

Герасимова Элла Олеговна

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РЖАНО-ПШЕНИЧНОГО
ХЛЕБА ИЗ ЗАМОРОЖЕННЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ВЫСОКОЙ
СТЕПЕНИ ГОТОВНОСТИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ
ПАРАМЕТРОВ ВЫПЕЧКИ**

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

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский государственный университет пищевых производств» (ФГБОУ ВО «МГУПП»)

Научный руководитель: **Лабутина Наталья Васильевна,**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Магомедов Газибег Омарович**
доктор технических наук, профессор
заведующий кафедрой технологии
хлебопекарного, кондитерского,
макаронного и зерноперерабатывающего
производств
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
университет инженерных технологий»

Иунихина Вера Сергеевна
доктор технических наук, профессор,
первый проректор,
заведующий кафедрой пищевых производств
НОЧУ ДПО «Международная промышленная
академия»

Ведущая организация: **ФГБОУ ВО «Кубанский государственный
технологический университет»**

Защита состоится «24» февраля 2022 г. в 10:00 ч на заседании Совета по защите диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Д 212.148.03 при ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств» по адресу: 125080, Москва, А-80, Волоколамское шоссе, д. 11, корп. А, ауд.302.

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

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «МГУПП». Полный текст диссертации размещен в сети Интернет на официальном сайте ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств» <http://www.mgupp.ru>.

Автореферат размещён в сети Интернет на официальных сайтах: ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ (<http://vak.minobrnauki.gov.ru>) и ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств» (<http://www.mgupp.ru>).

Автореферат разослан «__»_____ 2021 г.

Ученый секретарь Совета по защите
кандидатских и докторских
диссертаций Д 212.148.03,
кандидат технических наук

_____ Ю.В. Николаева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Одной из перспективных технологий хлебопекарной промышленности является технология хлебобулочных изделий из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности, позволяющая предприятиям любой мощности оперативно реагировать на потребности рынка, иметь пополняемый запас продукции в ассортименте, а также имеет стратегическое значение.

Выпечка является завершающей стадией приготовления хлеба, при которой происходят сложные теплофизические, биохимические, микробиологические, коллоидные процессы, вызывающие изменение качества готового изделия. Изучению процесса прогрева и моделированию параметров выпечки хлеба из замороженных полуфабрикатов до сих пор посвящены лишь немногочисленные работы, хотя отдельные аспекты этой технологии исследованы.

В научно-технической литературе недостаточны сведения о функциональных свойствах нетрадиционных видов сырья, обладающих криопротекторными свойствами для получения ржано-пшеничного хлеба хорошего качества из замороженных полуфабрикатов и влиянии режимов выпечки на готовность хлебобулочных полуфабрикатов.

Представленная работа направлена на разработку теоретического обоснования и научно-практических рекомендаций по совершенствованию технологии ржано-пшеничного формового хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности на основе моделирования параметров выпечки.

Поэтому данное направление исследований является актуальным для хлебопекарной промышленности.

Степень разработанности темы. Разработке технологии хлебобулочных изделий с использованием замороженных полуфабрикатов посвящены научные работы отечественных и зарубежных исследователей: *Р.Д. Поландовой И.В. Матвеевой, Н.В. Лабутиной, Н.В. Кенийз, Н.В. Сокол, О.А. Суворова, К. Lorenz, W. Bushuk, M. E. Bárcenas, С. М. Rosell* и др. Основные закономерности процесса прогрева хлеба были разработаны и сформулированы *Л.Я. Ауэрманом, А.В. Лыковым, А.С. Гинзбургом, И.И. Маклюковым, В.И. Маклюковым, А.А. Михелевым, А.Т. Лисовенко, В.А. Брязуном, В.Я. Черных.* Исследования комплекса биотехнологических и теплофизических процессов, происходящих при замораживании, криохранении и размораживании полуфабрикатов позволят обеспечить высокое качество хлебобулочных изделий из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности.

Цель и задачи исследования. Целью исследований является разработка теоретического обоснования и научно-практических рекомендаций по совершенствованию технологии ржано-пшеничного формового хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности на основе моделирования параметров выпечки.

Для реализации поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- исследование влияния температуры пекарной камеры и продолжительности выпечки на процесс прогрева ржано-пшеничных полуфабрикатов высокой степени готовности;
- исследование влияния соотношения ржаной и пшеничной муки и добавления жировых продуктов, муки из семян чиа при выпечке на процесс прогрева ржано-пшеничного формового хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности;
- исследование влияния температуры пекарной камеры при двухстадийной выпечке на

- процесс прогрева ржано-пшеничного формового хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности;
- определение готовности формового ржано-пшеничного хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности;
 - построение теплофизической модели процесса выпечки ржано-пшеничных полуфабрикатов высокой степени готовности;
 - опытно-промышленная апробация и определение экономической эффективности разработанной технологии формового ржано-пшеничного хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности.

Научная новизна. Диссертационная работа содержит научную новизну в соответствии с п. 3, 4 и 7 паспорта научной специальности 05.18.01 – «Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства».

Определены зависимости влияния соотношения ржаной и пшеничной муки, добавления рецептурных компонентов на протекание теплофизических процессов при выпечке, которые обеспечивают формирование оптимальной криотропной структуры замороженных ржано-пшеничных полуфабрикатов и получение хлеба высокого качества.

Установлены зависимости изменения температуры внутренних слоёв выпекаемой тестовой заготовки от продолжительности при двухстадийной выпечке ржано-пшеничных полуфабрикатов высокой степени готовности.

Установлена температура перехода теста в мякиш и начало протекания коллоидных процессов при выпечке формового ржано-пшеничного хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности в зависимости от рецептуры.

Установлено, что критерием готовности формового ржано-пшеничного хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности является минимальное количество свободной влаги в изделии, которое зависит от продолжительности выпечки.

Построена теплофизическая модель процесса выпечки формового ржано-пшеничного хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности, позволяющая устанавливать рациональные режимы прогрева в зависимости от соотношения ржаной и пшеничной муки в смеси и рецептурных ингредиентов. Основываясь на результатах теплофизической модели процесса выпечки, можно прогнозировать и обеспечивать качество выпекаемого ржано-пшеничного хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности, создаваемого тепловыми режимами.

Теоретическая значимость работы. Проведённые исследования позволяют: расширить теоретические знания в области процесса прогрева ржано-пшеничного формового хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности; позволяющие обосновать влияние тепловых режимов и продолжительности выпечки на показатели качества готового хлеба.

Результаты исследований и научные выводы использованы в учебном процессе ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств» при реализации образовательных программ по направлениям подготовки бакалавров 19.03.02 и магистров 19.04.02 «Продукты питания из растительного сырья».

Практическая значимость работы. На основе выполненных исследований разработан и научно обоснован рациональный режим выпечки ржано-пшеничного хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности, в основе которого лежит

зависимость между теплофизическими и физико-химическими свойствами выпекаемой тестовой заготовки и параметрами процесса выпечки.

Определена температура начала перехода теста в мякиш при выпечке формового ржано-пшеничного хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности в зависимости от рецептуры, которая лежит в пределах от $(67,5 \pm 0,5)$ до $(77,5 \pm 0,5)$ °С.

Разработан рациональный двухстадийный режим выпечки формового ржано-пшеничного хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности, обеспечивающий получение поверхностного слоя мякиша-корки толщиной 4–6 мм с учетом минимального содержания свободной влаги в материале.

Проведены опытно-промышленные испытания рационального двухстадийного режима выпечки ржано-пшеничного формового хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности на АО «Кондитерско-булочный комбинат «Черемушки».

Разработана и утверждена техническая документация на новый вид замороженных ржано-пшеничных полуфабрикатов высокой степени готовности и готовых изделий из них «Любительские» (ТУ 10.71.11–043–020680634–2021).

Методология и методы исследования. Методологической основой являются исследования, направленные на изучение процесса прогрева при выпечке ржано-пшеничного формового хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности при использовании различных рецептов и режимов выпечки. Методология исследования основана на изучении теплофизических зависимостей, полученных при выпечке хлеба с использованием медь-константановых термопар, соединенных с устройством S-Recorder L. Выпечки ржано-пшеничных полуфабрикатов и ржано-пшеничного формового хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности производились радиационно-конвективным способом.

Положения, выносимые на защиту:

- экспериментальное обоснование режимных параметров выпечки ржано-пшеничного формового хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности в зависимости от соотношения ржаной и пшеничной муки, добавления жировых продуктов, муки из семян чиа;
- совокупность экспериментальных данных по влиянию режима выпечки ржано-пшеничного формового хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности на показатели качества готовых изделий;
- теплофизическая модель процесса выпечки ржано-пшеничного формового хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности.

Степень достоверности результатов. Достоверность полученных результатов подтверждена современными методами анализа и обработки экспериментальных данных с помощью программы Microsoft Office Excel, а также в производственных условиях.

Личный вклад диссертанта. Заключается в проведении сбора и анализа научно-технической литературы, планировании и реализации научных экспериментов, обобщении результатов исследований и оформлении диссертации, проведении апробации результатов, а также в подготовке научных публикаций.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы были представлены на: Научной конференции с международным участием «Развитие пищевой промышленности России: кадры и наука» (Москва, 2017 г.); Научно-практической конференции «Продукты переработки зерна: технологии, безопасность, качество» (Москва, 2019 г.); Международной научно-практической молодежной конференции, посвящённой памяти Р.Д. Поландовой «Пищевые технологии будущего: инновационные

идеи, научный поиск, креативные решения» (Москва, 2019 г.); VI Международной научно-практической конференции «Хлебобулочные, кондитерские и макаронные изделия XXI века» (Краснодар, 2019 г.); VI Национальной научной конференции "Инновации в технологии продуктов здорового питания" (Балтийский морской форум, Калининград, 2019 г.); VI Международной научно-технической конференции «Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство» (посвящённой 90-летию технологического факультета ФГБОУ ВО ВГУИТ, Воронеж, 2019 г.); IV международной конференции «Качество зерна, муки и хлеба» (Москва, 2019 г.); VII Международной научно-практической конференции «Хлебобулочные, кондитерские и макаронные изделия XXI века» (Краснодар, 2021 г.).

