

На правах рукописи



ЗАСЫПКИН Никита Владимирович

**НАУЧНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ
СУШКИ ЗЕРНА ТРИТИКАЛЕ И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
В ТЕХНОЛОГИИ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Специальности:

05.18.12 – Процессы и аппараты пищевых производств

05.18.01 – Технология обработки, хранения и переработки
злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов,
плодоовощной продукции и виноградарства

Автореферат
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Воронеж – 2022

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (ФГБОУ ВО «ВГУИТ»)

Научные руководители: – доктор технических наук, профессор
Дранников Алексей Викторович

доктор сельскохозяйственных наук, доцент
Тертычная Татьяна Николаевна

Официальные оппоненты: – **Полянский Константин Константинович**
заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор
(Воронежский филиал ФГБОУ ВО «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова»),
профессор

Садыгова Мадина Карипулловна
доктор технических наук, доцент
(ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова»),
профессор

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный технический университет»,
г. Астрахань

Защита состоится «23» июня 2022 г. в 13⁰⁰ ч. на заседании совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Д 212.035.01 при ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» по адресу: 394036, г. Воронеж, проспект Революции, 19, конференц-зал.

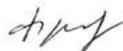
Отзывы (в двух экземплярах) на автореферат, заверенные гербовой печатью учреждения, просим направлять в адрес совета университета.

Автореферат размещен в сети Интернет на официальных сайтах Высшей аттестационной комиссии при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации <https://vak.minobrnauki.gov.ru> и ФГБОУ ВО «ВГУИТ» <http://www.vsu.net.ru> «19» апреля 2022 г.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «ВГУИТ».

Автореферат разослан «16» мая 2022 г.

Ученый секретарь совета по защите диссертаций
на соискание ученой степени кандидата наук,
на соискание ученой степени доктора наук Д 212.035.01,
профессор



Л.Н. Фролова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Производство зерна составляет основу агропромышленного комплекса Российской Федерации и является наиболее крупной отраслью сельского хозяйства, от развития которой зависит продовольственная безопасность страны, обеспеченность населения продуктами питания и уровень жизни. Приоритетная роль зерна определяется возможностью создания резервов и запасов зерна, предназначенных для гарантированного долгосрочного снабжения хлебоприемных предприятий. Снижение потерь зерна и обеспечение его сохранности определяется технологией послеуборочной обработки, в которой сушка имеет решающее значение. На всех этапах развития зерносушения ставится задача повышения эффективности технологических процессов сушки за счёт их интенсификации, снижения затрат на сушку, сохранения и повышения качества зерна.

Высокий научный потенциал зерносушения определяется фундаментальными работами А.В. Лыкова, А.С. Гинзбурга, Г.А. Егорова, В.А. Резникова, В.И. Жидко, П.Г. Романкова, Б.И. Леончика, В.И. Муштаева, С.П. Рудобашты, Б.С. Сажина, И.Т. Кретова, Ж.А. Андерсона, Дж. Ботерилла, Дж. Г. Фостера, О. Кришера и других российских и зарубежных ученых.

Анализ современного состояния технологии зерносушения показал, что конвективный способ высокотемпературной сушки, являющийся наиболее распространённым в современных зерносушильных установках, практически исчерпал свои возможности в направлении интенсификации процесса сушки и снижения энергозатрат. Существующие высокотемпературные зерносушилки не имеют гибкой технологической схемы, обеспечивающей сушку в оптимальных условиях в зависимости от начальных параметров поступающего на обработку зерна, не обеспечивают комплексного решения проблемы управления качеством зерна в процессе обработки.

Важнейшую роль в обеспечении повышения урожайности зерновых культур и устойчивости их к негативным воздействиям внешних факторов играет селекция, значение которой по мере усиления негативных тенденций климатических изменений будет увеличиваться. С этой точки зрения перспективной культурой для производства хлебопекарной муки является искусственно созданная зерновая культура тритикале, полученная при скрещивании пшеницы с рожью.

Содержание белка в тритикале на 1,0-1,5 % выше, чем у пшеницы, и на 3-4 % чем у ржи. Продукты, приготовленные из данной зерновой культуры, имеют высокую питательную ценность, поскольку белок, входящий в состав этого растения, отличается повышенным содержанием незаменимых аминокислот, а именно валина, лизина, треонина, аргинина, глицина и других. Зерно тритикале не уступает зерну пшеницы по содержанию макро- и микроэлементов. В нем много меди, фосфора, калия, магния, кальция, натрия, цинка, марганца и железа, а также витаминов В9, В5, В1, РР и Е.

Разработке технологий хлеба из целого зерна тритикале посвящены труды многих ученых: В.М. Антонова, Н.П. Козьминой, С.И. Коневой, С.Я. Корячкиной, Е.А. Кузнецовой, Л.П. Пащенко, Н.В. Лабутиной, Ю.Н. Малофеевой, А.Н. Новиковой, Р.Д. Поландовой, А.С. Романова, Ю.Ф. Рослякова, Т.В. Саниной, В.Я. Черных, В.В. Щербатенко, I. Boris, G.G. Frederick и др.

Развитие научных и практических основ по использованию зерна тритикале в производстве хлебобулочных изделий актуально с точки зрения расширения сырьевой базы и увеличения ассортимента продукции с повышенной пищевой ценностью.

Работа проводилась в соответствии с планом госбюджетной НИР кафедры машин и аппаратов пищевых производств ФБГОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий».

Цель и задачи диссертационной работы. Цель работы: решение комплекса научно-практических задач, направленных на создание энергоэффективной и экологически безопасной низкотемпературной сушки зерна тритикале сорта Горка и его использование при разработке теплонасосных технологий получения хлеба повышенной биологической ценности.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- изучение основных кинетических закономерностей процесса низкотемпературной сушки зерна тритикале сорта Горка и выявление рациональной области изменения режимных параметров, обеспечивающих снижение удельных энергозатрат и получение высушенного зерна высокого качества;
- определение теплофизических характеристик зерна тритикале сорта Горка;
- определение форм связи влаги с зерном, выявление влияния структуры полупроницаемой оболочки зерна тритикале сорта Горка на внутренний тепломассоперенос;
- коррекция математической модели процесса сушки зерна тритикале в шахтной зерносушилке и ее численно-аналитическое решение;
- разработка энергетически эффективной и экологически безопасной технологии низкотемпературной сушки зерна с использованием абсорбционной водоаммиачной холодильной установки, работающей в режиме теплового насоса;
- генерация альтернативной энергии в производстве хлебобулочных изделий с применением тепловых насосов;
- расширение ассортимента хлеба повышенной пищевой и биологической ценности с использованием морковного порошка и тритикалевой муки;
- производственные испытания предлагаемых теплонасосных технологий хлебобулочных изделий и их эксергетическая оценка.

Научная новизна.

1. Изучены кинетические закономерности процесса сушки зерна тритикале сорта Горка в экспериментальной сушилке, имитирующей противо-

точно-прямоточное продувание зернового слоя при рядом расположении подводящих и отводящих коробов. Экспериментальные кривые сушки и нагрева зерна тритикале, а также кривые скорости сушки свидетельствуют о наличии только периода убывающей скорости сушки.

2. Методом нестационарного теплового режима определены коэффициенты теплопроводности и температуропроводности, а также удельная теплоемкость образцов зерна тритикале сорта Горка в диапазоне температур от 293 до 373 К для значений влажности 21,83 и 13,57 %. Для всех режимов нагрева теплофизические характеристики тритикале аппроксимируются уравнениями линейной регрессии с погрешностью, не превышающей 5 %.

