19	± 0,02
			Коэффициент теплопроводности (<i>λ</i>), Вт/(м·К)			
5	20	°С	0,141	± 0,002	0,088	± 0,004
6	40	°С	0,145	± 0,002	0,091	± 0,004
7	60	°С	0,149	± 0,001	0,095	± 0,004
8	80	°С	0,153	± 0,002	0,099	± 0,002
			Массовая удельная теплоемкость (<i>c</i>), Дж/(кг·К)			
9	20	°С	3092,07	± 0,06	1887,76	± 0,04
10	40	°С	3128,15	± 0,06	1923,41	± 0,08
11	60	°С	3154,97	± 0,06	1971,74	± 0,08
12	80	°С	3187,02	± 0,04	2019,05	± 0,04
13	Плотность (<i>ρ</i>)	кг/м ³	1097,9		1173,3	

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

**ОРЕХОВО-ЗУЕВСКИЙ ФИЛИАЛ ФЕДЕРАЛЬНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО УЧРЕЖДЕНИЯ "МЕНДЕЛЕЕВСКИЙ
ЦЕНТР СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И
СЕРТИФИКАЦИИ**

Контроль качества товаров и услуг, повышение их конкурентоспособности
на внутреннем и мировом рынках, обеспечение единства измерений



УТВЕРЖДАЮ

Директор испытательного
центра пищевой продукции
Фролова И.В.
18 февраля 2015 г.



АКТ № 113549-Л

о проведении лабораторных испытаний каштанов

Цель испытаний: определение химического, минерального, витаминного, аминокислотного состава образцов каштанов. Оценка содержания тяжелых металлов и пестицидов в образце. Исследование микробиологических показателей качества.

Опыты проведены с использованием жидкостного хроматографа Agilent 1100, оснащенного детектором на диодной матрице и масс-селективным квадрупольным детектором 1100 серии SL (колонки Synergi 4uHydro-RP 150x4,6 мм, Luna C 18(2) 5u 150 x 4,6 мм и ZorbaxSB-C18 150 x 4,6 мм и 250 x 4,6 мм с размером частиц 5 мкм); и анализатора TA-Lab.

Заказчик: Воронежский государственный университет инженерных технологий, асп. Столяров И. Н.

Результаты испытаний: результаты проведения опытов представлены в Приложении 1.

Заключение: определен химический, минеральный, витаминный, аминокислотный состав каштанов. Дана оценка содержания тяжелых металлов и пестицидов в образце. Исследованы микробиологические показатели качества. Экспериментальные данные рассмотренных образцов позволяют рекомендовать проведение опытно-промышленных испытаний.

Начальник испытательной лаборатории, д.х.н.

Инженер-исследователь



Волкова Н. Ф.

Подкопаев Р. Н.

