

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ
ПРОИЗВОДСТВА ХЛЕБА
С ПРИМЕНЕНИЕМ
ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОГО
СПОСОБА ВЫПЕЧКИ**

Монография

Рекомендовано к изданию Ученым советом
федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Оренбург
2012

УДК 664.665.19.001.5(043.3)

ББК 682

Р 26

Рецензенты

доктор технических наук, профессор Т.В. Шленская

доктор биологических наук, профессор С.А. Мирошников

Авторы: Г. А. Сидоренко, В. П. Попов, Г. Б. Зинюхин, В. Г. Коротков

Р 26 Разработка технологии производства хлеба с применением
электроконтактного способа выпечки: монография /
Г. А. Сидоренко, В. П. Попов, Г. Б. Зинюхин, В. Г. Коротков;
Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2012. – 124 с.
ISBN

В монографии рассмотрены теоретические и практические аспекты разработки технологии производства хлеба с применением электроконтактного способа выпечки.

Монография предназначена для научных работников, специалистов хлебопекарного производства, преподавателей, аспирантов, студентов старших курсов, занимающихся научно-исследовательской работой в области разработки технологии производства новых видов хлебобулочных изделий.

УДК 664.665.19.001.5(043.3)

ББК 682

ISBN

© Сидоренко Г.А., Попов В.П.,

Зинюхин Г.Б., Коротков В.Г., 2012

© ОГУ, 2012

Содержание

Введение	6
1 Анализ ассортимента лечебно-профилактических сортов хлеба, способов выпечки и проблемы хранения хлеба.....	7
1.1 Потребление хлебобулочных изделий в РФ	7
1.2 Ассортимент лечебно-профилактических сортов хлеба.....	8
1.3 Перспективные направления в создании технологии диабетических сортов хлеба.....	11
1.4 Классификация способов выпечки хлеба.....	13
1.5 Процессы, происходящие при выпечке хлеба	14
1.6 Нетрадиционные способы выпечки хлеба	19
1.7 Особенности применения электроконтактного энергоподвода в хлебопечении	21
1.8 Проблема сохранности хлеба.....	33
1.9 Целесообразность использования электроконтактного способа выпечки для расширения ассортимента лечебно-профилактических сортов хлеба	36
2 Разработка технологии производства хлеба с применением электроконтактного способа выпечки	38
2.1 Методы исследования свойств сырья, полуфабрикатов и готовых изделий	38
2.2 Результаты исследования и их обсуждение.....	42
2.2.1 Установление режимов тестоприготовления и выпечки хлеба электроконтактным (ЭК) способом	42
2.2.2 Исследование влияния вакуумирования на процесс ЭК-выпечки хлеба	53
2.2.3 Сравнение различных способов выпечки хлеба.....	59
2.2.4 Оптимизация процесса ЭК-выпечки хлеба.....	61
2.2.5 Исследование кинетики процесса ЭК-выпечки.....	68
2.2.6 Исследование качества различных зон ЭК-хлеба	71

2.2.7 ЭК-выпечка хлеба из различных видов и сортов муки.....	73
2.2.8 Биологическая экспертиза ЭК-хлеба	76
2.2.9 Хранение ЭК-хлеба	77
2.2.10 Разработка устройств для ЭК-выпечки хлеба.....	79
Заключение	82
Список использованных источников	84
Приложение А – Таблица А.1 – Влияние способа выпечки на скорость гидролиза углеводов мякиша пшеничного хлеба	100
Приложение Б – Рисунок Б.1 – Кинетика изменения силы тока и температуры теста-хлеба при ЭК-выпечке образцов различной массы	101
Приложение В – Рисунок В.1 – Зависимость напряжения и температуры теста и основных его компонентов от продолжительности ЭК-нагрева	102
Приложение Г – Рисунок Г.1 – Изменение температуры теста-хлеба и силы тока в процессе ЭК-выпечки пшеничного и ржаного хлеба	103
Приложение Д – Рисунок Д.1 – Изменение количества воды, связываемой коллоидами теста-хлеба, при прогреве его в процессе ЭК-выпечки	104
Приложение Е – Таблица Е.1 – Шкала органолептической оценки качества бескоркового хлеба.....	105
Приложение Ж – Рисунок Ж.1 – Кинетика изменения температуры при подводимом напряжении 380 В и различной величине тестовой заготовки.....	107
Приложение И – Рисунок И. 1 – Влияние пульсирующего напряжения на показатели качества ЭК-хлеба	108
Приложение К – Кинетика изменения силы тока при различном напряжении ЭК-выпечки в вакууме и без вакуума для тестовых заготовок с массовой долей соли 0,65 %.....	109