Публикации. Основные результаты исследований опубликованы в 12 печатных работах, в том числе 6 в научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, и 1 в международном журнале с открытым рецензированием.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, обзора литературы, экспериментальной части, выводов, списка используемой литературы. Работа изложена на 176 страницах основного текста, включает 74 рисунка и 27 таблиц. Список литературы состоит из источников российских и зарубежных авторов.

Основное содержание работы

1. Обзор литературы

Обобщены данные научно-технической литературы по совершенствованию технологии хлеба и хлебобулочных изделий из замороженных полуфабрикатов. Представлены и проанализированы теплофизические процессы и особенности выпечки, происходящие при производстве ржано-пшеничного хлеба. Изучены процессы, протекающие при криохранении и дефростации хлебобулочных изделий и влияние различных факторов на качество готовой продукции.

2. Экспериментальная часть

Исследования проводили в лабораториях кафедр «Зерна, хлебопекарных и кондитерских технологий» и «Инженерии процессов, аппаратов, холодильной техники и технологий» ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств». Производственные испытания проводили на АО «Кондитерско-булочный комбинат «Черемушки».

2.1. Объекты и методы исследования

Для оценки свойств сырья, полуфабрикатов и качества готовых изделий использовали общепринятые и специальные методы исследования.

В работе применяли следующее сырьё: муку ржаную хлебопекарную обдирную (ГОСТ 7045–2017); муку пшеничную хлебопекарную 1-го сорта (ГОСТ 26574-2017); муку из семян чиа (лат. *Salvia hispanica*, декларация соответствия ТР ТС 021/2011); соль пищевую (ГОСТ Р 51574–2018); дрожжи хлебопекарные прессованные (ГОСТ Р 54731–2011); воду питьевую (ГОСТ 32220–2013, СанПиН 2.1.4.1116–2002); масло подсолнечное (ГОСТ Р 1129–2013); масло кукурузное (ГОСТ 8808–2000); маргарин (ГОСТ 32188–2013); жир энзимной переэтерификации (ГОСТ 19708–2019).

При проведении исследований изучали физико-химические свойства ржаной обдирной муки и пшеничной муки 1-го сорта.

Ржаную муку анализировали по показателям качества: влажности, кислотности, числу падения. Влажность муки определяли по ГОСТ 9404–88; кислотность муки – по

ГОСТ 27493–87; число падения – по ГОСТ 27676–88. Пшеничную муку анализировали по показателям качества: влажности, кислотности, количеству и качеству клейковины, числу падения. Влажность муки определяли по ГОСТ 9404–88; кислотность муки – по ГОСТ 27493–87; число падения – по ГОСТ 27676–88; количество и качество клейковины – по ГОСТ 27839–2013.

Тесто готовили при различном соотношении ржаной обдирной и пшеничной муки 1-го сорта 60:40, 70:30 и 80:20 с добавлением жировых продуктов растительного и животного происхождения, муки из семян чиа в различных количествах на густой ржаной закваске. Замес теста осуществляли на тестомесильной машине фирмы Diosna. После брожения исследуемые образцы теста делили и формовали в тестовые заготовки массой 0,4 кг и помещали в расстойный шкаф с температурой 30–32°C и относительной влажностью 75–80 %. Ржано-пшеничные полуфабрикаты высокой степени готовности и ржано-пшеничный формовой хлеб из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности выпекали радиационно-конвективным способом в хлебопекарной печи Miwe condo.

При исследовании процесса выпечки использовали информационно-измерительную установку с использованием радиационно-конвективного и электроконтактного способов энергоподвода.

Для измерения температуры выпекаемых тестовых заготовок использовали медь-константановые термопары типа Т, соединяя их с устройством S-Recorder L, сигнал с которого подавался на компьютер. Для контроля изменения высоты выпекаемых тестовых заготовок в процессе выпечки использовали форму со стеклом и этот параметр регистрировали с помощью видеокамеры.

Выпеченные ржано-пшеничные полуфабрикаты высокой степени готовности охлаждали в естественных условиях до температуры окружающей среды, упаковывали в пищевую полиэтиленовую пленку и помещали в морозильную камеру с температурой – (35 ÷ 37) °С для криохранения в течение 1, 3 нед и 1, 2 мес. После криохранения полуфабрикаты освобождали от упаковки и размораживали. Размораживание полуфабрикатов проводили в естественных условиях или расстойном шкафу при температуре (30–32) °С. После размораживания полуфабрикаты допекали до полной готовности в лабораторной печи радиационно-конвективным способом энергоподвода. Анализ ржано-пшеничного формового хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности проводили через 16–24 часа по органолептическими физико-химическими показателям.

Электроконтактную выпечку проводили путём подвода электрического тока к электродам при постоянном напряжении 60 и 80 В, в зависимости от задач исследований. Для измерения температуры использовали медь-константановые термопары с регистрирующим устройством, изменение высоты и массы регистрировали с помощью видеокамеры в режиме реального времени.

2.2 Результаты исследования и их анализ

Исследования проведены в условиях кафедры «Зерна, хлебопекарных и кондитерских технологий» ФГБОУ ВО «МГУПП».

Структурная схема исследований приведена на рис. 1.

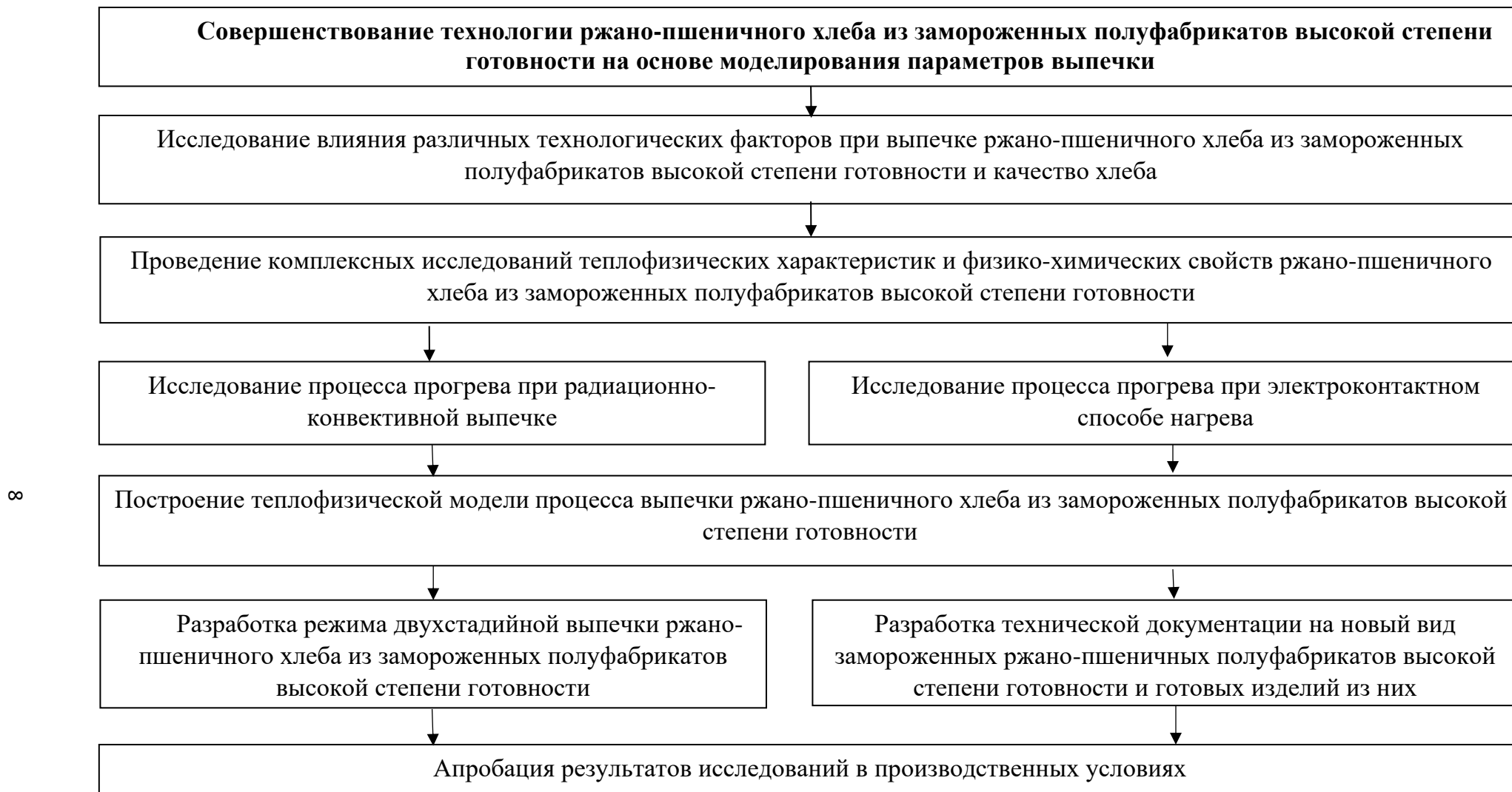


Рис.1. Структурная схема исследования

2.2.1 Исследование влияния параметров выпечки на изменение теплофизических характеристик тестовых заготовок, предназначенных для приготовления замороженных формовых ржано-пшеничных полуфабрикатов высокой степени готовности и качество хлеба

При выпечке, в режиме реального времени, регистрировали температуру различных слоёв ВТЗ ржано-пшеничных полуфабрикатов, предназначенных для замораживания, и фиксировали изменение высоты в процессе выпечки. По результатам исследований строили графики для определения начала и продолжительности теплофизических, микробиологических, коллоидных и биохимических процессов, в результате которых происходит переход теста в мякиш и образование корки. С помощью видеокамеры фиксировали момент изменения объёма ВТЗ и высоты, который соответствует началу процесса перехода теста в мякиш.