№ п./п.	Измеряемые параметры	Ед. изм./ образцы	<i>Каштаны свежие</i>		<i>Каштаны обжаренные</i>	
1	Общая влага	%	42,65	± 0,02	3,98	± 0,02
2	Массовая доля сырого протеина	%	8,12	± 0,04	4,53	± 0,04
3	Массовая доля крахмала	%	59,62	± 0,04	52,41	± 0,04
4	Зола	%	3,93	± 0,04	3,81	± 0,04
5	Общий сахар	%	21,18	± 0,04	15,89	± 0,04
6	Содержание NO ³⁻	мг/кг	40,11	± 0,04	29,55	± 0,04
Минеральный состав						
7	Натрий (Na)	мг%	112,84	± 0,02	109,23	± 0,02
8	Калий (K)	мг%	199,20	± 0,04	181,03	± 0,04
9	Кальций (Ca)	мг%	359,46	± 0,04	346,97	± 0,04
10	Магний (Mg)	мг%	161,65	± 0,04	158,49	± 0,04
11	Железо (Fe)	мг%	4,36	± 0,04	3,98	± 0,04
12	Фосфор (P)	мг%	95,25	± 0,02	87,52	± 0,02
Аминокислотный состав (незаменимые)						
13	Валин	мг/100 г	21,37	± 0,04	11,33	± 0,04
14	Изолейцин	мг/100 г	44,83	± 0,04	26,21	± 0,04
15	Лейцин	мг/100 г	-	-	-	-
16	Лизин	мг/100 г	-	-	-	-
17	Метионин + цистин	мг/100 г	69,01	± 0,04	30,95	± 0,04
18	Треонин	мг/100 г	54,08	± 0,04	27,96	± 0,04
19	Фенилаланин + тирозин	мг/100 г	-	-	-	-
Содержание тяжелых металлов						
20	Ртуть (Hg)	мг/г	-	-	-	-
21	Свинец (Pb)	мг/г	-	-	-	-
22	Мышьяк (As)	мг/г	-	-	-	-
23	Кадмий (Cd)	мг/г	-	-	-	-
24	Цезий (Cs ¹³⁷)	мг/г	-	-	-	-
25	Стронций (Sr ⁹⁰)	мг/г	-	-	-	-
Содержание пестицидов						
26	ГЧЦГ	мг/кг	-	-	-	-
27	ДДТ	мг/кг	-	-	-	-
Микробиологические показатели						
28	КМАФАнМ	КОЕ/г	144		122	
29	<i>S. aureus</i>	КОЕ/г	-		-	
30	БГКП (колиформы)	КОЕ/г	-		-	
Витаминный состав						
31	Тиамин (B ₁)	мг%	0,293	± 0,004	0,151	± 0,004
32	Рибофлавин (B ₂)	мг%	0,365	± 0,004	0,199	± 0,004
33	Витамин E	мг%	0,145	± 0,004	0,081	± 0,004
34	Витамин C	мг%	1504,173	± 0,004	409,754	± 0,004
35	Ниацин (PP)	мг%	0,038	± 0,004	0,019	± 0,004

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

**ОРЕХОВО-ЗУЕВСКИЙ ФИЛИАЛ ФЕДЕРАЛЬНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО УЧРЕЖДЕНИЯ "МЕНДЕЛЕЕВСКИЙ
ЦЕНТР СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И
СЕРТИФИКАЦИИ**

Контроль качества товаров и услуг, повышение их конкурентоспособности
на внутреннем и мировом рынках, обеспечение единства измерений



УТВЕРЖДАЮ

Директор испытательного
центра пищевой продукции
Фролова И.В.
«27» февраля 2015 г.



АКТ № 113567-Л

о проведении лабораторных испытаний ореха фундук

Цель испытаний: определение теплофизических характеристик и плотности образцов ореха фундук.

Опыты проведены на установке для определения теплофизических и реологических характеристик вязкоупругих жидкостей Coesfeld RT-1394H (National Instruments) и пикнометре АТС (ThermoScientific).

Заказчик: Воронежский государственный университет инженерных технологий, асп. Столяров И. Н.

Результаты испытаний: результаты проведения опытов представлены в Приложении 1.

Заключение: определены основные теплофизические параметры и плотность представленного образца. Экспериментальные данные позволяют рекомендовать проведение опытно-промышленных испытаний.

Начальник испытательной лаборатории, д.х.н.

Инженер-исследователь



Волкова Н. Ф.

Подкопаев Р. Н.

№ п./п.	Интервал температур	Ед. изм.	<i>Образцы орехов фундук</i>			
			<i>W ~ 39,81 %</i>		<i>W ~ 5 %</i>	
			<i>исходная</i>		<i>конечная</i>	
			Коэффициент температуропроводности (<i>a</i>), $\times 10^8$ м ² /с			
1	20	°С	4,16	± 0,02	3,98	± 0,02
2	40	°С	4,24	± 0,02	4,06	± 0,02
3	60	°С	4,31	± 0,02	4,13	± 0,02
4	80	°С	4,38	± 0,02	4,2	± 0,02
			Коэффициент теплопроводности (<i>λ</i>), Вт/(м·К)			
5	20	°С	0,142	± 0,002	0,089	± 0,004
6	40	°С	0,146	± 0,002	0,092	± 0,004
7	60	°С	0,15	± 0,001	0,096	± 0,004
8	80	°С	0,154	± 0,002	0,098	± 0,002
			Массовая удельная теплоемкость (<i>c</i>), Дж/(кг·К)			
9	20	°С	3092,08	± 0,06	1887,77	± 0,04
10	40	°С	3128,16	± 0,06	1923,42	± 0,08
11	60	°С	3154,98	± 0,06	1971,75	± 0,08
12	80	°С	3187,03	± 0,04	2019,06	± 0,04
13	Плотность (<i>ρ</i>)	кг/м ³	1097,92		1173,33	