3. Методами дифференциально-сканирующей калориметрии и термогравиметрии зерна выделены периоды дегидратации воды и преобразования сухих веществ при термическом воздействии на зерно тритикале сорта Горка, выявлены температурные зоны, соответствующие высвобождению влаги с различной формой и энергией связи. Установлено, что при термическом воздействии полупроницаемые оболочки зерна тритикале теряют способность пропускать влагу. Вследствие закрытия пор оболочек в пограничном слое эндосперма скапливаются водяные пары, образующие термическое сопротивление, затрудняющее внутренний массоперенос.

4. Скорректирована математическая модель процесса сушки зерна тритикале с учетом тепломассообмена между эндоспермом и оболочкой в виде граничных условий четвертого рода и решена численно-аналитическими методами. Повышена точность моделирования на 2-3 % по сравнению с известной моделью процесса сушки зерна при противоточно-прямоточном продувании зернового слоя.

5. Разработана технология хлеба повышенной пищевой и биологической ценности с использованием морковного порошка и тритикалевой муки (пат. № 2755689). Подготовка теста влажностью 46,0 % осуществлялась при следующем выборе соотношения рецептурных компонентов, 1 кг на 100 кг мучных компонентов: мука тритикалевая Т-70 – 45,5–47,0; мука пшеничная хлебопекарная первого сорта – 45,0; отруби пшеничные – 2,0–4,5; морковный порошок – 4,0–7,0; добавка подкисляющая пищевая «Цитросол» – 2,5; дрожжи хлебопекарные прессованные – 2,0; соль пищевая – 1,5; сахар белый – 1,0; вода – по расчету.

Практическая ценность и реализация результатов.

Экспериментальными методами установлена возможность низкотемпературной двухсекционной сушки зерна тритикале сорта Горка с зоной охлаждения при рациональных параметрах сушильного агента с влагосодержанием 0,001 – 0,002 кг/кг в первой зоне с температурой 80-90 °С и скоростью 1,1-1,2 м/с, во второй зоне 110-115 °С и скоростью 0,6 м/с и в зоне охлаждения с температурой, не превышающей 10 °С температуры окружающей среды.

Для реализации режимов низкотемпературной сушки зерна тритикале разработана теплонасосная технология с применением абсорбционного вододвигателя (пат. № 2765597).

Разработаны теплонасосные технологии подготовки зерна к помолу, хлебобулочных изделий с использованием двухступенчатого парокомпрессионного (пат. № 2758516) и парожеторного (пат. № 2758514) тепловых насосов. Эксергетический анализ предлагаемых технологий показал, что генерация альтернативной энергии за счет утилизации и рекуперации теплоты низкопотенциальных источников в замкнутых термодинамических циклах позволила вернуть в систему часть энергии отработанных теплоносителей и снизить удельные энергозатраты на 25-30 % и, как следствие, снизить себестоимость хлебобулочных изделий. Составлен алгоритм управления технологическими режимами в области допустимых значений, обусловленных получением готовой продукции высокого качества при минимальных энергетических затратах.

Выполнена оптимизация рецептурного состава хлеба повышенной пищевой и биологической ценности по критерию пористости хлебного мякиша. Установлены минимальные и максимальные интервалы/пределы дозировок добавок, используемых при приготовлении хлеба. Для морковного порошка интервал находился в пределах 4,0-7,0, %; для отрубей - 2,0-4,5 % а для тритикалевой муки сорта Т-70 - 0,5-2,0 %. Анализ химического состава показал, что содержание белков в хлебе, приготовленном по предлагаемой технологии в сравнении с известными, увеличилось в 1,09-1,12 раза, содержание фосфора – в 1,4-1,8 раза, кальция – в 1,56-1,89 раза, содержание клетчатки увеличилось в 1,16-1,5 раза. Биологическая ценность белков составляет 74,9-76,7 %, что на 10,7-12,5 % выше, чем у хлеба, полученного по традиционным технологиям.

Научные положения, выносимые на защиту:

- результаты экспериментального исследования кинетических закономерностей процесса сушки зерна тритикале сорта Горка при противоточно-прямоточном обдувании зернового слоя;
- результаты численного эксперимента по математической модели связанного теплопереноса при сушке зерна тритикале;
- схемы теплонасосных технологий подготовки зерна к помолу, сушки зерна и получения хлебобулочных изделий;
- метод оптимизации рецептурного состава хлеба повышенной пищевой и биологической ценности.

Степень достоверности результатов. Научные положения, выводы и рекомендации, представленные в диссертации, соответствуют теоретическим концепциям, общепринятым в выбранной области исследований. При выполнении работы применялись современные методы экспериментальных исследований. Проверка достоверности полученных результатов проводилась посредством апробированных математических методов моделирования.

Апробация работы. Работа выполнялась в лабораториях ФГБОУ ВО «ВГУИТ», АО «Хлебозавод № 7» г. Воронежа, Орехово-Зуевском филиале ФБУ «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний». Материалы и отдельные результаты исследований по теме диссертации докладывались на международных, всероссийских научных, научно-технических и научно-практических конференциях: (Ялта, 2021); (Кемерово, 2022 г); (Севастополь, 2022); (Красноярск 2022); (Воронеж, 2022). Результаты работы демонстрировались на XXVI Международной специализированной выставке хлебопекарного и кондитерского рынка (23-25 марта 2021, ЦВК «Экспоцентр», Москва), получен диплом за разработку рецептуры хлеба «Знаменский» с использованием муки тритикалевой и морковного порошка.

В условиях АО «Хлебозавод № 7» г. Воронежа проведены производственные испытания технологии хлеба повышенной пищевой и биологической ценности, подтверждающие целесообразность его промышленного внедрения.

Соответствие диссертации паспорту научных специальностей.

Данная работа соответствует п. 2, 3, 4 паспорта специальности 05.18.12 – «Процессы и аппараты пищевых производств» и п. 3, 4, 6 паспорта специальности 05.18.01 – «Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства».

Публикации. По теме диссертации опубликовано 15 работ, в том числе 6 статей в журналах, рекомендованных ВАК РФ, получено 4 патента РФ на изобретения.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 173 страницах машинописного текста, содержит 44 рисунка и 18 таблиц. Список литературы включает 175 наименований, в том числе 16 зарубежных. Приложения к диссертации представлены на 19 страницах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении аргументирована актуальность темы диссертации, научная новизна и практическая значимость выполненных исследований.

В первой главе выполнен анализ современного состояния теории, техники и технологии сушки зерна, рассматриваются существующие модельные представления в данной области. Даётся обзор методов решения задач тепломассопереноса при сушке зерна злаковых культур. Определены направления совершенствования способов сушки зерна тритикале с применением теплонасосных технологий. Показаны объективные предпосылки для повышения роли тепловых насосов (ТН) в технологии хлебобулочных изделий с использованием тритикалевой муки. Рассмотрены вопросы расширения ассортимента хлебопекарной продукции из зерна тритикале. На основании проведенного анализа сформулированы цель и задачи диссертационной работы, определены пути и методы решения поставленных научных задач.

Во второй главе выполнены исследования по изучению теплофизических характеристик зерна тритикале сорта Горка. Методом нестационарного теплового режима определены коэффициенты теплопроводности и температуропроводности, а также удельная теплоемкость образцов цельного и размолотого зерна тритикале сорта Горка в диапазоне температур от 293 до 373 К для значений влажности 21,83 и 13,57 % (рисунок 1).

Для всех режимов нагрева теплофизические характеристики тритикале аппроксимируются уравнениями линейной регрессии с погрешностью, не превышающей 5 %. С повышением температуры теплофизические характеристики увеличиваются. Полученные знания использованы при моделировании процесса сушки зерна тритикале, для проектирования новых конструкций и модернизации действующих сушильных установок, обеспечивающих экономно энергетических ресурсов.