Приложение Л – Кинетика изменения силы тока при различном напряжении ЭК-выпечки в вакууме и без вакуума для тестовых заготовки с массовой долей соли 1,3 %.....	110
Приложение М – Показатели качества бескоркового хлеба и кинетика изменения силы тока при различных режимах ЭК-выпечки с вакуумированием после разогрева тестовых заготовок.....	112
Приложение Н – Показатели качества бескоркового хлеба и кинетика изменения силы тока при различных режимах ЭК-выпечки с вакуумированием до разогрева тестовых заготовок	116
Приложение П – Таблица П.1 – Качественная оценка взаимосвязи процессов, протекающих при ЭК-выпечке и параметров эффекта	120
Приложение Р – Взаимосвязь комплексного показателя качества и различных параметров ЭК-выпечки	122

Введение

На современном этапе развития хлебопекарной промышленности проблема расширения ассортимента хлебобулочных изделий лечебно-профилактического назначения является актуальной. Существенный интерес вызывает разработка теоретических основ и практических аспектов использования интенсивных технологий приготовления хлеба, в частности, производство его бескоркового вида с применением электроконтактного (ЭК) способа выпечки. Использование ЭК-энергоподвода позволяет не только ускорить стадию выпечки, замедлить скорость расщепления углеводов хлеба организмом человека, снизить образование нежелательных веществ, неусвояемых соединений, но и повысить биологическую ценность продукта.

Значительный вклад в изучение особенностей ЭК-выпечки хлеба внесли выдающиеся отечественные и зарубежные ученые: Ауэрман Л.Я., Островский Я.Г., Гинзбург А.С., Baker J.C., Mize M.D. и др.

Однако, известные исследования проведены в разных условиях, посвящены решению отдельных вопросов, результаты по некоторым проблемам противоречивы, в результате чего оптимальной технологии производства хлеба с применением ЭК-способа выпечки до сих пор не разработано.

В связи с этим, дальнейшее совершенствование технологии производства хлеба с применением ЭК-способа выпечки на основе комплексных исследований и системного подхода весьма актуально.

Данная работа посвящена изучению закономерностей ЭК-выпечки и разработке технологии производства хлеба с применением данного способа выпечки.

1 Анализ ассортимента лечебно-профилактических сортов хлеба, способов выпечки и проблемы хранения хлеба

1.1 Потребления хлебобулочных изделий в РФ

Хлеб является одной из важнейших составляющих рациона питания человека. Величина потребления хлеба человеком колеблется в широких пределах, зависит от возраста, пола, состояния здоровья и других факторов. В настоящее время уровень среднесуточного потребления хлеба в России составляет от 120 до 125 кг в год (от 325 до 345 г в сутки), в том числе: для городского населения от 98 до 100 кг в год (от 245 до 278 г в сутки); сельского – от 195 до 205 кг в год (от 490 до 540 г в сутки) [1, 2]. Такие высокие показатели делают его одним из важнейших источников покрытия потребности человека в пищевых веществах и энергии [3].

Ассортимент хлебобулочных изделий РФ характеризуется большим разнообразием. Структура ассортимента представлена следующими основными группами: хлеб из пшеничной муки, хлеб из ржаной муки, хлеб из смеси пшеничной и ржаной муки, булочные изделия, сдобные изделия, бараночные, сухарные и другие изделия.

В настоящее время хлебопекарной промышленностью РФ вырабатывается более 140 наименований хлебобулочных изделий. При этом потребность в хлебопекарной продукции профилактического и диетического назначения удовлетворяется лишь на от 10 % до 20 % [1].

Основная задача хлебопекарной промышленности заключается в обеспечении полноценными и безопасными для здоровья хлебобулочными изделиями всех детерминированных групп населения.