При изучении влияния температуры пекарной камеры при выпечке на процесс прогрева ржано-пшеничного формового хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности проводили одностадийную выпечку при температуре пекарной камеры 180, 210, 240 и 270°C. В качестве образцов служили ВТЗ, приготовленные из смеси ржаной обдирной и пшеничной муки 1-го сорта в соотношении 60:40 массой 0,4 кг. На рис. 2 представлены кривые изменения температуры различных слоёв и изменение высоты ВТЗ при выпечке, полученные при температуре пекарной камеры: 180, 210, 240 и 270°C.

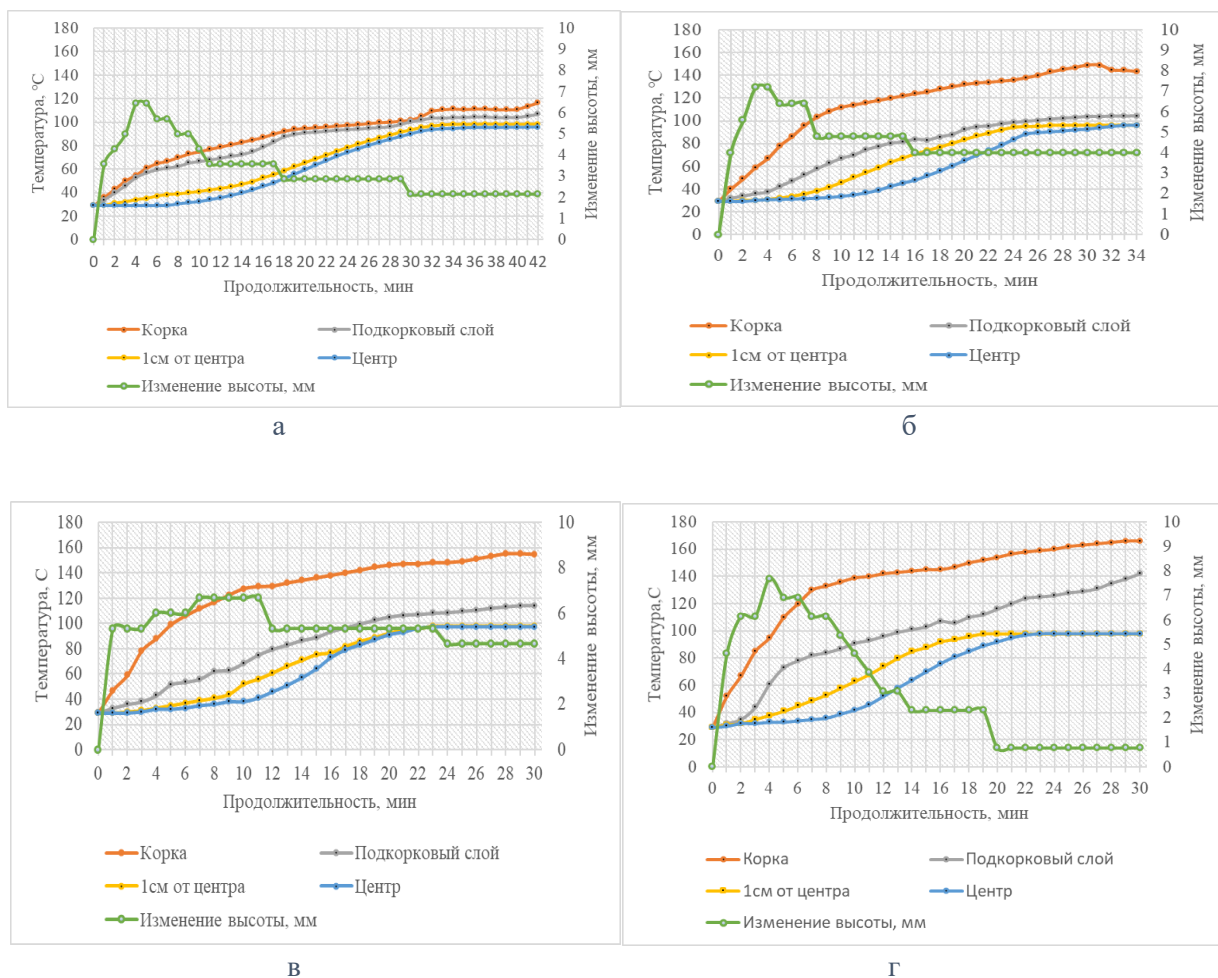


Рис. 2. Изменение температуры и высоты ВТЗ от продолжительности выпечки при температуре пекарной камеры: а – 180 °С, б – 210 °С, в – 240 °С, г – 270 °С

Как показали исследования, температура пекарной камеры влияет не только на продолжительность выпечки и, следовательно на все процессы, происходящие в ВТЗ, но и на качество готовых изделий.

Одностадийную выпечку ржано-пшеничных полуфабрикатов высокой степени готовности, предназначенных для замораживания, не рекомендуется проводить при низких температурах пекарной камеры 180 и 210 °С, так как это не лучшим образом сказывается на качестве хлеба: на поверхности образуются провалы, лопаются поры из-за выхода газа и значительно увеличивается продолжительность выпечки до достижения температуры внутренних слоев 96–98 °С. Одностадийная выпечка при температуре 270 °С также приводила к ухудшению качества изделий, а именно происходило подгорание поверхностных слоёв хлеба. При 240°С температура внутренних слоёв выравнивалась на 9–10 мин раньше, чем при выпечке при 180 и 210°С. Таким образом, по результатам исследования, рекомендуется при одностадийной выпечке устанавливать температуру пекарной камеры (240 ± 5) °С. При данном режиме наблюдалось максимальное изменение высоты на 2–3 минуте, температура поверхностного слоя ВТЗ достигала 59 °С. На 7-й минуте происходило увеличение высоты, а при дальнейшем прогреве ВТЗ наблюдалось уменьшение высоты на 2–2,5 мм, что соответствует началу перехода теста в мякиш при температуре внутренних слоев 67–68 °С. Корка начинает образовываться на 6–7 минуте выпечки. Температура внутренних слоев уравнивается к 21–22 минуте и достигает температуры 96–98 °С. Продолжая выпечку ещё в течение 4–5 мин, мы получаем полуфабрикаты высокой степени готовности, предназначенные для замораживания.

При изучении влияния продолжительности выпечки на процесс прогрева ржано-пшеничного формового хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности исследования проводили в течении 25, 30, 35 и 40 мин при температуре пекарной камеры 240 °С. В результате чего было установлено, что продолжительность выпечки при постоянной температуре пекарной камеры не влияет на момент перехода теста в мякиш, а влияет только на показатели качества хлеба. Температура внутренних слоёв достигает 96–98 °С и с увеличением продолжительности выпечки не изменяется. Продолжительность выпечки не влияет на изменение высоты готового продукта.

2.2.2 Исследование влияния соотношения ржаной обдирной и пшеничной муки первого сорта на изменение теплофизических характеристик тестовых заготовок, предназначенных для приготовления замороженных ржано-пшеничных полуфабрикатов высокой степени готовности и качество хлеба

Для изучения влияния соотношения ржаной и пшеничной муки на процесс прогрева, продолжительность выпечки и качество ржано-пшеничного хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности, проводили лабораторные выпечки радиационно-конвективным способом. Ржано-пшеничный хлеб анализировали по органолептическим и физико-химическим показателям.

Исследования проводили при соотношении ржаной и пшеничной муки в смеси 60:40, 70:30 и 80:20. Образцы, выпеченные при соотношении ржаной и пшеничной муки в смеси 60:40 являлись контрольными. На рис. 3 представлены кривые изменения температуры различных слоёв и изменение высоты ВТЗ при выпечке, полученные при температуре пекарной камеры 240 °С.

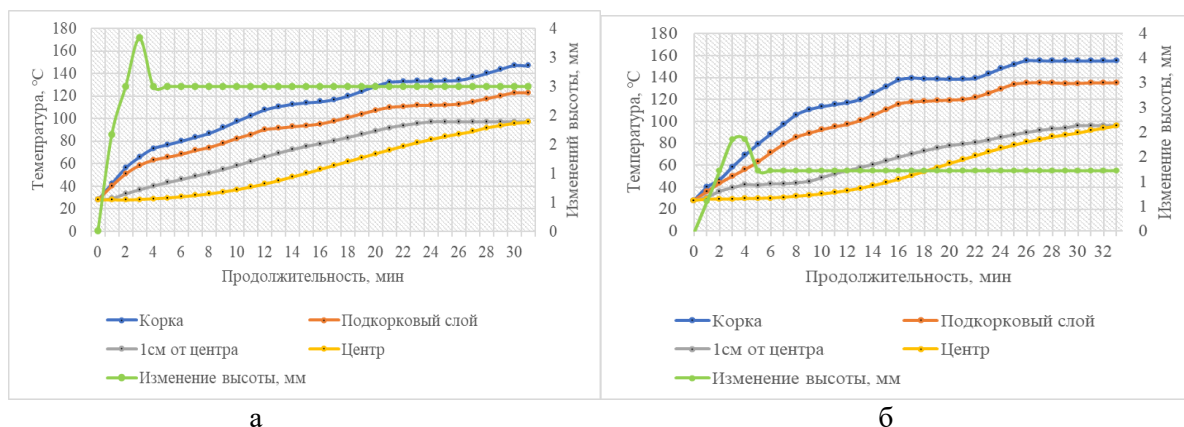


Рис. 3. Изменение температуры и высоты ВТЗ от продолжительности выпечки при соотношении ржаной и пшеничной муки: а – 70:30, б – 80:20

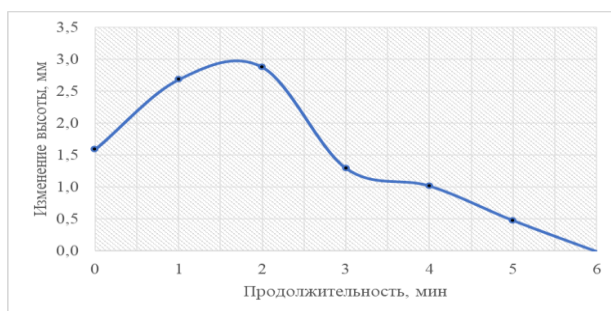
Температура внутренних слоёв при соотношения ржаной и пшеничной муки 70:30 становится равной 96–98 °С на 28–29 мин, а при соотношении 80:20 – на 30–31 мин. Для получения полуфабриката высокой степени готовности при увеличении соотношения муки необходимо увеличить продолжительность выпечки от продолжительности контрольного образца на 7–8 мин при соотношении ржаной и пшеничной муки 1-го сорта в рецептуре 70:30 и соответственно на 8–9 мин – при соотношении 80:20.