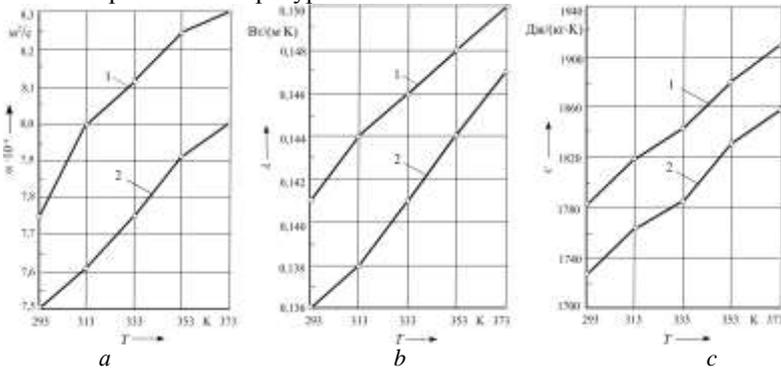


Рисунок 1 - Зависимость коэффициента температуропроводности (а), теплопроводности (b) и удельной теплоемкости (с) зерна тритикале сорта Горка от температуры для значений влажности $W, \%$: 1 - 21,83; 2 - 13,57

Полученные опытные данные обработаны на ЭВМ в среде «Microsoft Excel». В результате были получены уравнения, описывающие теплофизические свойства зерна тритикале сорта Горка для интервала температур 293-373К:

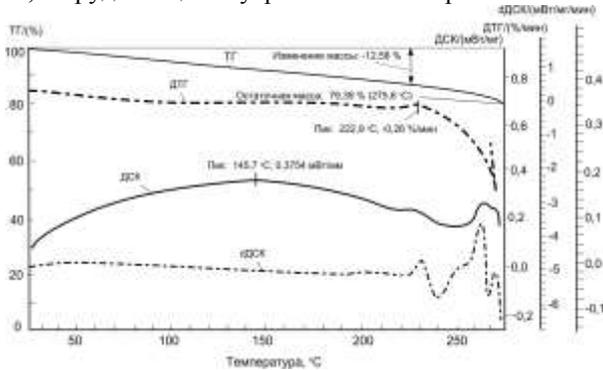
при $W = 13,57 \%$: $a = (0,0073T + 5,3291) \cdot 10^{-8}$, $R^2 = 0,999$; $\lambda = 0,00014 T + 0,0946$, $R^2 = 0,997$; $c = 1,6192 T + 1259,4584$, $R^2 = 0,991$;

при $W = 21,83 \%$: $a = (0,00545 T + 6,2952) \cdot 10^{-8}$, $R^2 = 0,986$; $\lambda = 0,00011 T + 0,1092$, $R^2 = 0,996$; $c = 1,5732 T + 1323,2024$, $R^2 = 0,998$;

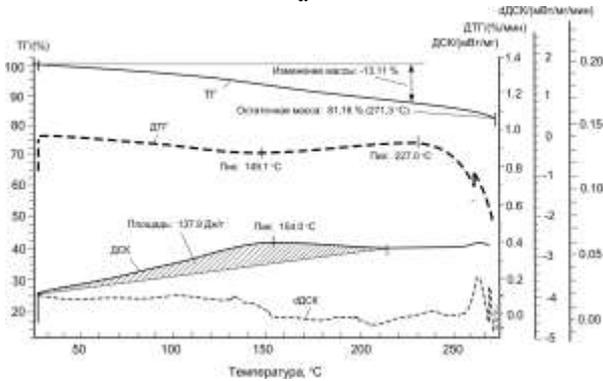
где R^2 - коэффициент детерминации.

Методами дифференциально-сканирующей калориметрии и термограмметрии выделены периоды дегидратации воды и преобразования сухих веществ при термическом воздействии на зерно тритикале сорта Горка, выявлены температурные зоны, соответствующие высвобождению влаги с различной формой и энергией связи (рисунок 2). Установлено, что при термическом воздействии полупроницаемые оболочки зерна тритикале теряют спо-

способность пропускать влагу. Вследствие закрытия пор оболочек в пограничном слое эндосперма скапливаются водяные пары, образующие термическое сопротивление, затрудняющее внутрениий массоперенос.



а



б

Рисунок 2 – Термограмма зерна тритикале сорта Горка: (а) – размолотого; (б) – цельного

Проведены исследования процесса сушки зерна тритикале в экспериментальной установке, имитирующей противоточно-противоточное продувание зернового слоя при рядном расположении подводящих и отводящих коробов шахтной зерносушилки. Изучение кинетических закономерностей процесса сушки проводилось в следующем диапазоне режимных параметров: влагосодержание, температура и скорость сушильного агента соответственно 0,001-0,002 кг/кг, 80-115 °С; 0,6-1,2 м/с при толщине продуваемого слоя 20-25 мм; начальная влажность зерна 18-22 %.

Кинетика процесса сушки представлена кривыми сушки, скорости сушки и нагрева зерна, анализ которых свидетельствует о наличии только периода убывающей скорости сушки (рисунок 3).

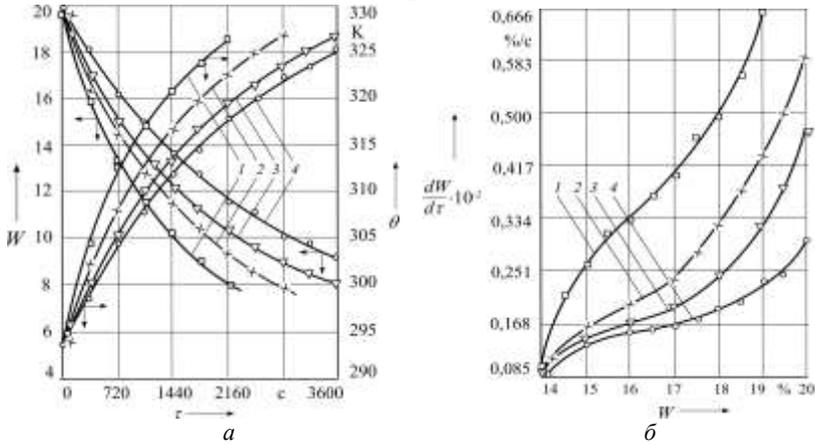


Рисунок 3 - Кривые сушки и нагрева зерна тритикале (а); кривые скорости сушки зерна тритикале (б) $v = 1,1$ м/с; $T = 363$ К; h : 1 – 0,25 м; 2 – 0,005; 3 – 0,010; 4 – 0,015

Выявленные особенности структуры оболочки зерна тритикале сорта Горка учтены при моделировании процесса сушки. Установлено, что состав клеток полупроницаемой семенной оболочки при тепловом воздействии существенно сдерживает скорость внутреннего теплопереноса. В этой связи известная модель процесса сушки зерна в шахтной зерносушилке была скорректирована.

В среднем геометрические размеры зерна тритикале сорта Горка составляют 10-12 мм в длину и около 2,5-3 мм в ширину и толщину, что дает основание рассматривать его в виде бесконечного цилиндра с радиусом r . Для решения математической модели процесса сушки приняты допущения: теплоперенос осуществлялся в направлении нормали к поверхности зерна; в начальный момент времени температура и влагосодержание по объему зерна постоянны.