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

**ОРЕХОВО-ЗУЕВСКИЙ ФИЛИАЛ ФЕДЕРАЛЬНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО УЧРЕЖДЕНИЯ "МЕНДЕЛЕЕВСКИЙ
ЦЕНТР СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И
СЕРТИФИКАЦИИ**

Контроль качества товаров и услуг, повышение их конкурентоспособности
на внутреннем и мировом рынках, обеспечение единства измерений



УТВЕРЖДАЮ

Директор испытательного
центра пищевой продукции
Фролова И.В.
«20 февраля 2015 г.



АКТ № 113566-Л

о проведении лабораторных испытаний ореха фундук

Цель испытаний: определение химического, минерального, витаминного, аминокислотного состава образцов ореха фундук. Оценка содержания тяжелых металлов и пестицидов в образце. Исследование микробиологических показателей качества.

Опыты проведены с использованием жидкостного хроматографа Agilent 1100, оснащенного детектором на диодной матрице и масс-селективным квадрупольным детектором 1100 серии SL (колонки Synergi 4uHydro-RP 150x4,6 мм, Luna C 18(2) 5u 150 x 4,6 мм и ZorbaxSB-C18 150 x 4,6 мм и 250 x 4,6 мм с размером частиц 5 мкм); и анализатора TA-Lab.

Заказчик: Воронежский государственный университет инженерных технологий, асп. Столяров И. Н.

Результаты испытаний: результаты проведения опытов представлены в Приложении 1.

Заключение: определен химический, минеральный, витаминный, аминокислотный состав ореха фундук. Дана оценка содержания тяжелых металлов и пестицидов в образце. Исследованы микробиологические показатели качества. Экспериментальные данные рассмотренных образцов позволяют рекомендовать проведение опытно-промышленных испытаний.

Начальник испытательной лаборатории, д.х.н.

Волкова Н. Ф.

Инженер-исследователь

Подкопаев Р. Н.



Орехово-Зуевский филиал ФГУ «Менделеевский центр стандартизации, метрологии и сертификации»