Было установлено, что увеличение процентного соотношения ржаной муки влияет на продолжительность выпечки и следовательно, на момент достижения температуры внутренних слоев 96–98 °С, начало и продолжительность всех процессов, происходящих при выпечке ржано-пшеничных полуфабрикатов высокой степени готовности.

2.2.3 Влияние параметров двухстадийной выпечки на изменение теплофизических характеристик тестовых заготовок, предназначенных для приготовления замороженных ржано-пшеничных полуфабрикатов высокой степени готовности и качество хлеба

Для определения влияния температуры пекарной камеры при двухстадийной выпечке на процесс прогрева полуфабрикатов высокой степени готовности проводили выпечку ржано-пшеничного хлеба при соотношении ржаной и пшеничной муки 60:40 в два этапа: *на первом этапе*, который протекает до момента образования корки, т.е. до достижения температуры поверхности равной 100 °С, выпечку проводили при температуре 270 °С. Момент достижения верхней поверхности 100 °С контролировали с помощью термопары. *Второй этап* выпечки проводили при температурах 190, 220 и 240 °С.

На рис. 4 представлена кривая изменения высоты ВТЗ на первом этапе выпечки при достижении температуры поверхности ВТЗ 100°С.



Как видно из представленного графика наибольшее увеличение высоты ВТЗ происходило на 2-й минуте, далее наблюдалось уменьшение высоты на 2,5 мм из-за разрыва пор.

Рис. 4. Изменение высоты ВТЗ от продолжительности на первом этапе выпечки

На рис. 5 представлены кривые изменения температуры центра ВТЗ при двухстадийной выпечке ржано-пшеничных полуфабрикатов высокой степени готовности, предназначенных для замораживания, при разной температуре 2-го этапа.

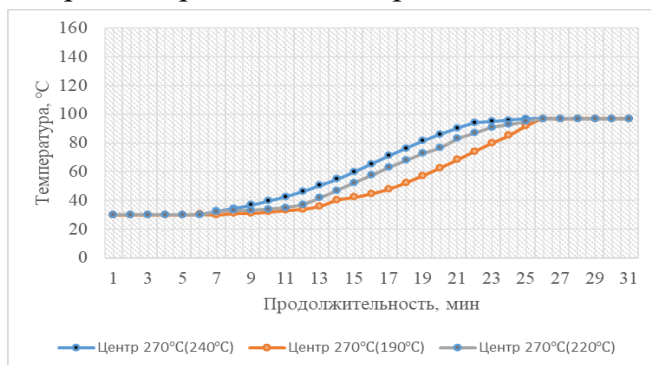


Рис. 5. Изменение температуры и высоты центра ВТЗ от продолжительности при двухстадийной выпечке



На рис.6 представлена профилограмма органолептических показателей качества ржано-пшеничного хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности при двухстадийной выпечке.

Рис. 6. Профилограмма органолептических показателей качества ржано-пшеничного хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности при двухстадийной выпечке

На продолжительность выпечки оказывает влияние температура пекарной камеры на первом этапе выпечки. Температура пекарной камеры на втором этапе выпечки не влияет на температуру внутренних слоёв ВТЗ. Температура на втором этапе выпечки влияет на температуру поверхности и, следовательно цвет корки, вкус и аромат хлеба.

2.2.4 Исследование влияния добавления жировых продуктов и муки из семян чиа на изменение теплофизических характеристик тестовых заготовок, предназначенных для приготовления замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности и качество хлеба

В соответствии с задачами исследований изучали влияние добавления различных жировых продуктов на качество ржано-пшеничного хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности: подсолнечного и кукурузного масел, столового маргарина и заменителя молочного жира, полученного энзимной переэтерификацией. Соотношение ржаной и пшеничной муки в смеси составляло 60:40.

Продолжительность выпечки при добавлении 3 % подсолнечного и кукурузного масел увеличивается на 5–6 минут по сравнению с контрольными образцами, и на 5-6 минут необходимо увеличить допекание полуфабриката высокой степени готовности.

На рис. 7 представлены кривые изменения температуры различных слоёв и изменение высоты при выпечке ржано-пшеничных полуфабрикатов высокой степени готовности с добавлением 3 % маргарина (а) и жира энзимной переэтерификации (б), полученные при температуре пекарной камеры 240 °С, предназначенные для замораживания.

Анализ графиков, представленных на рис. 8, показывает, что увеличение объёма и наибольшее изменение высоты наблюдалось при добавлении столового маргарина. В образцах с добавлением жира энзимной переэтерификации наблюдалось изменение высоты на 6–8 мм, по сравнению с контрольными образцами. При добавлении маргарина

продолжительность выпечки, по сравнению с контрольными образцами, увеличилась незначительно и момент окончательного формирования мякиша наступал на 22–23 минуте, а в образцах с жиром энзимной переэтерификации на 27–28 минуте, что соответствует окончанию коллоидных процессов и достижению температуры внутренних слоев 96–98 °С.

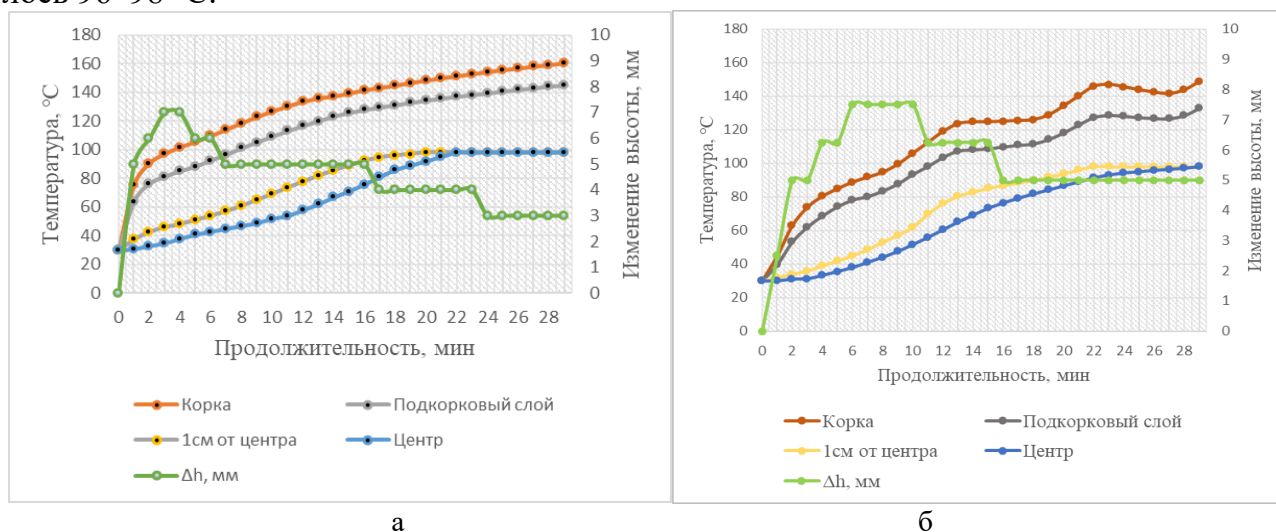


Рис. 7. Изменение температуры и высоты ВТЗ от продолжительности выпечки: а – с добавлением 3 % маргарина, б – с добавлением 3 % жира энзимной переэтерификации

Рекомендуется прерывать процесс выпечки на 26–27 минуте для образцов с маргарином, а для образцов с жиром энзимной переэтерификации – на 32–33 минуте, что будет соответствовать при данной продолжительности выпечки получению ржано-пшеничного полуфабриката высокой степени готовности.

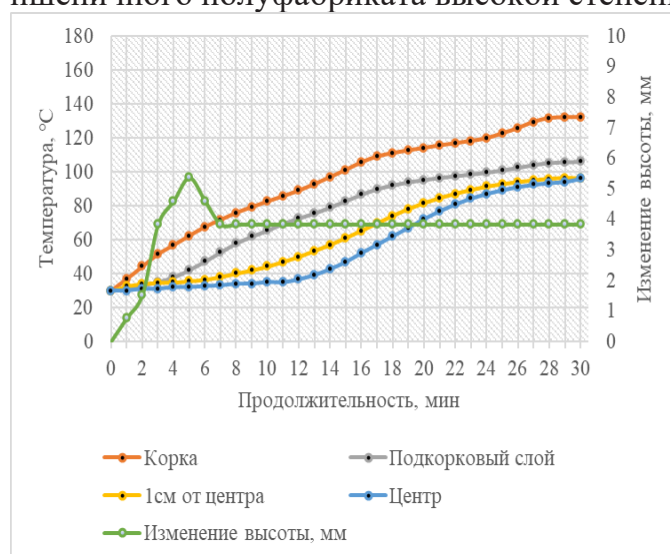


Рис. 8. Изменение температуры и высоты ВТЗ от продолжительности выпечки с добавлением муки из семян чиа

При выпечке ржано-пшеничного хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности как с добавлением жировых продуктов растительного происхождения, так и муки из семян чиа происходило улучшение вкуса хлеба, уменьшался упёк изделия.