Согласно современным тенденциям науки о питании ассортимент хлебобулочной продукции должен быть расширен выпуском изделий улучшенного качества, повышенной пищевой ценности, профилактического и диетического назначения [1, 4, 5].

1.2 Ассортимент лечебно-профилактических сортов хлеба

Ассортимент лечебно-профилактических хлебобулочных изделий можно подразделить на следующие основные группы: бессолевые, с пониженной кислотностью, с пониженным содержанием белка, с повышенным содержанием пищевых волокон, с добавлением лецитина, с повышенным содержанием йода, повышенной белковой, минеральной и витаминной ценностью, с пониженным содержанием углеводов [6, 7].

Бессолевые хлебные изделия предназначены для питания людей с заболеваниями почек, сердечно-сосудистой системы, гипертонии и лицам, находящимся на гормонотерапии. К этой группе хлебобулочных изделий относят ахлоридный хлеб, хлеб бессолевой обдирный, сушки бессолевые и сухари ахлоридные [8].

Хлебобулочные изделия пониженной кислотности рекомендуются для людей с гиперацидным гастритом и язвенной болезнью. Разработанные технологии приготовления булочек и сухарей с пониженной кислотностью предусматривают минимальное накопление кислореагирующих соединений [9, 10].

Для питания больных с хронической почечной недостаточностью и другими заболеваниями, связанными с нарушением белкового обмена, разработана группа хлебобулочных изделий с пониженным содержанием белка. Как отмечает Дубцов Г.Г., Севериненко С.М. и др. [11, 12], наиболее часто этот вид хлебных изделий изготавливают на основе пшеничного крахмала или рисовой муки с добавлением молочного белка. За рубежом известен способ приготовления безбелкового хлеба на основе специальных порошковых смесей [13–16]. Так, в Германии производится несколько типов таких смесей, в состав которых входят различные виды крахмала (кукурузный, картофельный, пшеничный), загустители и витамины [17]. Предлагают использовать в качестве основы данного вида хлебных изделий продукт под названием «лечебный крахмал».

В работах Пучковой Л.И., Матвеевой И.В., Риго Я. И др. [18–20] отмечено, что для профилактики атеросклероза, сахарного диабета, ишемической болезни сердца, атонии кишечника рекомендуется упот-

ребление пищи с повышенным содержанием пищевых волокон. Это обусловлено свойствами пищевых волокон регулировать двигательную функцию желудочно-кишечного тракта и желчного пузыря, улучшать состав микрофлоры толстой кишки, снижать уровень холестерина в крови, влиять на почечно-кишечную циркуляцию желчных пигментов и кислот, выводить из организма токсичные и канцерогенные вещества и рядом других свойств [21, 22]. Поэтому большое распространение находят хлебобулочные изделия с повышенным содержанием пищевых волокон.

Дудкин М.С., Демчук А.П., Чумаченко Н.А. и др. [23–26] к наиболее ценным продуктам, богатым пищевыми волокнами относят отруби зерновых культур. Обогащение хлеба пищевыми волокнами приводит к снижению его калорийности [27]. При производстве такого хлеба отечественные и зарубежные исследователи рекомендуют использовать муку грубого помола, кукурузные и соевые отруби, короткозерный рис, подвергшийся тепловой обработке и другое сырье, богатое пищевыми волокнами [28–31].

В Великобритании при приготовлении низкокалорийных хрустящих хлебцев используют от 30 % до 90 % пшеничных отрубей [32, 33]. В США разработан способ приготовления хлебобулочных изделий из отрубей с добавлением яичного желтка или лецитина [34]. В РФ наиболее часто вырабатываются отрубные батоны, хлебцы докторские и хлеб русский [7, 8].

Цыганова Т.Б. [35] отмечает, что в последнее время в хлебопекарной промышленности нашли применение синтетические пищевые волокна, такие как микрокристаллическая целлюлоза. Но более часто используют натуральные отруби различных зерновых культур, как грубые, так и тонкодиспергированные, что отражено в работах Кузьминского Р.В., Щербатенко В.В., Петраш И.П., Huber H. и др. [36, 37].