С учетом допущений математическая модель конвективной сушки зерна тритикале представлена дифференциальными уравнениями в цилиндрической системе координат:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{\rho_o c} \left(\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial t}{\partial r} \right) + \frac{1}{\rho_o c} \frac{\partial \lambda}{\partial r} \frac{\partial t}{\partial r} + \frac{\varepsilon r_c}{c} \frac{\partial u}{\partial \tau}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = a_m \left(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} \right) + \frac{\partial a_m}{\partial r} \frac{\partial u}{\partial r} + a_m \delta \left(\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial t}{\partial r} \right) + \left(\delta \frac{\partial a_m}{\partial r} + a_m \frac{\partial \delta}{\partial r} \right) \frac{\partial t}{\partial r}, \quad (2)$$

с начальными условиями

$$t(r, 0) = \begin{cases} T_c, & \text{при } r \geq R, \\ t_{нач}, & \text{при } r < R \end{cases}, \quad (3)$$

$$u(r, 0) = \begin{cases} u_c, & \text{при } r \geq R, \\ u_{нач}, & \text{при } r < R \end{cases}, \quad (4)$$

граничными условиями третьего рода между оболочкой и сушильным агентом:

$$-\lambda_\kappa \left(\frac{\partial t_\kappa}{\partial r} \right)_{r=R} + \alpha_\kappa [T_c - t_\kappa(\tau)] - r_c (1 - \varepsilon) \beta \rho_o [u_\kappa(\tau) - u_p] = 0, \quad (5)$$

$$-a_{m\kappa} \left(\frac{\partial u_\kappa}{\partial r} \right)_{r=R} + a_{m\kappa} \delta \left(\frac{\partial t_\kappa}{\partial r} \right)_{r=R} + \beta [u_\kappa(\tau) - u_p] = 0, \quad (6)$$

граничными условиями четвертого рода между эндоспермом зерна и оболочкой:

$$\lambda_\kappa \left(\frac{\partial t_\kappa}{\partial r} \right)_{r=r_s} = \lambda_n \left(\frac{\partial t_n}{\partial r} \right)_{r=r_s}, \quad (7)$$

$$a_{m\kappa} \left(\frac{\partial u_\kappa}{\partial r} \right)_{r=r_s} = a_{mn} \left(\frac{\partial u_n}{\partial r} \right)_{r=r_s}, \quad (8)$$

и условиями симметрии

$$\left. \frac{\partial t}{\partial r} \right|_{r=0} = 0, \quad \left. \frac{\partial u}{\partial r} \right|_{r=0} = 0. \quad (9)$$

Задача (5)-(13) решалась при условии, что граница фронта испарения влаги в эндосперме зерна подвижна и перемещение ее задавалось линейной зависимостью:

$$d(\tau) = \xi \tau, \quad 0 \leq r \leq R - d(\tau), \quad [R - d(0) = R, \quad \tau > 0]. \quad (10)$$

В уравнениях (1)-(9) приняты обозначения: $t(r, \tau)$, $t_\kappa(r, \tau)$ – температура эндосперма зерна и оболочки, К; $u(r, \tau)$, $u_{об}(r, \tau)$ – влагосодержание эндосперма и оболочки, кг/кг; $t_{нач}$, T_c , $t_{об}$ – начальные значения температуры зерна, сушильного агента и оболочки, К; $u_{нач}$, u_c , $u_{об}$ – начальное влагосодержание зерна, сушильного агента и оболочки, кг/кг; c , $c_{об}$ – удельная теплоемкость эндосперма зерна и оболочки, кДж/(кг·К); ρ_o – плотность зерна, кг/м³; r_c – удельная теплота парообразования, кДж/кг; ε – критерий фазового превращения; λ , λ_κ – коэффициенты теплопроводности эндосперма зерна и оболочки, Вт/(м·К); a , $a_{об}$ – коэффициенты температуропроводности эндосперма зерна и оболочки, м²/с; $\delta = (\Delta u / \Delta t)_{q_m=0}$ – относительный коэффициент термодиффузии влажного зерна, кг вл/(кг·с·вещ·К); a_m , $a_{моб}$ – коэффициенты диффузии влаги в эндосперме зерна и оболочке, м²/с; α , $\alpha_{об}$ – коэффициенты теплоотдачи эндосперма зерна и оболочки, Вт/(м²·К); β – коэффициент массоотдачи, м/с; r – координата, м; τ – время, с.

Методом функциональных преобразований краевая задача (1)–(9) переведена в классическую задачу с движущейся границей фронта испарения.

При создании алгоритма решения системы дифференциальных уравнений (11–12) с начальными (3) и граничными условиями (5–8), а также условием симметрии (9) они приведены к безразмерному виду:

$$\frac{\partial T}{\partial Fo} = \frac{\partial^2 T}{\partial X^2} + \frac{2}{X} \frac{\partial T}{\partial X} - \varepsilon Ko \frac{\partial U}{\partial Fo}; \quad (11)$$

$$\frac{\partial U}{\partial Fo} = Lu \left(\frac{\partial^2 U}{\partial X^2} + \frac{2}{X} \frac{\partial U}{\partial X} \right) - Lu Pn \left(\frac{\partial^2 T}{\partial X^2} + \frac{2}{X} \frac{\partial T}{\partial X} \right); \quad (12)$$

$$T(X, Fo)_{Fo=0} = 0, \quad U(X, Fo)_{Fo=0} = 0; \quad (13)$$

$$\left. \frac{\partial T(X, Fo)}{\partial X} \right|_{X=1} - Bi_q [1 - T(1, Fo)] + (1 - \varepsilon) Ko Lu Ki_m = 0; \quad (14)$$

$$- \left. \frac{\partial U(X, Fo)}{\partial X} \right|_{X=1} + Pn \left. \frac{\partial T(X, Fo)}{\partial X} \right|_{X=1} + Ki_m = 0; \quad (15)$$

$$\left. \frac{\partial T(X, Fo)}{\partial X} \right|_{X=\xi} = 0; \quad \left. \frac{\partial U(X, Fo)}{\partial X} \right|_{X=\xi} = 0 \quad (16)$$

$$\left. \frac{\partial T(X, Fo)}{\partial X} \right|_{X=0} = 0, \quad \left. \frac{\partial U(X, Fo)}{\partial X} \right|_{X=0} = 0, \quad (17)$$

где $U = \frac{u_n - u}{u_n - u_p}$ – безразмерное влагосодержание; $T = \frac{t - t_n}{t_c - t_n}$ – безразмерная

температура; $Fo = \frac{a\tau}{R^2}$ – критерий Фурье; $Ko = \frac{r \Delta u}{c_m \Delta T}$ – критерий Коссовича;

$Pn = \frac{\delta \Delta T}{\Delta u}$ – критерий Поснова; $Lu = \frac{a_m}{a}$ – критерий Лыкова; $Bi_q = \frac{\alpha R}{\lambda}$,

$Bi_m = \frac{\alpha_m R}{a_m}$ – соответственно теплообменный и массообменный критерий Био.

Для определения полей температур и влагосодержания использован зональный метод расчета, при котором нестационарный тепло- и массоперенос разбивался на зоны (временные интервалы). Выбирая дискретизацию процесса сушки по времени, считалось, что на каждом интервале времени коэффициенты c , c_k , λ , λ_k , a , a_k , a_m , a_{mk} , α_k , α , ε , δ , r_c принимались постоянными.

Предложена разностная схема для численного решения уравнений. Составлены алгебраические уравнения в форме конечных разностей для вычисления температуры и влажности зерна в некоторых, заранее выбранных точках сеточной модели. В системе Maple 9.5 составлена программа численного счета температур и влагосодержаний зерна тритикале, изменяющихся от времени по радиусу частицы в процессе сушки. Отклонение расчетных данных от экспериментальных не превышало 11 % .