Изделия считаются готовыми, когда температура внутренних слоёв уравнивается и достигает 96–98°С, после чего процесс выпечки должен продолжаться ещё в течение 5–6 мин.

Исследовали влияние продолжительности хранения замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности в течение 1, 3 недель и 2-х месяцев на

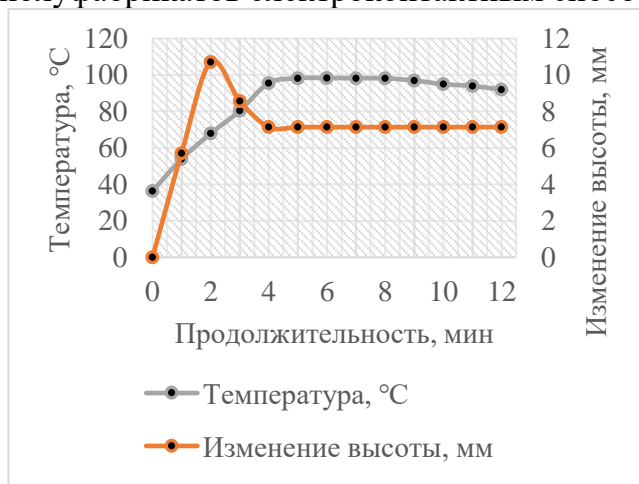
качество ржано-пшеничного формового хлеба из них. Добавление в рецептуру ржано-пшеничного хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности жировых продуктов приводило к незначительному уменьшению их влажности, кислотности и пористости в течении 2 месяцев криохранения на 1-3 % по всем показателям. Результаты исследований, отражающие эффект влияния криопротекторов, дают основание полагать, что жировые продукты и мука из семян чиа могут быть использованы в технологии получения ржано-пшеничного хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности для расширения ассортимента хлебобулочных изделий.

2.2.5 Исследование процесса прогрева тестовых заготовок, предназначенных для приготовления ржано-пшеничных полуфабрикатов высокой степени готовности, электроконтактным способом энергоподвода

Изучение процесса прогрева при электроконтактном способе проводили для выявления момента перехода теста в мякиш для ржано-пшеничного хлеба при различных соотношениях ржаной и пшеничной муки, с добавлением жировых продуктов, муки из семян чиа. Электроконтактный прогрев осуществляли до момента уменьшения прохождения электрического тока через тестовую заготовку практически до нуля, что соответствовало минимальному значению количества свободной влаги в ВТЗ.

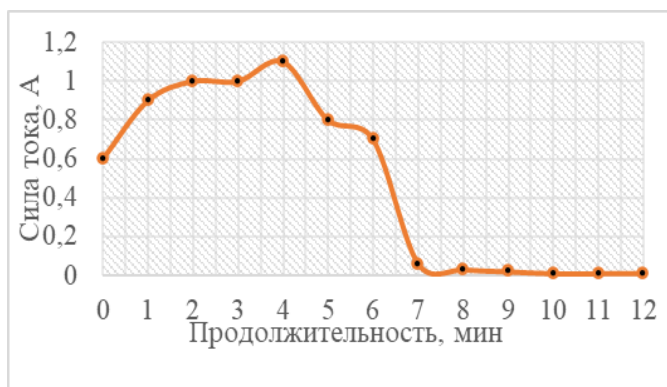
2.2.5.1 Исследование электро- и теплофизических процессов, протекающих при электроконтактном нагреве тестовых заготовок, предназначенных для приготовления замороженных ржано-пшеничных полуфабрикатов высокой степени готовности

При электроконтактном прогреве, также как и при конвективно-радиационном способе, высота ВТЗ сначала увеличивалась и достигала максимума, а затем происходило уменьшение высоты на 3–5 мм вследствие разрыва пор, выделения газа и соответственно частично свободной влаги. Далее высота ВТЗ стабилизировалась. На рис. 9 представлены графики изменения температуры в центре ВТЗ и высоты от продолжительности прогрева полуфабрикатов электроконтактным способом при напряжении 62 В.



При достижении температуры 67,9°C рост высоты и объема ВТЗ уменьшался, вследствие прекращения выделения газа. Эта температура соответствует моменту перехода теста в мякиш ржано-пшеничного хлеба при соотношении ржаной и пшеничной муки в смеси 60:40.

Рис. 9. Изменение температуры и высоты ВТЗ от продолжительности выпечки при электроконтактном прогреве



На рис. 10 представлена кривая изменения силы тока от продолжительности выпечки ВТЗ при электроконтактном прогреве.

Анализируя рис. 9 и 10, можно сделать вывод, что в момент перехода теста в мякиш наблюдается уменьшение высоты и объёма ВТЗ.

Рис. 10. Изменение силы тока от продолжительности выпечки ВТЗ при электроконтактном прогреве

Сила тока уменьшается вследствие увеличения сопротивления среды и становится почти равной нулю при достижении температуры ВТЗ 98–99°C, так как полностью поглощается свободная влага. При электроконтактном способе прогрева наблюдается бóльший упёк, чем при радиационно-конвективном вследствие того, что при этом корка не образуется, а тонкая плёнка на поверхности ВТЗ позволяет испаряться большому количеству свободной влаги.

2.2.5.2 Определение готовности формового ржано-пшеничного хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности

Для выявления критерия готовности ржано-пшеничных полуфабрикатов высокой степени готовности и ржано-пшеничного хлеба из них проводили исследования для определения количества свободной влаги. Количество свободной влаги можно определить, определив величину силы тока, протекающего через ВТЗ. Для определения количества свободной влаги проводили прогрев замороженной ВТЗ и строили диаграмму таяния льда. Исследования проводили при постоянном напряжении 30 В.

В тесте содержится не чистая вода, а солевой раствор, поэтому температура таяния льда ниже 0 °С. Таяние льда можно определить по графику зависимости температуры от продолжительности прогрева, учитывая изменение силы тока, проходящего через материал. Участки таяния льда свободной влаги лежат в пределах для теста от –4,2 до –1,9 °С, а для испеченного мякиша от –5,0 до –2,5 °С. По полученным данным определяли расход теплоты на выпечку и сравнивали с расходом теплоты, рассчитанным при радиационно-конвективном прогреве.

При замесе теста на начальной стадии вся вода находится в состоянии свободной влаги. После замеса образуется тесто, в котором часть влаги переходит в связанное состояние. В нашем случае можем принять долю свободной влаги в начале замеса за 100 %. После механического воздействия месильных органов, т.е. после затрат механической энергии, часть влаги оказалась связанной. Для ржано-пшеничных полуфабрикатов доля свободной влаги составляет $M_1 = 70,3 \%$, а связанной $M_2 = 29,7 \%$.

Исходные данные и результаты расчётов теплоты на выпечку при радиационно-конвективном и электроконтактном нагреве, а также учёт потерь пекарной камеры при электроконтактном нагреве приведены в табл. 1–3.

Табл. 1. Исходные данные и результаты расчётов расхода теплоты на выпечку при радиационно-конвективном нагреве

Обозначения исходных данных и результатов расчетов	$W_{исп}$	$g_{с.м.}$	$m_b, кг$	$c_B, кДж/(кг \cdot K)$	$c_M, кДж/(кг \cdot K)$	$q, кДж/кг$
Исходные данные и результаты расчетов	0,061	0,069	0,035	4,18	1,67	179

Табл. 2. Экспериментально-определённая удельная затрата теплоты при электроконтактном нагреве

Обозначения исходных данных и результатов расчетов	$I_{ср}, A$	$U_{ср}, B$	$\tau, с$	$Q_{эк}, Дж$	$q_{эк}, кДж/кг$
1-й этап (25–55) °С	0,8	63	120	6067	61,9
2-й этап (55–67,9) °С	1,0	64	60	3858	34,4
3-й этап (67,9–85) °С	1,02	64	60	3954	40,3
4-й этап (85-95) °С	0,57	69	180	7141	72,8
5-й этап (95-99) °С	0,026	73,7	240	459	4,7
					$\Sigma q_{эк.} = 214,1$

Табл. 3. Исходные данные и результаты расчётов тепловых потерь экспериментальной камерой при электроконтактном нагреве

Обозначения исходных данных и результатов расчетов	$\alpha, Вт/(м^2 \cdot K)$	$t_{max}, °C$	$t_n, °C$	$t_{0-ср}, °C$	$F, м^2$	$m, кг$	$q_{пот}, кДж/кг$
Потеря теплоты с открытой поверхности теста-мякиша	10,4	99	20	59	0,0024	0,085	19,7
Потеря теплоты от стеклянной стенки	10,4	37	20	28,5	0,006	0,085	21

Потеря тепла в окружающую среду составила $q_{пот} = 40,7 кДж/кг$. Экспериментальная величина удельного расхода теплоты на выпечку:

$$q_{хл} = q_{эк} - q_{пот.} = 214,1 - 40,7 = 173,4 кДж/кг.$$

Разница между теоретическим $q_{теор}$ и экспериментальным $q_{эк}$ значениями составляет 5,6 кДж/кг. Относительная погрешность составляет порядка 3 %, что подтвердило теоретический расчёт.