В РФ и за рубежом развивается производство и потребление диетических сортов хлеба из дробленого зерна [36, 38–42].

Для обогащения хлеба пищевыми волокнами используются продукты переработки фруктов и овощей [26, 43–45], различные зерновые и бобовые культуры [46–48] и другие виды сырья [49–51].

Большое внимание уделяется повышению пищевой ценности хлеба. Разрабатывают сорта хлебобулочных изделий с повышенным содержанием белков, минеральных веществ и витаминов.

Повышения белковой ценности хлеба добиваются внесением в рецептуру хлеба дополнительных видов сырья с высоким содержанием белка, полноценного по аминокислотному составу [52, 53]. В работах Цыгановой Т.Б., Петраш И.П., Патта В.И. и др. [54–63] из продуктов животного происхождения для этой цели рекомендуется применять молочные продукты (различные виды молока, сыворотки, молочно-белковых концентратов), продукты мясной и рыбной промышленности (рыбная мука, препараты кровяного белка и др.), сухой яичный белок. При внесении молока хлеб обогащается еще и дефицитным для него кальцием и витамином В₂. Из высокобелковых продуктов растительного происхождения наибольший интерес представляют продукты, полученные из бобов сои, гороха, кукурузы и др. [64–66].

При минеральном обогащении хлеба целесообразно повышать содержание дефицитного для него кальция. Идеальным обогатителем в этом отношении Дубинская А.П., Шак Л.И. и др. [53, 67, 68] считают сухое обезжиренное молоко. В Англии известен способ обогащения хлеба кальцием путем добавления тонкодиспергированного мела [6, 69]. Минеральную ценность хлеба повышают также путем внесения порошка яичной скорлупы, альбуминового молока и других продуктов [70–72].

Как свидетельствует отечественный и зарубежный опыт, для повышения витаминной ценности, хлеб целесообразно обогащать витаминами В₁, В₂ и РР. Это связано с относительно хорошей их сохраняемостью в процессе приготовления хлеба. Дубцов Г.Г., Люшинская И.И., Дробот В.И. и др. [73–79] предлагают для повышения витаминной и минеральной ценности хлеба в его рецептуру вносить измельченные сухие плоды шиповника, шрот облепихи, сборы лечебных трав и растений, продукты переработки фруктов, ягод и другое сырье.

Поландова Р.Д., Корячкина С.Я. и др. [73, 80–84] считают, что перспективным видом нетрадиционного сырья для хлебопечения являются порошкообразные продукты из плодов и овощей. Они представ-

ляют собой концентраты исходного сырья и содержат в значительных количествах полезные человеку биологически активные вещества.

Хлебобулочные изделия с добавлением лецитина рекомендуют для профилактики заболеваний печени, атеросклероза, ожирения, нервного истощения и пониженной функции кишечника. К этой группе хлебобулочных изделий относят хлеб и батон амурские, булочки диетические с лецитином, соевый хлебец, рогалик «здоровье», хлебцы диетические отрубные с лецитином [8, 10].

При заболеваниях щитовидной железы и сердечно-сосудистой системы в рационе питания человека целесообразно использовать продукты с повышенным содержанием йода. Щербатенко В.В., Патт В.А., Мишучкова Т.В. [85, 86] предлагают включать в рецептуру хлеба либо препарат химически чистого йодистого калия, либо морскую капусту.

Хлебобулочные изделия с пониженным содержанием углеводов рекомендуются для питания людям с сахарным диабетом, получившим ожоговую травму, при ожирении, остром ревматизме. При производстве таких изделий тесто приготавливают на основе клейковины (сырой или сухой), в рецептуру включают отруби, яичный белок, сорбит (или ксилит) и т.д. [87, 88]. В ассортимент данной групп хлебобулочных изделий, вырабатываемых в РФ, входят: хлеб белково-пшеничный, хлеб белково-отрубной, булочки с добавлением яичного белка, хлеб ржаной диабетический, хлеб молочно-отрубной, булочки с сорбитом. Однако расширение производства диабетических сортов хлебобулочных изделий сдерживается сложностью и неэкономичностью технологического процесса.