№ п./п.	Измеряемые параметры	Ед. изм./ образцы	Фундук свежий	Фундук обжаренный
1	Общая влага	%	39,81 ± 0,02	5 ± 0,02
2	Массовая доля сырого протеина	%	14,83 ± 0,04	6,21 ± 0,04
3	Массовая доля крахмала	%	8,32 ± 0,04	7,91 ± 0,04
4	Зола	%	2,62 ± 0,04	2,44 ± 0,04
5	Общий сахар	%	11,38 ± 0,04	8,47 ± 0,04
6	Содержание NO ₃ -	мг/кг	29,93 ± 0,04	18,70 ± 0,04
Минеральный состав				
7	Натрий (Na)	мг%	3,76 ± 0,02	3,45 ± 0,02
8	Калий (K)	мг%	702,36 ± 0,04	688,22 ± 0,04
9	Кальций (Ca)	мг%	158,73 ± 0,04	144,29 ± 0,04
10	Магний (Mg)	мг%	178,84 ± 0,04	173,91 ± 0,04
11	Железо (Fe)	мг%	3,86 ± 0,04	3,57 ± 0,04
12	Фосфор (P)	мг%	284,03 ± 0,02	283,76 ± 0,02
Аминокислотный состав (незаменимые)				
13	Валин	мг/100 г	0,87 ± 0,04	0,43 ± 0,04
14	Изолейцин	мг/100 г	0,95 ± 0,04	0,53 ± 0,04
15	Лейцин	мг/100 г	1,03 ± 0,04	0,58 ± 0,04
16	Лизин	мг/100 г	0,59 ± 0,04	0,32 ± 0,04
17	Метионин + цистин	мг/100 г	69,01 ± 0,04	30,95 ± 0,04
18	Треонин	мг/100 г	54,08 ± 0,04	27,96 ± 0,04
19	Фенилаланин + тирозин	мг/100 г	1,22 ± 0,04	0,64 ± 0,04
Содержание тяжелых металлов				
20	Ртуть (Hg)	мг/г	-	-
21	Свинец (Pb)	мг/г	-	-
22	Мышьяк (As)	мг/г	-	-
23	Кадмий (Cd)	мг/г	-	-
24	Цезий (Cs137)	мг/г	-	-
25	Стронций (Sr90)	мг/г	-	-
Содержание пестицидов				
26	ГЧЦГ	мг/кг	-	-
27	ДДТ	мг/кг	-	-
Микробиологические показатели				
28	КМАФАнМ	КОЕ/г	139	28
29	S. aureus	КОЕ/г	-	-
30	БГКП (колиформы)	КОЕ/г	-	-
Витаминный состав				
31	Тиамин (B1)	мг%	0,426	31
32	Рибофлавин (B2)	мг%	0,095	32
33	Витамин E	мг%	21,283	33
34	Витамин C	мг%	4,765	34
35	Ниацин (PP)	мг%	2,760	35

АКТ ДЕГУСТАЦИИ

обжаренных полуфабрикатов из растительного сырья

«10» марта 2016 г.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: руководитель отдела «Орган по сертификации и Испытательная лаборатория» Воронежского государственного университета инженерных технологий, эксперт ОС ВГУИТ (РОСС RU.0001.3109141, РОСС RU.0001.31016560) И. В. Черемушкина

ЧЛЕНЫ КОМИССИИ: руководитель аккредитованной Испытательной лаборатории Воронежского государственного университета инженерных технологий Н.Н. Манилевич, ведущий инженер аккредитованной Испытательной лаборатории Воронежского государственного университета инженерных технологий Е.А. Толстикова, эксперт ОС ВГУИТ (РОСС RU. 0001.31016825) Е.А. Сальникова, эксперт ОС ВГУИТ (РОСС RU.0001.31012369) Р.И. Девяткина, зав. кафедрой ТЖПАХП профессор А.Н. Остриков.

Проведена дегустация обжаренных полуфабрикатов из растительного сырья – измельченные ядра ореха фундук, орехи каштана съедобного с линейным размером 3-5 мм, представленных аспирантом кафедры технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств И.Н. Столяровым, на соответствие требованиям ТУ 9293-001-02068108-16 «Обжаренные полуфабрикаты из растительного сырья».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: Представленные образцы соответствуют требованиям, предъявляемым к данным видам изделий ТУ 9293-001-02068108-16 «Обжаренные полуфабрикаты из растительного сырья».

Председатель:



И.В. Черемушкина

Члены комиссии:

Н.Н. Манилевич

Е. А. Толстикова

Е.А. Сальникова

Р.И. Девяткина

А.Н. Остриков

Таблица 1

Параметры	Этапы		
	I	II	III
	Орехи фундука		
Температура теплоносителя, К	403	413	423
Скорость теплоносителя, м/с	2	1,6	1,2
Продолжительность, с	720	360	540
	Каштаны		
Температура теплоносителя, К	423	433	443
Скорость теплоносителя, м/с	1,85	1,3	0,8
Продолжительность, с	720	300	660

После обжарки полуфабрикаты охлаждаются до температуры 40-45 °С в охлаждающей чаше, инспектируются на ленточных транспортерах, в результате чего из них удаляются различные примеси.

Готовый продукт направляют на упаковку в полипропиленовые мешки в упаковочную машину.