Электрический ток в начале прогрева ВТЗ резко возрастал от 25 °С до 67,9 °С, при этом происходило выделение свободной влаги (часть связанной влаги переходило в фазу свободной влаги). Изменение тока происходило неравномерно, линейный характер наблюдался в диапазоне температур от 25 °С до 55 °С. На этом участке происходило выделение свободной влаги при нагревании теста и снижение вязкости. Далее замедлялся рост силы тока, следовательно, происходило замедление выделения свободной влаги. Затем рост силы тока прекращался, вместе с окончанием выделения свободной влаги. Следовательно – после достижения температуры теста 67,9 °С происходит коллоидный

процесс перехода теста в мякиш и изменяются структурно-механические свойства мякиша.

В диапазоне температур от 85 до 95 °С наблюдалось увеличение силы тока, что предполагает увеличение свободной влаги на этом участке. Далее в диапазоне температур 95–99 °С, происходит резкое снижение силы тока и, следовательно, снижение величины свободной влаги. Экспериментальное определение этой величины составило 3,4 г или 9,3 %. Такое резкое снижение содержания свободной влаги в мякише можно объяснить следующим: *во-первых* – это поглощение свободной влаги и превращение её в связанную влагу (коллоидный процесс), и, *во-вторых*, на этом участке процесса выпечки происходит интенсивное испарение влаги.

Теоретический расход теплоты в (кДж/кг) для классического радиационно-конвективного нагрева определяется по формуле

$$q_{п.к} = W_{исп} (h_{п.п.} - h_{в.}) + g_k c_k (t_k - t_T) + (g_{с.м.} c_M + W_B c_B) (t_M - t_T); \quad (1)$$

где $W_{исп}$ – количество испарившейся влаги из тестовой заготовки во время выпечки – упёк, отнесённый к массе горячего хлеба, кг влаги/ кг горячего хлеба, здесь

$$W_{исп} = (g_T - g_x) / g_x, \quad (2)$$

g_T – масса тестовой заготовки, кг;

g_x – масса горячего хлеба, получившегося из этой тестовой заготовки, кг;

$h_{п.п.}$ – энтальпия перегретого пара при атмосферном давлении и максимальной температуре корки, кДж/кг;

g_k – масса корки в кг на 1 кг горячего хлеба; c_k – удельная теплоемкость корки, кДж/(кг· К);

t_k – средняя температура массы корки горячего хлеба, которая при технических расчётах может быть принята как средняя арифметическая температур поверхности корки $t_{п.}$ и температуры пограничного слоя $t_{п.с.}$, °С;

$$t_k = \frac{t_{п.} + t_{п.с.}}{2}; \quad (3)$$

t_T – температура теста, °С, (при расчетах принимается равной 30°С);

$g_{с.м.}$ – содержание сухого вещества в мякише горячего хлеба, кг сухого вещества/ 1 кг горячего хлеба;

W_B – масса влаги в 1 кг горячего хлеба в момент выхода его из пекарной камеры, кг влаги / кг горячего хлеба;

c_B – удельная теплоёмкость воды при температуре 30°С, кДж/(кг· К);

c_M – удельная теплоёмкость мякиша, кДж/(кг· К);

t_M – средняя температура мякиша горячего хлеба, (в технических расчетах принимается равной 98°С), °С.

Так как корка является практически обезвоженной, то вся влага находится в мякише. Зная значения W_B и g_k , можно определить количество сухого вещества мякиша из баланса (кг сухого вещества / кг горячего хлеба):

$$g_{с.м.} = 1 - (g_k + W_B). \quad (4)$$

Теоретический расход теплоты при электроконтактном способе выпечки рассчитывается следующим образом:

при данном способе выпечки корка не образуется, поэтому слагаемое, учитывающее затраты теплоты на образование корки равно нулю

$$g_k c_k (t_k - t_T) = 0;$$

$$h_{п.п.} = h_{п.п.} \text{ при температуре } 100^\circ\text{C } h_{п.п.} = 2676 \text{ кДж/кг.}$$

Следовательно, уравнение будет иметь вид

$$q_{п.к} = W_{исп} (h_{п.п.} - h_{в.}) + (g_{с.м.} c_M + W_B c_B) (t_M - t_T); \quad (5)$$

где при температуре теста 30°C энтальпия воды будет равна $h_{в} = 125,6$ кДж/кг, а при нагреве до 100°C $h_{н.п.} = 419,06$ кДж/кг.

Упёк (кг влаги/ кг хлеба) при электроконтактной выпечке необходимо определить по формуле:

$$W_{исп} = (g_{т} - g_{x})/g_{x}, \quad (6)$$

$g_{с.м.}$ – содержание сухого вещества изделий, (кг сухого вещества/ 1 кг хлебных изделий);

$g_{с.м.} = 1 - W_{в}$, где $W_{в}$ – масса влаги в кг на 1 кг горячих изделий;

m – масса заготовки, кг; m_1 – масса свободной влаги, кг; $m_{в}$ – масса воды для замеса теста, кг.

Экспериментально подтверждено, что при электроконтактной выпечке сила тока, протекающая через ВТЗ, зависит от количества свободной влаги. Так как электрический ток проходит только через свободную влагу и в конце выпечки достигает минимального значения из-за уменьшения количества свободной влаги по достижении температуры ВТЗ 98–99 °С.

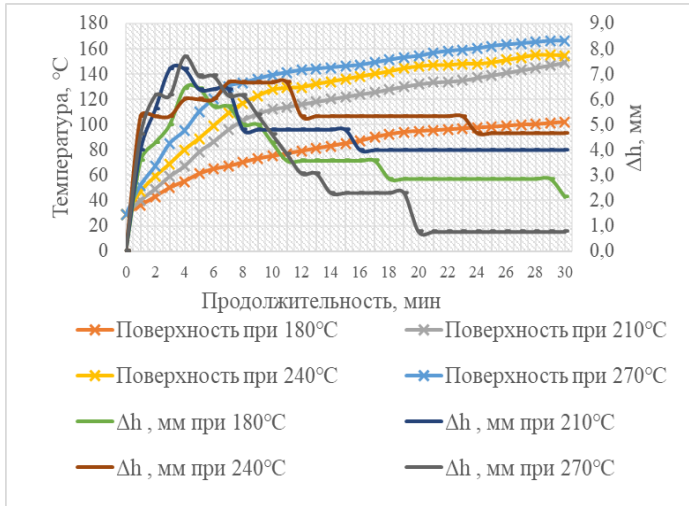
2.4 Построение теплофизической модели процесса выпечки ржано-пшеничного хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности

Построение теплофизической модели необходимо для моделирования процесса выпечки, анализа и обоснования рационального режима выпечки ржано-пшеничного формового хлеба, при котором можно получить максимальный объём хлеба и минимальное значение упёка, а также определить необходимую продолжительность выпечки.

При моделировании процесса выпечки использовали эмпирический метод, основанный на повторяющемся эксперименте. При данном методе модель не нуждается в проверке на адекватность. Процесс выпечки относится к нестационарному процессу теплопроводности, который зависит от множества параметров, изменяющихся в течение процесса. Поэтому адекватную математическую модель можно получить только экспериментальным путём.

Для построения теплофизической модели проводили исследования выпечки ржано-пшеничного формового хлеба радиационно-конвективным способом энергоподвода при различной температуре среды пекарной камеры 180, 210, 240 и 270°C и продолжительности выпечки 30 мин.

Процесс выпечки разделён на два этапа: первый этап характеризует процесс увеличения объема ВТЗ при нагревании и начало образования мякиша, когда ВТЗ достигает максимальной высоты. *Первый этап* является наиболее важным при выпечке хлеба, так как по температуре поверхности ВТЗ можно прогнозировать такие важные показатели качества, как объём и форму верхней поверхности готового изделия. Начало *второго этапа* соответствует моменту, когда температура поверхности ВТЗ достигает 100°C, после чего начинается образование корки. Температура корки и величина упёка хлеба находятся в прямой зависимости от теплового режима. Чем выше температура среды пекарной камеры, тем выше максимальная температура корки и тем больше величина упёка. На рис. 11 приведены кривые изменения температуры верхней поверхности ВТЗ и изменения высоты, полученные при разных режимах выпечки среды пекарной камеры: 180, 210, 240 и 270°C и продолжительности выпечки 30 мин. По температурным кривым на втором этапе выпечки можно подобрать тепловой режим, при котором достигаются допустимая величина упёка и необходимый цвет корки.



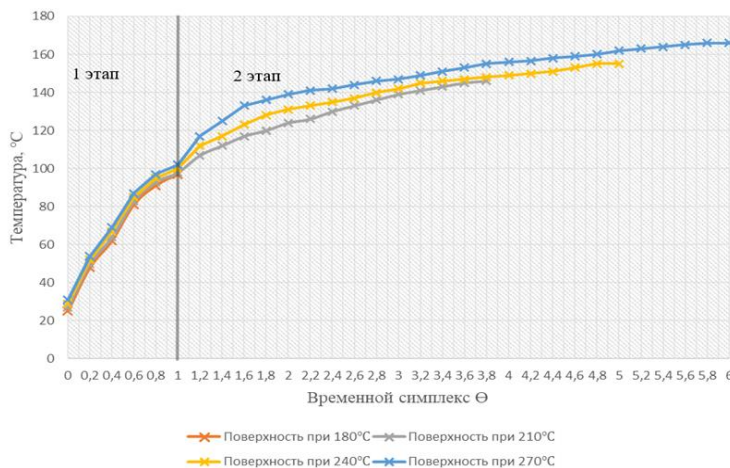
Графики, полученные в результате исследования, можно считать элементарной теплофизической моделью процесса выпечки. Было выявлено, что при выпечке ржано-пшеничного хлеба происходит усадка высоты изделия на 4–8 мм в зависимости от режима выпечки и вида жировых добавок.