1.3 Перспективные направления в создании технологии диабетических сортов хлеба

Существующие направления разработки технологии и ассортимента диабетических сортов хлеба основаны на уменьшении содержания углеводов и повышении массовой доли белковых веществ. Это приводит к необходимости изыскания сырьевых ресурсов пищевого белка,

усложнению технологического процесса, снижению потребительских свойств готовой продукции.

Сотрудники МТИПП и Института питания АМН РФ [89] предложили новое направление в создании технологии диабетических сортов хлеба. Оно основано на возможности регулирования скорости накопления глюкозы в процессе переваривания и всасывания углеводов хлеба в организм человека. Проведенные комплексные исследования показали, что химический состав и технология производства хлебобулочных изделий являются важными регуляторами динамики усвояемости углеводов хлеба. Выявлены зависимости скорости гидролиза углеводов хлеба от рецептуры хлеба (сорт муки; вид моно- и дисахаридов; состав жировых продуктов и их количество), способа тестоприготовления, физико-химических параметров технологического процесса, а также способа выпечки. Результаты исследований показали, что интенсивность расщепления углеводов хлеба существенно зависит от способа его выпечки (Приложение А).

Полученные результаты показали целесообразность использования для замедления интенсивности гидролиза углеводов и снижения гликемического индекса хлеба ЭК-способа выпечки [89, 90].

Таким образом, на сегодняшний день известен ряд новых направлений расширения ассортимента хлебобулочных изделий профилактического и диетического назначения. Создание такого вида хлебобулочных изделий базируется на формировании у них определенных свойств. Следует отметить, что большинство исследователей решают эту проблему путем введения или исключения из рецептуры того или иного компонента. Одно из перспективных направлений в создании технологий диабетических сортов хлеба основывается на возможности регулирования скорости расщепления углеводов хлеба в организме человека. В рамках этого направления отмечена возможность формирования нужных свойств продукта изменением технологических режимов его приготовления. В частности, существенное влияние на процесс расщепления углеводов хлеба оказывает способ выпечки. Исследователи отмечают целесообразность использования при разработке технологических ре-

жимов выпечки диабетических сортов хлеба для замедления процесса усвояемости его углеводов ЭК способа выпечки.

1.4 Классификация способов выпечки хлеба

Выпечка является заключительной стадией приготовления хлеба, окончательно формирующей его качество. Выпечка – это процесс прогрева расстоявшихся тестовых заготовок, приводящий к их превращению из состояния теста в состояние хлеба.

С точки зрения подвода или генерации тепла, вызывающего прогрев теста-хлеба, все известные способы выпечки можно классифицировать следующим образом [6]:

– способы, при которых тепло к выпекаемому тесту-хлебу подводится извне:

1) радиационно-конвективная (РК) выпечка в обычных хлебопекарных печах;

2) выпечка в печах с генераторами инфракрасного (ИК) (коротковолнового) излучения;

3) выпечка в замкнутых камерах в атмосфере пара, осуществляемая одним из двух возможных способов:

а) выпечка в атмосфере насыщенного пара;

б) начало выпечки – в атмосфере насыщенного пара, завершение выпечки – в атмосфере нагретого пара;

– способы, при которых тепло выделяется в массе прогреваемой тестовой заготовки:

1) выпечка с применением электроконтактного прогрева (ЭК-выпечка);

2) выпечка в электрическом поле токов высокой частоты (ВЧ-выпечка).

– способы выпечки с комбинированным прогревом выпекаемого теста-хлеба:

1) выпечка в хлебопекарных печах с одновременным ВЧ и ИК прогревом тестовой заготовки;

- 2) выпечка с последовательным прогревом – сначала ВЧ и затем ИК-способами;
- 3) выпечка с одновременным ЭК и ИК прогревом;
- 4) выпечка с последовательным нагревом – сначала ЭК и затем ИК способами.

Традиционным, наиболее часто применяемым способом энергоподвода является РК-выпечка. Остальные виды энергоподвода применяются редко и поэтому относятся к нетрадиционным способам выпечки.