Качество обжаренных полуфабрикатов из растительного сырья должно соответствовать требованиям ТУ 9293-001-02068108-16.

Настоящие технические условия распространяются на обжаренные полуфабрикаты из растительного сырья, представляющие собой порезанные и обжаренные плоды каштана съедобного и ядра ореха фундука, предназначенные для использования в пищевом концентратной, хлебопекарной и кондитерской промышленности, а также в кулинарии.

Требования к продукции, направляемые на обеспечение ее безопасности для жизни и здоровья населения, изложены в п. 2.2 и разделе 3.

1 Технические требования

1.1 Обжаренные полуфабрикаты из растительного сырья должны соответствовать требованиям настоящих технических условий и вырабатываться в соответствии с действующей технологической инструкцией с соблюдением санитарных правил, утвержденных в установленном порядке.

1.2 Для производства обжаренных полуфабрикатов из растительного сырья применяются:

а) орехи каштана съедобного, соответствующие ГОСТ 16525-70, тщательно очищенные от скорлупы

б) ядра ореха фундук, соответствующие ГОСТ 16834-81, тщательно очищенные от скорлупы

1.3 Ассортимент

Вырабатываются обжаренные полуфабрикаты двух видов:

а) ядра ореха фундук, измельченные на кубики с линейным размером 3-5 мм и обжаренные перегретым паром атмосферного давления;

б) орехи каштана съедобного, измельченные на кубики с линейным размером 3-5 мм и обжаренные перегретым паром атмосферного давления;

1.4 Характеристики

1.4.1 Органолептические показатели качества обжаренных полуфабрикатов из растительного сырья должны соответствовать требованиям, указанным в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Органолептические показатели качества обжаренных ядер ореха фундук

Наименование показателя	Характеристика	Метод анализа
Внешний вид	Кубики с линейным размером 3-5 мм	По п. 3.5
Цвет	Равномерный, светло-	По п. 3.5

	коричневый	
Вкус и аромат	Нежный, сладковатый вкус, ореховый запах, без посторонних привкуса и запаха	По п. 3.5

Таблица 2

Органолептические показатели качества обжаренных орехов каштана съедобного

Наименование показателя	Характеристика	Метод анализа
Внешний вид	Кубики с линейным размером 3-5 мм	По п. 3.5
Цвет	Равномерный, коричневый	По п. 3.5
Вкус и аромат	Сладковатый вкус, характерный сладкий запах, без посторонних привкуса и запаха	По п. 3.5

1.4.2 Физико-химические показатели качества обжаренных полуфабрикатов должны соответствовать нормам, указанным в таблицах 3 и 4.

Таблица 3

Физико-химические показатели качества обжаренных ядер ореха фундук

Наименование показателя	Норма	Метод анализа
Массовая доля влаги, %, не более при выпуске с производства к окончанию срока хранения	5,0 6,5	По ГОСТ 15113.4
Массовая доля жира (в расчете на сухую массу), %, не менее	58,0	По ГОСТ 31902-2012
Сырой протеин (в расчете на сухую массу), %, не менее	5,0	По ГОСТ Р 53600-2009
Сырая клетчатка (в расчете на сухую массу), %, не менее	6,0	По ГОСТ Р 53600-2009
Массовая доля золы (в расчете на сухую массу), %, не менее	2,0	По ГОСТ 15113.8
Посторонние примеси	Не допускаются	По ГОСТ 15113.2
Зараженность вредителями	То же	По ГОСТ 15113.2
Загрязненность вредителями	То же	По ГОСТ 15113.2

Таблица 4

Физико-химические показатели качества обжаренных орехов каштана съедобного

Наименование показателя	Норма	Метод анализа
-------------------------	-------	---------------

Массовая доля влаги, %, не более при выпуске с производства к окончанию срока хранения	4,0 605	По ГОСТ 15113.4
Массовая доля жира (в расчете на сухую массу), %, не менее	2,0	По ГОСТ 31902-2012
Сырой протеин (в расчете на сухую массу), %, не менее	4,0	По ГОСТ Р 53600-2009
Сырая клетчатка (в расчете на сухую массу), %, не менее	7,0	По ГОСТ Р 53600-2009
Массовая доля золы (в расчете на сухую массу), %, не менее	3,0	По ГОСТ 15113.8
Посторонние примеси	Не допускаются	По ГОСТ 15113.2
Зараженность вредителями	То же	По ГОСТ 15113.2
Загрязненность вредителями	То же	По ГОСТ 15113.2

1.4.3 Содержание токсичных элементов, микотоксинов и пестицидов не должно превышать допустимых уровней, установленных СанПиН 2.3.2.1078-2001.