По данным экспериментальных и теоретических исследований обоснована сушка зерна сушильным агентом с низким влагосодержанием и высокой влагопоглощающей способностью. В этой связи разработана технология низкотемпературной сушки зерна с применением абсорбционного теплового насоса, обеспечивающая максимальное извлечение полезной энергии в материальных и тепловых потоках (пат. № 2765597). Предложено с помощью теплонасосной системы преобразовывать низкопотенциальную энергию отработанного сушильного агента в полезную теплоту высокопотенциального сушильного агента, подаваемого на сушку без предварительного калориферного нагрева (рисунок 4).

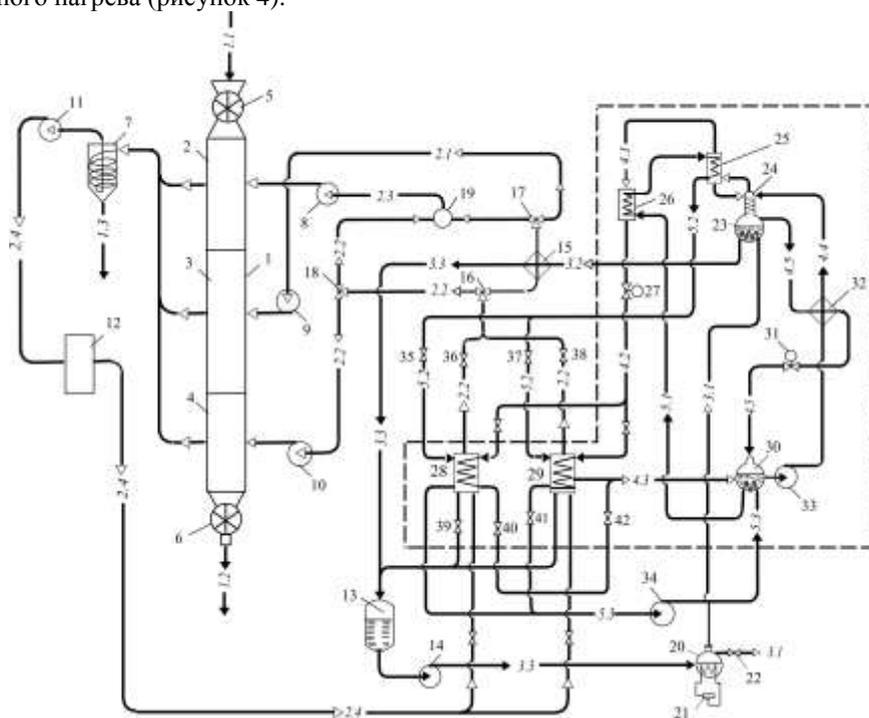


Рисунок 4 – Теплонасосная технология низкотемпературной сушки зерна тритикале

Результатом предлагаемой технологии сушки зерна в шахтной сушилке, укомплектованной абсорбционным тепловым насосом, является отказ от потребления природного газа, повышение уровня энергоресурсосбережения и снижение экологического воздействия на окружающую среду.

В третьей главе предложена генерация альтернативной энергии на предприятиях хлебопродуктов. Разработаны теплонасосные технологии подготовки зерна к помолу и хлебобулочных изделий за счет утилизации и рекуперации теплоты низкопотенциальных источников в замкнутых термодинамических циклах.

Парокомпрессионный тепловой насос обеспечил подготовку теплоносителей разного температурного потенциала для непрерывной организации технологического цикла на всех этапах подготовки зерна к помолу. Эксергетический анализ показал, что внедрение ТН создает реальные условия для реализации энергетически эффективной и экологически безопасной технологии в непрерывном режиме эксплуатации основного и вспомогательного оборудования.

Особенностью теплонасосной технологии хлебобулочных изделий являлось применение хлебопекарной печи с секционной обогревающей рубашкой фирмы ThermoRol в термомасляном исполнении с программируемым управлением всеми функциями (рисунок 5). В такой печи в качестве высокотемпературного теплоносителя применяется специальное масло, которое подогревается до заданной температуры и с помощью маслонасоса перекачивается к нагревательным панелям, установленных в печи.

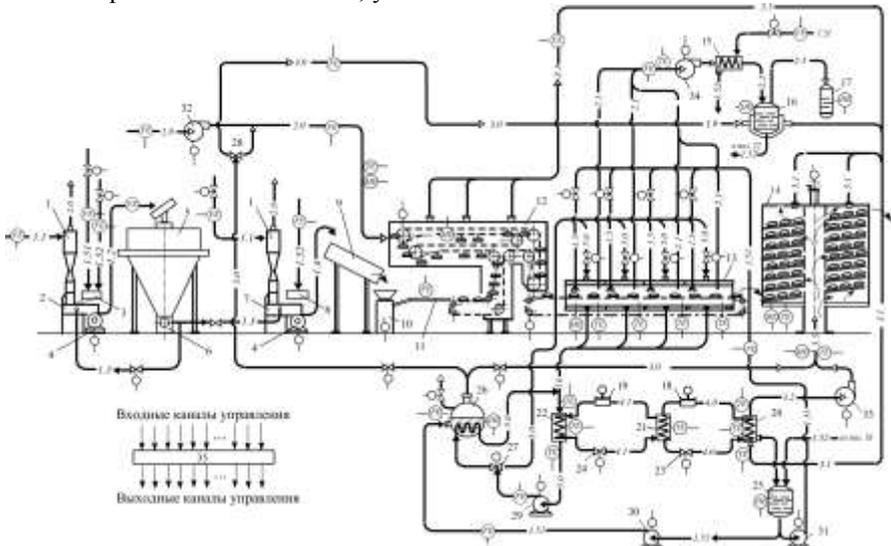


Рисунок 5 – Теплонасосная технология хлебобулочных изделий со средствами контроля и управления

Тепловое излучение нагревательных панелей при подаче воды обеспечивает необходимые термовлажностные условия в каждой секции по длине ленты, на которой располагаются тестовые заготовки.

Для подготовки теплоносителей в замкнутых термодинамических циклах используется масло в качестве промежуточного теплоносителя для получения насыщенного пара в парогенераторе и в качестве основного высокопотенциального энергоносителя, подаваемого в секционную обогревающую панель термоасляной печи.

В работе обосновано энергоэффективное вовлечение двухступенчатого парокомпрессионного теплового насоса в технологическую схему, обеспечивающего повышение термодинамического совершенства сложной теплотехнологической системы. В качестве рабочих тел для первой ступени выбран фреон R600a, для второй ступени использована вода R718. Сопряжение ступеней осуществляется через конденсатор-испаритель, который для ступени низкого давления является конденсатором, а для ступени высокого давления испарителем. Установлены режимы функционирования теплового насоса для подготовки высокопотенциального и низкопотенциального теплоносителя для реализации энергоемких процессов растойки, выпечки и охлаждения тестовых заготовок. Построены термодинамические диаграммы для фреона R600a и воды R718, наглядно отражающие рабочие циклы ступеней теплового насоса (рисунок 6).