1.5 Процессы, происходящие при выпечке хлеба

Практически вся масса хлеба и хлебобулочных изделий, производимых хлебопекарной промышленностью, выпекается РК-способом. Для этого обычно применяют печи, в которых тепло выпекаемому тесту-хлебу передается, в основном, термоизлучением и конвекцией (при температуре теплоотдающих поверхностей от 300 °С до 400 °С и среды пекарной камеры от 200 °С до 250 °С).

Момент готовности хлеба определяется переходом тестовой заготовки в состояние хлеба, что сопровождается целым комплексом процессов – физических, микробиологических, коллоидно-химических и биохимических [6].

Основным, определяющим все остальные процессы и изменения, является прогрев тестовой заготовки.

Тестовая заготовка, имеющая после расстойки температуру около 30 °С, попадая в увлажненную и нагретую паровоздушную среду пекарной камеры, начинает быстро прогреваться. В начальной стадии выпечки на поверхности тестовой заготовки из окружающей среды конденсируются пары воды, ускоряя прогрев теста. Спустя некоторое время конденсация влаги прекращается и начинается ее испарение сначала с поверхности, затем из тонкого слоя теста и далее из зоны испарения. В процессе выпечки, зона испарения медленно углубляется к центру изделия, толщина корки постепенно увеличивается. Влага из зоны испарения в виде пара частично удаляется через пористую корку в

пекарную камеру, а другая часть, также в виде пара, устремляется к центру тестовой заготовки, образуя в нем зону внутренней конденсации. Внутреннее перемещение влаги в выпекаемом хлебе обусловлено разностью концентраций влаги и разностью температур в отдельных участках тестовой заготовки.

К концу выпечки температура в центре мякиша приближается к 100 °С, причем слои, граничащие с поверхностью имеют более высокую температуру.

В процессе выпечки происходит изменение объема теста-хлеба. Тестовая заготовка, помещенная в печь, сразу же начинает быстро увеличиваться в объеме. Постепенно прирост объема замедляется и, вскоре, совсем прекращается. Достигнутые к этому моменту объем и форма хлеба сохраняются неизменными до конца процесса выпечки.

Изменение объема теста-хлеба в процессе выпечки вызывается и обуславливается протекающими в выпекаемом куске теста в результате его прогревания физическими, микробиологическими и коллоидными процессами. Замедление и прекращение прироста объема выпекаемого куска теста-хлеба вызывается образованием корки на поверхности выпекаемого хлеба, а под коркой – утолщающегося слоя мякиша.

Изменение температуры теста влияет на ход коллоидных процессов. До 30 °С клейковина набухает. Дальнейшее повышение температуры ведет к снижению ее способности набухать. Примерно при от 60 °С до 70 °С белковые вещества теста денатурируют и свертываются, освобождая воду, поглощенную при набухании.

Крахмал по мере повышения температуры набухает интенсивнее, особенно при от 40 °С до 60 °С (начало клейстеризации). Вместе с тем, ввиду ограниченного количества воды в тесте, крахмал в хлебе остается в полуклейстеризованном состоянии, частично сохраняя кристаллическую структуру.

Процесс клейстеризации крахмала и коагуляции белков обуславливает переход тестовой заготовки в состояние мякиша, изменяя структурно-механические свойства теста-хлеба и фиксируя пористую структуру теста, которое оно имело к этому моменту.

Жизнедеятельность бродильной микрофлоры изменяется по мере прогревания теста-хлеба в процессе выпечки.

Дрожжевые клетки до температуры 36 °С ускоряют процесс брожения и газообразования до максимума. При повышении температуры свыше 45 °С газообразование резко снижается, в результате угнетения жизнедеятельности дрожжей. Кислотообразующие бактерии развиваются в соответствии со своим оптимумом. По мере прогревания теста их жизнедеятельность сначала возрастает, затем замедляется и позже совсем прекращается. Вследствии незначительного количества свободной влаги в мякише и кратковременным повышением температуры выше 90 °С часть бродильной микрофлоры в центральной части мякиша может находиться в жизнеспособном состоянии. Более высокая температура внешних слоев хлеба приводит к полной остановке жизнедеятельности бродильной микрофлоры.

При выпечке в тестовой заготовке происходит ряд биохимических процессов и изменений.