1.5 Упаковка и маркировка

Упаковка и маркировка обжаренных полуфабрикатов из растительного сырья – по ГОСТ 24508.

На этикетках должны быть указаны информационные данные о пищевой и энергетической ценности (см. приложение).

2 Приемка

2.1 Правила приемки – по ГОСТ 15113.0.

2.2 Контроль за содержанием токсичных элементов, микотоксинов и пестицидов осуществляют в соответствии с порядком, установленным производителем продукции по согласованию с органами государственного санитарного надзора и гарантирующим безопасность продукции.

2.3 Периодичность контроля массовой доли золы в полуфабрикатах определяют с периодичностью, установленной производителем продукции, гарантирующим эти показатели, а также по требованию потребителя и контролирующих организаций.

3 Методы анализа

3.1 Отбор проб и подготовка их к анализу – по ГОСТ 15113.0, ГОСТ 26929.

3.2 Методы определения качества упаковки и маркировки, массы нетто – по ГОСТ 24508 и ГОСТ 15113.1.

3.3 Методы анализа – по ГОСТ 15113.1, ГОСТ 26927, ГОСТ 26930 – ГОСТ 26934.

3.4 Содержание пестицидов и микотоксинов определяют по методам, утвержденным органами государственного санитарно-эпидемиологического надзора.

3.5 Определение органолептических показателей

Метод заключается в органолептической оценке внешнего вида, цвета, аромата и вкуса.

3.5.1 Аппаратура, посуда и материалы

Весы лабораторные общего назначения по ГОСТ 24104 с НПВ 500 г и допустимой погрешностью взвешивания не более 0,02 г.

Лабораторная мельница.

Стакан 4 по ГОСТ 9147.

Бумага писчая белая по ГОСТ 6656, ГОСТ 18510.

Допускается применение других средств измерений с метрологическими характеристиками не хуже вышеуказанных.

3.5.2 Проведение анализа

Органолептические показатели определяют в следующей последовательности: внешний вид и цвет, аромат и вкус.

3.5.2.1 Внешний вид и цвет определяют визуально при дневном свете или люминесцентном освещении в части объединенной пробы продукта, помещенной на лист белой бумаги ровным слоем.

3.5.2.2 Вкус и аромат определяют в продукте, измельченном на лабораторной мельнице.

4 Транспортирование и хранение

4.1 Транспортирование и условия хранения – по ГОСТ 24508.

4.2 Транспортная маркировка – по ГОСТ 14192 с указанием манипуляционного знака «Беречь от влаги».

4.3 Срок хранения обжаренных полуфабрикатов из растительного сырья – не более 6 месяцев со дня выработки.

Приложение

Информационные данные о пищевой и энергетической ценности полуфабрикатов

Содержание в 100 г продукта:

Для обжаренных ядер ореха фундука:

Белки – 5-7 г.

Жиры – 58-66 г.

Углеводы – 15-18 г.

Сумма аминокислот – 3-4 г.

Минеральные вещества (калий, кальций, натрий, магний, марганец и др.) – 1000-1500 мг.

Энергетическая ценность – 602-694 ккал.

Для обжаренных орехов каштана съедобного:

Белки – 4-6 г.

Жиры – 2-4 г.

Углеводы – 65-71 г.

Сумма аминокислот – 1-2 г.

Минеральные вещества (калий, кальций, натрий, магний, марганец и др.) – 800-1200 мг.

Энергетическая ценность – 294-344 ккал.