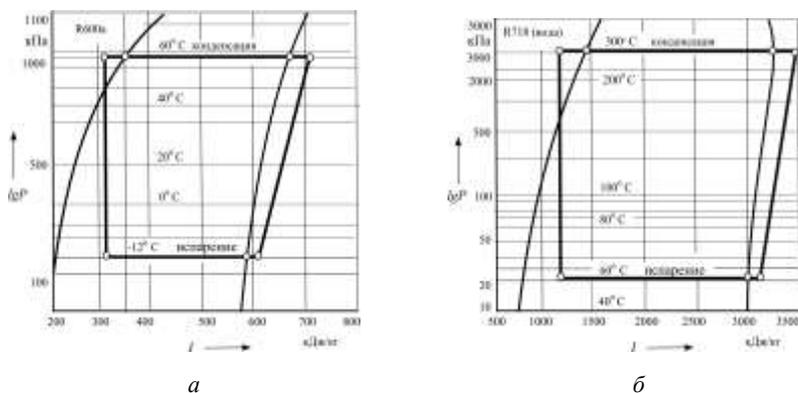


Рисунок 6 - Термодинамические циклы в диаграмме $\lg P$ - I : а- первая ступень теплового насоса (R600a); б- вторая ступень (R718); P – давление, кПа; I – энтальпия, кДж/кг

Использование воды как наилучшего хладагента для второй ступени ПКТН имеет существенные преимущества. Сжатие водяных паров до высоких температур может быть обеспечено, например, в одно- и многоступенчатом центробежном компрессоре или роторном компрессоре типа Рутс.

Расчет эксергии каждого материального и энергетического потока осуществлялся по методике Бродянского в соответствии с моделью окружающей среды Шаргута по обмену потоками между контрольными поверхностями. По результатам расчета составлен эксергетический баланс теплонасосной технологии хлебобулочных изделий. Эксергетический КПД предлагаемой теплонасосной технологии составил 16,35 %. Ступенчатый ПКТН обеспечил реализацию резервов энергоэффективности и вернул значительную часть бросовой энергии в технологическую систему.

Эксергетическая диаграмма Грассмана-Шаргута иллюстрирует возврат в систему вторичной низкопотенциальной теплоты, за счет чего существенно снижется расход энергии на единицу массы готовой хлебопекарной продукции (рисунок 7).

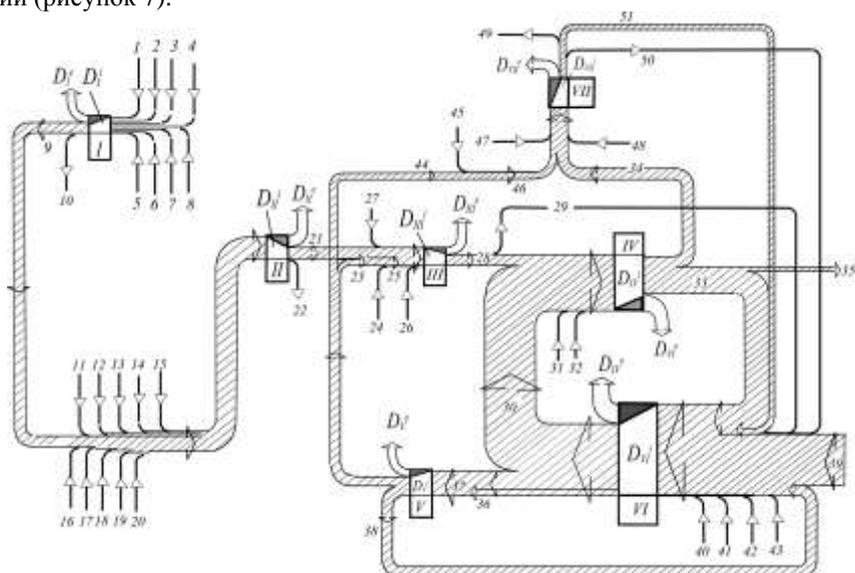


Рисунок 7 - Эксергетическая диаграмма Грассмана-Шаргута

В работе предложено рациональное использование тепловой и электрической энергии в системе холодо- и теплоснабжения при производстве хлеба с применением парозежекторного теплового насоса (пат. № 2758514). Основным принципиальным решением по снижению энергозатрат в предлагаемой теплонасосной технологии являлся оптимальный выбор текущих значений температур рабочего пара и холодной воды. Отклонение от этих значений неизбежно приводило к увеличению потребляемой энергии: понижение температуры кипения хладагента в испарителе на 1 °С приводило к необходимости увеличения расхода рабочего пара в эжектор, а следовательно, к перерасходу энергии на 5–7 %, а повышение температуры конденсации на 1 °С при-

водило к увеличению расхода энергии на 7,0–10,0 % Применение ПЭТН открывает возможность использования теплоты низкотемпературного потенциала, в частности, бросовой теплоты газотурбинных установок и котельных агрегатов.

В четвертой главе разработана технология получения хлеба повышенной пищевой и биологической ценности с улучшенными органолептическими (вкусом, запахом, состоянием мякиша) и физико-химическими показателями качества (пористости мякиша, удельного объема) (таблица 1).

Это достигается за счет применения рецептурных компонентов, характеризующихся повышенным содержанием моно- и дисахаридов, аминокислот и других промежуточных продуктов распада белка.

Повышение показателей качества обусловлено внесением морковного порошка (ТУ 9761-029-02068634-12) влажностью 7,1 % и муки тритикалевой сорта Т-70 (ГОСТ 34142-2017).

Таблица 1 – Показатели качества хлеба

Наименование показателей	Характеристика показателей качества хлеба			
	По известному способу [Сборник технологических инструкций]	По предлагаемому способу при дозировке морковного порошка и отрубей пшеничных соответственно, %		
		4,0 и 4,5	5,0 и 3,0	6,5 и 2,0
Внешний вид: форма	Соответствующая форме, в которой производилась выпечка, без боковых выплывов	Соответствующая форме, в которой производилась выпечка, без боковых выплывов		
поверхность	Шероховатая, без крупных трещин и подрывов.	Шероховатая, без крупных трещин и подрывов.		
Цвет мякиша	Светло-коричневый	Коричневый		
Состояние мякиша: пористость	Равномерная, без пустот и уплотнений	Равномерная, без пустот и уплотнений		
пропеченность	Пропеченный, не липкий, не влажный на ощупь, мало эластичный.	Пропеченный, не липкий, не влажный на ощупь, эластичный.		
промес	Без комочков и следов непромеса	Без комочков и следов непромеса		
Вкус и запах	Свойственный данному виду изделия, без постороннего привкуса и запаха	Свойственный данному виду изделия, без постороннего привкуса и запаха		
Влажность мякиша, %	45,0±0,2	45,0±0.2	44,9±0.2	45,0±0.2
Кислотность мякиша, град	7,0±0,3	6,8±0.3	7,0±0.3	6,9±0.3
Пористость мякиша (%)	59,0±2,5	66,5±2,5	65,3±2,5	64,0±2,5

Тритикале совмещает полноценность белков ржи с хлебопекарными свойствами пшеницы. Себестоимость 1 ц тритикале на 5-6 % ниже, чем в среднем по зерновым культурам, а рентабельность – на 10 % выше. Тритикалевая мука отличается большим содержанием углеводов, белков (12,2-14,9 %), а также минеральных веществ и витаминов группы В. Белки тритикалевой муки содержат больше треонина, лейцина, фенилаланина, чем белки пшеничной хлебопекарной.

Содержание лизина в тритикалевой муке также выше, поэтому белок этой культуры является более полноценным в биологическом отношении, чем белок пшеницы.

Разработан технологический цикл производства хлеба повышенной пищевой ценности (пат. № 2755689).

Решена оптимизационная задача математической статистики по данным экспериментальных исследований, которая заключалась в поиске интервалов дозировок компонентов, обеспечивающих максимальное значение пористости хлебного мякиша. Оптимальное содержание морковного порошка в смеси составляет $X_1 = 5,5$ %, отрубей $X_2 = 3,25$ % и тритикалевой муки $X_3 = 1,25$ %, тогда пористость хлеба составит $Y_1 = 64,688$ %.