В начальный период выпечки в тесте-хлебе продолжают образовываться незначительные количества спирта, углекислого газа, молочной кислоты и других продуктов брожения.

При выпечке теста-хлеба, содержащийся в нем крахмал, прошедший первые стадии клейстеризации, частично гидролизует. В результате этого содержание крахмала в тесте-хлебе снижается.

Пока амилазы теста вследствие повышения температуры еще не инактивированы, они способствуют гидролизу крахмала. В ржаном тесте в значительной мере происходит кислотный гидролиз крахмала.

Сахара, образующиеся при выпечке в результате амилолиза крахмала, в первой части периода выпечки частично расходуются на брожение.

В процессе выпечки хлеба резко увеличивается количество водорастворимых веществ, особенно углеводов.

Белково-протеиназный комплекс претерпевает ряд изменений, связанных с его прогревом: возрастает атакуемость белковых веществ; пока протеолитические ферменты активны происходит протеолиз;

растворимость белковых веществ до температуры 70 °С возрастает, после 70 °С – ввиду термической денатурации белка – резко снижается.

Следует отметить некоторые особенности процессов и изменений, происходящих в корке и существенно влияющих на качество хлеба. Это связано с более быстрым прогревом и более высокой температурой поверхностных слоев выпекаемого теста-хлеба.

В корке содержится значительно больше водорастворимых веществ и декстринов, чем в мякише. Однако ферментативный гидролиз играет в этом не ведущую роль, т. к. ферменты в поверхностных слоях инактивируются очень быстро. Накопление декстринов и вообще водорастворимых веществ в корке хлеба при выпечке в значительной мере объясняется термическим изменением крахмала, и в частности, его декстринизацией (температура поверхности корки достигает 180 °С, а середины корки 130 °С).

Под воздействием высоких температур в корке протекает реакция меланоидинообразования, определяющая интенсивность окраски хлеба. Процесс меланоидинообразования при повышенных температурах протекает значительно быстрее. Поэтому именно корка и является при выпечке тем слоем теста-хлеба, в котором происходит процесс образования меланоидинов. Придавая хлебу привлекательный вид данная реакция неблагоприятно сказывается на его пищевой ценности.

Пономаревой А.Н. [91] изучалось изменение содержания свободных аминокислот при выпечке хлеба. Было установлено, что содержание свободных аминокислот в мякише хлеба или снижалось незначительно, или даже несколько возрастало по сравнению с их содержанием в тесте. Содержание же всех определявшихся свободных аминокислот в корке хлеба резко снижалось (примерно в 2 раза, по сравнению с тестом перед выпечкой). Было установлено, что в корке хлеба содержание свободных аминокислот снижалось вследствие «расходования» их на процесс меланоидинообразования.

Ауэрман Л.Я. [6] приводит данные Баума Ф. о «потери» лизина белков теста-хлеба в процессе выпечки. В результате выпечки содержание этой незаменимой и дефицитной аминокислоты в белках хлеба снижается на от 28 % до 33 %, а в корке на от 72 % до 75 % от ее

содержания в тесте перед выпечкой. С этим, вероятно, связано и снижение биологической ценности белка хлеба в процессе его выпечки, также отмеченное в работах Кретовича В.Л., Нечаева А.П., Поландовой Р.Д., Скурихина И.М. и др. [91–96].

Снижение биологической ценности хлеба в процессе выпечки происходит также и за счет термического разрушения витаминов [6, 93, 97]. Наименее стабилен при выпечке витамин С (аскорбиновая кислота), витаминная активность в выпеченном хлебе которого сохраняется лишь 15 % от количества его, содержащегося в тесте. Относительно нестабильны при выпечке витамины В₁, В₂ и Е. В корке содержание этих витаминов существенно снижается. В мякише это происходит в меньшей степени и лишь при длительной выпечке. Наиболее стабилен в процессе выпечки витамин РР.

Шевелевой Г.И. было изучено влияние способа выпечки на сохранность витаминов в процессе выпечки [98]. Образцы хлеба выпекались следующими способами: ЭК, РК, ИК, СВЧ-прогревом и комбинированным (ИК и СВЧ прогревом).