Рис. 11. Изменение температуры поверхности ВТЗ и высоты при различных температурах среды пекарной камеры

Температуру поверхности ВТЗ, полученную в четырёх исследуемых режимах, обобщили (от 28–30°C до 100°C). Для этого ввели временной симплекс Θ , рассчитываемый по формуле:

$$\Theta = \tau_x / \tau_{100}, \quad (7)$$

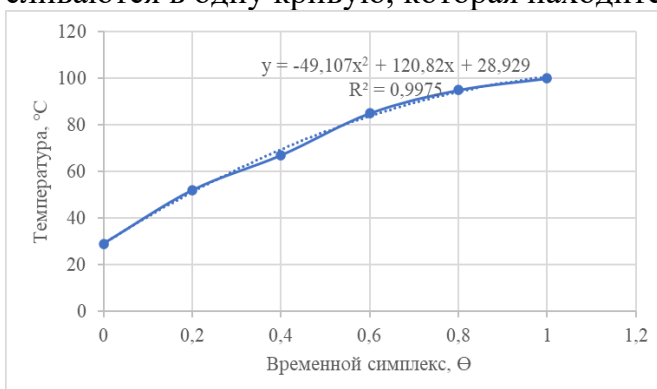
где τ_x – текущее время, мин, τ_{100} – продолжительность прогрева до достижения температуры поверхности ВТЗ 100°C.



На рис. 12 показана теплофизическая модель при выпечке ржано-пшеничного формового хлеба, представляющая собой график зависимости температуры поверхности ВТЗ от временного симплекса.

Рис. 12. Зависимость температуры поверхности ВТЗ от временного симплекса

Закономерность передачи теплоты от поверхности к внутренним слоям ВТЗ зависит только от интенсивности внешнего теплообмена. Используя временной симплекс Θ , все температурные кривые, полученные при различной температуре пекарной камеры при выпечке ржано-пшеничного хлеба по достижении первого этапа, сливаются в одну кривую, которая находится в пределах погрешностей измерений.



На рис. 13 представлена аппроксимация степенной функции зависимости температуры от временного симплекса для первого этапа выпечки с достоверностью аппроксимации $R^2 = 0,9976$.

Рис. 13. Аппроксимация зависимости температуры от временного симплекса на первом этапе выпечки

Обобщённая температурная кривая первого этапа процесса выпечки аппроксимирована уравнением:

$$t = -49,107\theta^2 + 120,82\theta + 28,929; \quad (8)$$

где t – текущая температура, °С.

Данное уравнение позволяет определить реальный режим на первом этапе выпечки. Выбирая температуру верхней поверхности в любом диапазоне температур, можно построить любую кривую в реальном времени, аппроксимируя показатели качества – объём и форму. Второй этап выпечки позволяет выбрать температуру среды пекарной камеры, для получения хлеба с необходимыми упёком, цветом корки, а также пропечённостью мякиша.

На рис. 14 представлена аппроксимация степенной функции зависимости температуры от временного симплекса для второго этапа выпечки при различной температуре пекарной камеры равной 210, 240 и 270 °С.

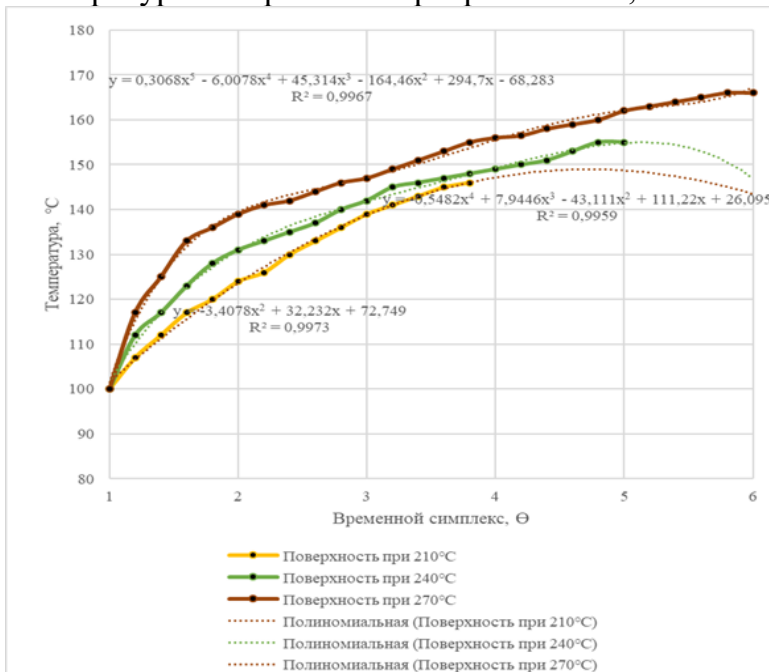


Рис. 14. Аппроксимация зависимости температуры от временного симплекса для второго этапа выпечки

Обобщенные температурные кривые второго этапа процесса выпечки аппроксимированы степенными уравнениями с достаточно высокой достоверностью аппроксимации $R^2 = 0,997$.

Режим выпечки при температуре пекарной камеры 210°С определяется уравнением 2-го порядка:

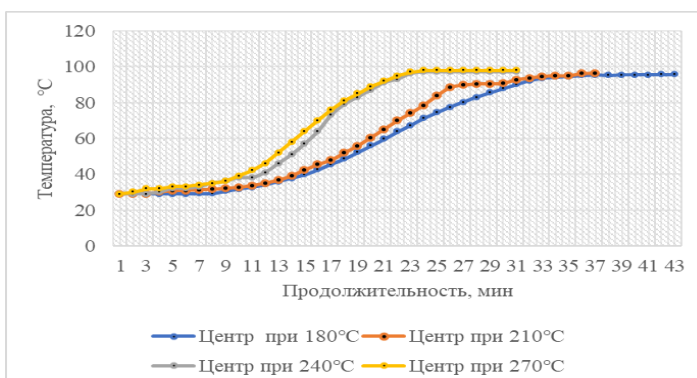
$$t = -3,4078\theta^2 + 32,232\theta + 72,749. \quad (9)$$

Режим выпечки при температуре пекарной камеры 240 °С определяется уравнением 4-го порядка:

$$t = -0,5482\theta^4 + 7,9446\theta^3 - 43,111\theta^2 + 26,095. \quad (10)$$

Режим выпечки при температуре пекарной камеры 270 °С определяется уравнением 5-го порядка:

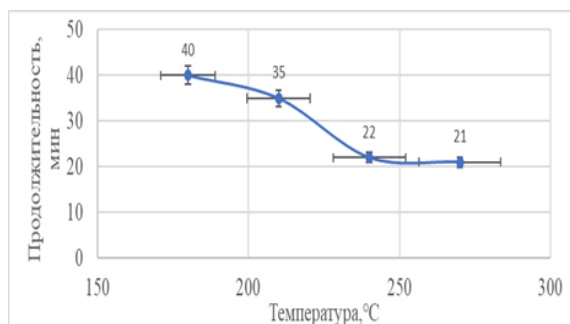
$$t = 0,3068\theta^5 - 6,0078\theta^4 + 45,314\theta^3 - 164,46\theta^2 + 294,7\theta - 68,283. \quad (11)$$



Вторая часть модели представляет собой температурные кривые центральных слоёв при выпечке. На рис. 15 представлен график изменения температуры центра ВТЗ от продолжительности выпечки.

Рис. 15. Изменение температуры центра ВТЗ от продолжительности выпечки

Из рис. 15 видно, что на продолжительность прогрева центра ВТЗ также влияет температура пекарной камеры. Отсюда можно сделать вывод, что с уменьшением температуры пекарной камеры требуется увеличить продолжительность прогрева. Увеличение температуры пекарной камеры выше $(240 \pm 5) ^\circ\text{C}$ приводит не только к увеличению толщины корки, но и интенсивности её цвета.



На рис. 16 приведен график изменения продолжительности выпечки при достижении температуры центра готового изделия $96\text{--}98 ^\circ\text{C}$ от температуры пекарной камеры. Используя данный график, можно также регулировать температуру, соответствующую второму этапу выпечки.

Рис. 16. Изменение продолжительности выпечки ВТЗ от температуры пекарной камеры

По построенной теплофизической модели выпечки формового ржано-пшеничного хлеба можно оптимизировать режим в пекарной камере по качеству хлеба, продолжительности выпечки, используя как одностадийную, так и двухстадийную выпечку, в зависимости от вида печи, а также учитывая упёк. Построив такую теплофизическую модель процесса выпечки, можно обосновать выбор тепловых режимов для получения ржано-пшеничных полуфабрикатов высокой степени готовности высокого качества, а также ржано-пшеничного формового хлеба из них.

Анализируя полученные результаты исследований, можно рекомендовать рациональный режим выпечки ржано-пшеничного хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности, который будет соответствовать двухстадийной выпечке: *первый этап* проводится при температуре $(270 \pm 5) ^\circ\text{C}$ до начала образования корки при достижении температуры верхнего слоя $100 ^\circ\text{C}$; *второй этап* — при температуре $240 ^\circ\text{C}$ для достижения высокого качества изделия. При достижении температуры всех внутренних слоев $96\text{--}98 ^\circ\text{C}$ проводят допекание 4–5 мин.

2.4 Опытно-промышленная апробация и определение экономической эффективности разработанной технологии формового ржано-пшеничного хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности

В результате опытно-промышленной апробации, проведённой на АО «Кондитерско-булочный комбинат «Черемушки», было подтверждено, что рациональным режимом для производства ржано-пшеничных полуфабрикатов высокой степени готовности является двухстадийная выпечка.

Разработана и утверждена техническая документация на новый вид замороженных ржано-пшеничных полуфабрикатов высокой степени готовности и готовых изделий из них «Любительские» (ТУ 10.71.11–043–020680634–2021).

Выполнен расчет экономической эффективности производства ржано-пшеничного хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности. Определено, что затраты на производство ржано-пшеничного хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности в среднем на 8,24 % выше по сравнению с выработкой изделий по традиционной технологии.