На основании выполненного эксперимента получены регрессионные уравнения функциональных зависимостей:

$$Y_1 = 56,77 + 1,29 X_1 + 0,25 X_2; \quad (18)$$

$$Y_1 = 61,65 + 1,19 X_1 - 3,25 X_2; \quad (19)$$

$$Y_1 = 73,73 X_2 + 63,48 X_1 + 27,78 X_3. \quad (20)$$

По уравнениям (18)–(20) построены графики 3–мерных зависимостей, которые носят смысл номограмм и имеют практическое значение при прогнозировании состава рецептуры хлеба (рисунки 8-9):

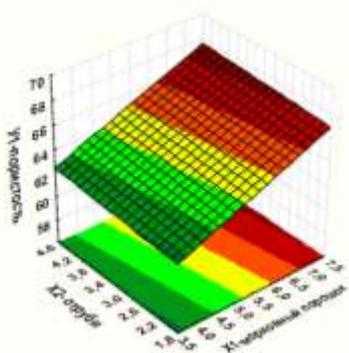


Рисунок 8 – График 3М–поверхности зависимости пористости (Y_1) от содержания морковного порошка (X_1) и отрубей (X_2)

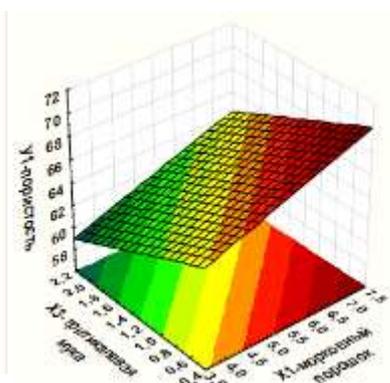


Рисунок 9 – График 3М–поверхности зависимости пористости (Y_1) от содержания морковного порошка (X_1) и тритикалевой муки (X_3)

Задавая количественный состав, входящих в рецептуру компонентов, можно рассчитать величину пористости мякиша хлеба. (рис. 10).



Рисунок 10 – Тернарный график зависимости пористости от количества компонентов, входящих в ее состав

Приготовленный хлеб имеет улучшенные физико-химические показатели, что обеспечивает получение изделий достаточного объема с более эластичным мякишем и хорошо развитой пористостью. Хлеб имеет приятный запах и вкус, без посторонних привкусов и запахов. Корка изделий – равномерно окрашенная, коричневого цвета, мякиш – коричневый. Это достигается за счет применения рецептурных компонентов, характеризующихся повышенным содержанием моно- и дисахаридов, аминокислот и других промежуточных продуктов распада белка. При выпечке реакция меланоидинообразования протекает более интенсивно. В результате улучшаются вкус и цвет готовых изделий, усиливается их аромат.

Анализ химического состава показал (таблица 2), что содержание белков в хлебе, приготовленном по предлагаемому способу в сравнении с известными технологиями, увеличилось в 1,09–1,12 раза, содержание фосфора – в 1,4–1,8 раза, кальция – в 1,56–1,89 раза, содержание клетчатки увеличилось в 1,16–1,5 раза.

Биологическая ценность белков составляет 74,9–76,7 % (таблица 2), что на 10,7–12,5 % выше, чем у хлеба, полученного по традиционным технологиям (64,2 %). По результатам исследований и производственных испытаний разработана рецептура и нормы расхода сырья на производство хлеба «Знаменский».

Таким образом, предлагаемая технология хлеба позволила:

- повысить пищевую и биологическую ценность за счет замены муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта на муку пшеничную первого сорта, муку тритикалевую Т-70 и морковный порошок, дополнительно обогатить хлеб белковыми веществами, пищевыми волокнами, микронутриентами;
- улучшить органолептические (вкус, запах, состояние мкиша) и физико-химические показатели (удельный объем и пористость мякиша хлеба);
- расширить ассортимент хлебобулочных изделий.

Таблица 2 - Химический состав хлеба

Наименование показателей	Контроль хлеб с отрубями	Дозировка морковного порошка, %		
		4,0	5,0	6,5
Содержание белковых веществ, %	7,4±0,30	8,1±0,32	8,2±0,34	8,3±0,34
Массовая доля, %:				
общих сахаров	45,80±0,4	51,70±0,4	53,92±0,4	54,73±0,4
моносахаров	10,6±0,2	12,5±0,2	13,7±0,2	14,1±0,2
Содержание фосфора, %	1,0±0,1	1,4±0,1	1,6±0,1	1,8±0,1
Содержание кальция, %	0,09	0,14	0,16	0,17
Содержание клетчатки, %	1,2±0,1	1,45±0,1	1,63±0,1	1,78±0,1
Биологическая ценность, %	64,2	74,9	75,8	76,7

Таблица 3 - Рецепт и нормы расхода сырья на производство хлеба «Знаменский»

Наименование сырья	Количество, кг
Мука тритикалевая хлебопекарная Т-70	45,5-47,0
Мука пшеничная 1 с	45,0
Морковный порошок	4,0-7,0
Отруби пшеничные	2,0-4,5
Добавка подкисляющая пищевая «Цитросол»	2,5
Дрожжи хлебопекарные прессованные*	2,0
Соль пищевая	1,5
Сахар белый	1,0
Итого	107,0

Проведены производственные испытания технологии хлеба «Знаменский» в условиях АО «Хлебозавод № 7» г. Воронежа, подтвердившие целесообразность промышленного внедрения мучных изделий функционального назначения.

Основные выводы и результаты

Изучены кинетические закономерности процесса сушки зерна тритикале сорта Горка в экспериментальной сушилке, имитирующей противоточно-прямоточное продувание зернового слоя при рядном расположении подводящих и отводящих коробов.

Установлена возможность низкотемпературной двухсекционной сушки зерна с зоной охлаждения при рациональных параметрах сушильного агента с влажосодержанием 0,001–0,002 кг/кг в первой зоне с температурой 80–90 °С и скоростью 1,1–1,2 м/с, во второй зоне 100–110 °С и скоростью 0,6 м/с и в зоне охлаждения с температурой, не превышающей 10 °С температуры окружающей среды и скоростью 5,5 м/с.

Методом нестационарного теплового режима определены коэффициенты теплопроводности и температуропроводности, а также удельная теплоемкость образцов зерна тритикале сорта Горка в диапазоне температур от 293 до 373 К для значений влажности 21,83 % и 13,57 %. Для всех режимов нагрева теплофизические характеристики тритикале аппроксимируются уравнениями линейной регрессии с погрешностью, не превышающей 5 %.

Методами дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК) и термогравиметрии (ТГ) зерна выделены периоды дегидратации воды и преобразования сухих веществ при термическом воздействии на зерно тритикале сорта Горка, выявлены температурные зоны, соответствующие высвобождению влаги с различной формой и энергией связи. Установлено, что при термическом воздействии полупроницаемые оболочки зерна тритикале теряют способность пропускать влагу. Вследствие закрытия пор оболочек в пограничном слое эндосперма скапливаются водяные пары, образующие термическое сопротивление, затрудняющее внутренний массоперенос.

Скорректирована и решена математическая модель процесса сушки зерна тритикале с учетом теплообмена между эндоспермом и оболочкой в виде граничных условий четвертого рода. Повышена точность моделирования на 2–3 % по сравнению с известной моделью процесса сушки зерна при противоточно-противоточном продувании зернового слоя.

Показано, что технология низкотемпературной сушки зерна тритикале может быть реализована в прямоточной шахтной сушилке, укомплектованной абсорбционным водоаммиачным тепловым насосом, обеспечивающим максимальное извлечение полезной энергии в материальных и тепловых потоках. Полностью исключено потребление природного газа, исключено негативное экологическое воздействие на окружающую среду и снижены удельные энергозатраты на 15–20 %.

Разработаны теплонасосные технологии подготовки зерна к помолу, хлебобулочных изделий с использованием двухступенчатого ПКТН и ПЭТН. Выполнен эксергетический анализ предлагаемых технологий, который показал, что генерация альтернативной энергии за счет утилизации и рекуперации

теплоты низкопотенциальных источников в замкнутых термодинамических циклах позволила вернуть в систему часть энергии отработанных теплоносителей и снизить удельные энергозатраты на 25-30 %.

Разработана технология хлеба повышенной пищевой и биологической ценности с использованием морковного порошка и тритикалевой муки. Подготовка теста влажностью 46,0 % осуществлялась при следующем выборе соотношения рецептурных компонентов, 1 кг на 100 кг мучных компонентов: мука тритикалевая Т-70 – 45,5–47,0; мука пшеничная хлебопекарная первого сорта – 45,0; отруби пшеничные – 2,0–4,5; морковный порошок – 4,0–7,0; добавка подкисляющая пищевая «Цитросол» – 2,5; дрожжи хлебопекарные прессованные – 2,0; соль пищевая – 1,5; сахар белый – 1,0; вода – по расчету.

Выполнена оптимизация рецептурного состава по критерию пористости хлебного мякиша. Установлены минимальные и максимальные интервалы/пределы дозировок добавок, используемых при приготовлении хлеба.

Анализ химического состава показал, что содержание белков в хлебе, приготовленном по предлагаемой технологии в сравнении с известными, увеличилось в 1,09–1,12 раза, содержание фосфора – в 1,4–1,8 раза, кальция – в 1,56–1,89 раза, содержание клетчатки увеличилось в 1,16–1,5 раза. Биологическая ценность белков составляет 74,9–76,7 %, что на 10,7–12,5 % выше, чем у хлеба, полученного по традиционным технологиям.

Результаты работы отражены в следующих публикациях: Статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ

1. Дранников, А.В., Исследование теплофизических характеристик зерна тритикале сорта Горка методом нестационарного теплового режима / А.В. Дранников, Т.Н. Тертычная, А.А. Шевцов, Н.В. Засыпкин, А.А. Рындин // Вестник ВГУИТ. – 2021. – Т. 83. – № 2. – С. 17–22.
2. Тертычная, Т.Н. Перспективы использования морковного порошка в производстве хлеба из тритикалевой муки / Т.Н. Тертычная, А.В. Дранников, А.А. Шевцов, Н.В. Засыпкин // Хлебопродукты. – 2021. – № 11. – С. 46–48.
3. Дранников, А.В., Пароэжекторный тепловой насос как источник альтернативной энергии в технологии хлебобулочных изделий / А.В. Дранников, А.А. Шевцов, Е.И. Пономарева, Н.В. Засыпкин, Л.В. Логунова // Вестник ВГУИТ. – 2021. – Т. 83. – № 3. – С. 23–29.
4. Дранников, А.В. Реализация низкотемпературной сушки в прямоточной шахтной зерносушилке с применением абсорбционного теплового насоса / А.В. Дранников, А.А. Шевцов, Т.Н. Тертычная, Н.В. Засыпкин // Известия Вузов. Пищевая технология. – 2022. – № 1. – С. 91 – 95.
5. Дранников, А.В. Генерация альтернативной энергии в производстве хлебобулочных изделий с применением теплового насоса / А.В. Дранников, А.А. Шевцов, Т.Н. Тертычная, Н.В. Засыпкин // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2021. – № 4. – С. 132–145.
6. Дранников, А.В. Эксергетический анализ технологической линии подготовки зерна тритикале к помолу / А.В. Дранников, А.А. Шевцов, Л.И. Лыткина, Н.В. Засыпкин, Д.С. Порядин // Современная наука и инновации. – 2022. – № 1 (37). – С. 40 – 50.

Статьи и материалы конференций

7. Тертычная, Т.Н. Исследование сложных химических реакций в зерне тритикале сорта Горка методом термического анализа / Т.Н. Тертычная, И.В. Кузнецова, А.В. Дранников, А.А. Шевцов, Н.В. Засыпкин // Актуальная биотехнология. – 2021. – № 1. – С.124.

8. Дранников, А.В., Теплонасосные системы в шахтных зерносушилках / А.В. Дранников, А.А. Шевцов, Н.В. Засыпкин // Сб. тезисов III Нац. каонф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Холодильная техника и биотехнологии». – Кемерово: Кемеровский гос. ун-т, 2022. – С. 44 - 45.

9. Математическое моделирование процесса сушки зерна тритикале сорта Горка в шахтной зерносушилке / А. В. Дранников, А. А. Шевцов, А. В. Звягин, Н. В. Засыпкин, Д. С. Порядин // Сб. научных статей и докладов VIII Междунар. науч.-практ. конф. «Продовольственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечение». – Воронеж: ВГУИТ, 2022. – С. 513 - 515.

10. Оптимизация рецептурного состава пшеничного хлеба с добавлением трикалевой муки и морковного порошка / Т. Н. Тертычная, А. В. Дранников, Л. П. Бессонова, Н. В. Засыпкин // Матер. докладов IV Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Инновационные технологии пищевых производств». – Севастополь: СевГУ, 2022. – С. 168 - 171.

11. Засыпкин, Н.В. Эксергетическая оценка теплонасосного энергоснажения хлебопекарного производства / Н.В. Засыпкин // Матер. Всероссийской научно-практ. конф. «Современные тенденции в пищевых производствах». – Красноярск: Краснояр. гос. аграр. ун-т, 2022. С. 55 - 60.

Патенты

12. Пат. 2755689 РФ, А21D 2/36. Способ производства хлеба / Шевцов А.А., Тертычная Т.Н., Куликов С.С., Дранников А.В., Засыпкин Н.В.; заявитель и патентообладатель Воронеж. гос. универ. инженерных технол. № 2021105724; Заявл. 05.03.2021; Оpubл. 20.09.2021, Бюл. № 26.

13. Пат. 2758516 РФ, А21D 8/06, А21В 7/00. Способ управления технологией получения хлебобулочных изделий / Шевцов А.А., Тертычная Т.Н., Дранников А.В., Засыпкин Н.В.; заявитель и патентообладатель Воронеж. гос. универ. инженерных технол. № 2020144098. Заявл. 30.12.2020; Оpubл. 29.10.2021, Бюл. № 31.

14. Пат. 2758514 РФ, А21D 8/06, А21В 7/00. Способ производства хлебобулочных изделий / Шевцов А.А., Пономарева Е.И., Логунова Л.В, Засыпкин Н.В.; заявитель и патентообладатель Воронеж. гос. универ. инженерных технол. № 202105346. Заявл. 02.03.2021; Оpubл. 29.10.2021, Бюл. № 31.

15. Пат. 2765597 РФ F26В 20/00, F26В 21/04, F26В 3/06, F26В 17/12. Способ сушки зерна злаковых культур и установка для его осуществления / Шевцов А.А., Тертычная Т.Н., Дранников А.В., Засыпкин Н.В.; заявитель и патентообладатель Воронеж. гос. универ. инженерных технол. № 2020143934; Заявл. 30.12.2020; Оpubл. 01.02. 2022, Бюл. № 4 .

Подписано в печать 19.04.2022. Формат 60×84 ¹/₁₆.

Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ .

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»
(ФГБОУ ВО «ВГУИТ»)

Отдел полиграфии

Адрес университета и отдела полиграфии:

394036 Воронеж, пр. Революции, 19