Выводы

На основании проведенных исследований теплофизических, коллоидных и физико-химических процессов, происходящих при выпечке формового ржано-пшеничного хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности сделаны следующие выводы.

1. Установлено, что температура пекарной камеры и продолжительность выпечки оказывают влияние на процесс прогрева тестовых заготовок, предназначенных для приготовления замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности и качество хлеба

1.1. Формирование оптимальной структуры ржано-пшеничных полуфабрикатов высокой степени готовности и, следовательно, получение ржано-пшеничного хлеба высокого качества по физико-химическим и органолептическим показателям достигается при температуре пекарной камеры $(240 \pm 5)^\circ\text{C}$ и внутренних слоёв $96\text{--}98^\circ\text{C}$.

1.2. Определено, что продолжительность выпечки ржано-пшеничных полуфабрикатов высокой степени готовности массой 0,4 кг при постоянной температуре пекарной камеры не влияет на момент перехода теста в мякиш и изменение высоты готовых хлебобулочных изделий.

2. Установлено, что увеличение количества ржаной муки в смеси на 8–10 % приводит к увеличению продолжительности теплофизических и коллоидных процессов, происходящих при выпечке ржано-пшеничных полуфабрикатов высокой степени готовности. Добавление жировых продуктов и муки из семян чиа увеличивают продолжительность достижения температуры готовности хлеба равной $96\text{--}98^\circ\text{C}$ на 1–2 и 8–9 мин соответственно, по сравнению с контрольными пробами в связи с увеличением затрат теплоты на прогрев в зависимости от рецептурных компонентов.

3. Показано, что при двухстадийной выпечке ржано-пшеничных полуфабрикатов высокой степени готовности температура пекарной камеры на первом этапе не влияет на изменение температуры внутренних слоёв выпекаемой тестовой заготовки, а влияет только на продолжительность выпечки. На втором этапе двухстадийной выпечки температура пекарной камеры влияет на показатели качества готовых изделий.

4. Установлено, что температура перехода теста в мякиш при выпечке ржано-пшеничных полуфабрикатов высокой степени готовности зависит от соотношения ржаной и пшеничной муки и составляет: при соотношении муки 60:40 – $(67,5 \pm 0,5)^\circ\text{C}$, при соотношении муки 70:30 – $(76,5 \pm 0,5)^\circ\text{C}$, при соотношении муки 80:20 – $(77,0 \pm 0,5)^\circ\text{C}$.

4.1. Температура перехода теста в мякиш при выпечке ржано-пшеничных полуфабрикатов высокой степени готовности зависит от рецептурных ингредиентов и составляет для изделий с добавлением: 3% подсолнечного масла – $(70,0 \pm 0,5)^\circ\text{C}$, 3% кукурузного масла – $(72,0 \pm 0,5)^\circ\text{C}$, 3% маргарина – $(68,0 \pm 0,5)^\circ\text{C}$, 3% жира энзимной переэтерификации – $(77,5 \pm 0,5)^\circ\text{C}$, 5 % муки из семян чиа – $(75,0 \pm 0,5)^\circ\text{C}$.

4.2. Продолжительность выпечки ржано-пшеничных полуфабрикатов высокой степени готовности зависит от содержания свободной влаги, которое достигает минимального значения после достижения температуры внутренних слоёв $96\text{--}98^\circ\text{C}$.

5. Построена теплофизическая модель выпечки ржано-пшеничных полуфабрикатов высокой степени готовности, позволяющая установить режим прогрева по температуре в пекарной камере и продолжительности, как при одностадийной, так и при двухстадийной выпечке, в зависимости от вида печи. Разработан рациональный режим выпечки формового ржано-пшеничного хлеба из замороженных полуфабрикатов

высокой степени готовности, который предусматривает двухстадийную выпечку в два этапа. Первый этап протекает при температуре в пекарной камере (270 ± 5) °С до достижения температуры поверхности 100 °С, обуславливающего образование корки толщиной 4–6 мм. Второй этап проводится при температуре в пекарной камере (240 ± 5) °С до достижения температуры центра 96–98 °С и увеличении продолжительности выпечки на 4–5 мин.

6. Проведены опытно-промышленные испытания режима двухстадийной выпечки формового ржано-пшеничного хлеба массой 0,4 кг из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности на АО «Кондитерско-булочный комбинат «Черемушки». Затраты на производство ржано-пшеничного хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности в среднем на 8,24 % выше по сравнению с выработкой изделий по традиционной технологии. Разработана и утверждена техническая документация на новый вид замороженных ржано-пшеничных полуфабрикатов высокой степени готовности и готовых изделий из них «Любительские» (ТУ 10.71.11–043–020680634–2021).

Основные публикации по диссертационной работе

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ

1. *Герасимова, Э.О.* Криогенные технологии в хлебопечении / Э.О. Герасимова, Н.В. Лабутина // Известия вузов. Пищевая технология. – 2019. – №1 (367). – С. 6–9
2. *Герасимова, Э.О.* Влияние добавления жировых продуктов растительного происхождения и муки из семян чиа на процесс прогрева при выпечке ржано-пшеничного формового хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности / Сб. матер. VI Международной научно-практической конференции «Хлебобулочные, кондитерские и макаронные изделия XXI века» // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2019. – №59. – С. 318–327.
3. *Герасимова, Э.О.* Исследование процесса нагрева ржано-пшеничных тестозаготовок электро-контактным способом / Э.О. Герасимова, Н.В. Лабутина, В.И. Маклюков, Е.Н. Рогозкин // Хлебопродукты. – 2020. – №. 4. – С. 60–61. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2020-29-4-60-61>
4. *Герасимова, Э.О.* Построение теплофизической модели процесса выпечки ржано-пшеничного формового хлеба / Э.О. Герасимова, Н.В. Лабутина, В.И. Маклюков, Е.Н. Рогозкин // Хлебопродукты. – 2020. – №. 5. – С. 46–49. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2020-29-5-46-49>
5. *Локтионова, А.О.* Эффективность технологии ржано-пшеничного хлеба из замороженных полуфабрикатов с использованием зерновых заквасок высокой степени готовности для профилактического питания / А.О. Локтионова, Е.М. Маркин, Н.В. Лабутина, Э.О. Герасимова // Известия вузов. Пищевая технология. – 2020. – № 2-3 (374–375). – С. 17–20. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2020.2-3.4>
6. *Маклюков, В.И.* Анализ электро- и теплофизических процессов, протекающих при электроконтактной выпечке мучных изделий / В.И. Маклюков, Э.О. Герасимова, Н.В. Лабутина, Е.Н. Рогозкин // Хлебопродукты. – 2020. – № 11. – С. 50–55. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2020-29-11-50-55>

Публикация в международном журнале с открытым рецензированием

7. *Лабутина, Н.В.* Исследование влияния процесса прогрева ржано-пшеничного формового хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности на физико-химические показатели / Н.В. Лабутина, Э.О. Герасимова [и др.] // Health, Food & Biotechnology. – 2019. – Т. 1, Вып. 4. – С. 71–80. <https://doi.org/10.36107/hfb.2019.i4.s278>

Статьи и материалы конференций

8. *Герасимова, Э.О.* Исследование процесса прогрева при выпечке пшеничного подового хлеба / Сборник научной конференции с международным участием «Развитие пищевой промышленности России: кадры и наука»: электронный сборник. – М.: МГУПП, 2017. – С. 109–114.
9. *Герасимова, Э.О.* Влияние режима выпечки на протекание теплофизических процессов при производстве ржано-пшеничного хлеба из полуфабрикатов высокой степени готовности / Э.О. Герасимова, Н.В. Лабутина, В.А. Зудина, И.Д. Козлов // Сб. матер. Международной научно-практической молодежной конференции, посвящённой памяти Р.Д. Поландовой «Пищевые технологии будущего: инновационные идеи, научный поиск, креативные решения». – М.: Издательский комплекс «Буки Веди». – 2019. – С. 193–197.
10. *Герасимова, Э.О.* Исследование влияния температуры пекарной камеры на процесс прогрева при выпечке ржано-пшеничного хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности / Э.О. Герасимова, Н.В. Лабутина // Сб. матер. VII Балтийского морского форума. VI Национальная научная конференция "Инновации в технологии продуктов здорового питания". – Калининград: Изд. КГТУ. – 2019. – С. 24–28.
11. *Герасимова, Э.О.* Исследование влияния жировых продуктов на качество и объем при выпечке ржано-пшеничного хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности / Э.О. Герасимова, Н.В. Лабутина, Т.Ю. Юрченко // Сб. матер. VI Международной научно-технической конференции «Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство». – Воронеж: ВГУИТ. – 2019. – С. 220–224.
12. *Герасимова, Э.О.* Исследование теплофизических процессов, происходящих при выпечке ржано-пшеничного хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности / Э.О. Герасимова, Н.В. Лабутина // Материалы IV международной конференции «Качество зерна, муки и хлеба». – М.: МПА. – 2019. – С. 151–155.

SUMMARY

The purpose of this study was to develop a theoretical justification and scientific and practical recommendations for improving the technology of rye-wheat bread from frozen semi-finished products of high readiness based on modeling baking parameters. The duration of baking rye-wheat semi-finished products of a high degree of readiness depends on the content of free moisture. The amount of which is minimal with increasing duration of cakes from 4–5 to 9–10 min to reach the temperature of the inner layers 96–98°C, depending on the type of cryoprotectant and the ratio of flour. A thermophysical model of the baking process of rye-wheat semi-finished products of a high degree of readiness is constructed, which allows predicting and ensuring the quality created by thermal conditions. A rational mode of baking rye-wheat bread from frozen semi-finished products of a high degree of readiness has been developed, which provides for two-stage baking.