Установлено, что витамины наилучшим образом сохранялись при ЭК и СВЧ прогреве. Наибольшие потери витаминов наблюдались при РК и ИК прогреве выпекаемого теста-хлеба.

Анализируя влияние традиционного способа выпечки на пищевую ценность хлеба, Скурихин И.М. [93] отмечает, что в процессе выпечки связывается до 25 % белков, витаминов, аминокислот, снижается активность ферментов и многих биологически активных соединений. Кроме того, высокая температура корки хлеба способствует накоплению в ней продуктов полимеризации жиров, полициклических ароматических углеводов, различных окисных веществ. Особое внимание Скурихин И.М. обращает на образование наиболее нежелательного представителя полициклических углеводов – бенз- α -пирена. Бенз- α -пирен является сильным канцерогеном и относится к веществам, способствующим развитию онкологических заболеваний. В корке он может накапливаться до 0,5 мкг/кг.

Потребление неусвояемых организмом соединений, накапливающихся в поджаренной корке, может вызвать механическое раздражение

стенок желудка. Поэтому не рекомендуется злоупотреблять поджаренными продуктами, а людям с заболеваниями желудочно-кишечного тракта следует избегать их.

Определенный интерес, в связи с этим, приобретают способы выпечки, при которых не образуется традиционной корки, такие как ЭК, ВЧ и СВЧ.

1.6 Нетрадиционные способы выпечки хлеба

Нетрадиционные способы выпечки позволяют изменить характер теплового воздействия на выпекаемую тестовую заготовку.

При выпечке в печах с генераторами ИК излучения тестовая заготовка подвергается воздействию относительно коротких волн электромагнитных колебаний (максимум длины волны излучения от 1,0 до 3,0 мкм). Для этого вида излучения характерна способность проникновения в поверхностный слой прогреваемой тестовой заготовки тем большая, чем меньше максимум длины волны ИК-излучателя. Поэтому тепло ИК-излучения воспринимается не только поверхностью тестовой заготовки, но и слоем толщиной несколько миллиметров. Это обуславливает значительно более быстрый прогрев теста-хлеба при ИК-выпечке и в связи с этим резкое сокращение длительности процесса выпечки. Как отмечают Ильясов С.Г., Шомурадов Т.Ш. [99, 100], с этой точки зрения ИК-выпечка особенно эффективна для мелкоштучных и тонкослойных изделий.

Другие нетрадиционные способы выпечки позволяют получить хлеб, не имеющий на поверхности традиционной корки.

Одним из способов получения бескоркового хлеба является выпечка его в атмосфере пара, рассмотренная в работах Ауэрмана Л.Я., Rubenthaler G.L., Huang S.D. и др. [6, 101, 102]. Для выпечки такого хлеба применяются специальные камеры с герметично закрывающимися дверцами. В эти камеры закатывают вагонетку с формами, заполненными расстоявшимися тестовыми заготовками, и после закрытия дверей впускают в камеру насыщенный пар под небольшим избыточным дав-

лением. Таким образом, температура паро-воздушной среды в такой «пекарной» камере около 100 °С. Следствием этого является значительно более медленный прогрев теста-хлеба, соответственно удлиненное время «выпечки» и получение хлеба, практически не имеющего корки. Поверхность такого хлеба покрыта пленкой, не отличающейся по окраске от мякиша хлеба. Длительность такой «выпечки» в зависимости от массы хлеба, его вида и назначения может достигать от 12 до 20 часов и более.

В работах Селягина В.Г., Данилова А.М., Тищук В.А., Шаповаловой Н.Н. и др. [103–108] рассмотрен более быстрый способ получения из теста бескоркового хлеба путем его выпечки с использованием ТВЧ. Тесто, помещенное в электрическое поле ТВЧ (от 10 до 30 МГц) быстро нагревается. Тепло при этом способе энергоподвода выделяется во всем объеме тестовой заготовки, превращая ее в бескорковый хлеб, состоящий из одного мякиша.

Прогрев теста-хлеба при ВЧ-выпечке происходит на от 25 % до 40 % быстрее, чем при обычной РК. Объем хлеба вследствие отсутствия на нем корки увеличивается в течение всего периода выпечки и поэтому на от 10 % до 15 % больше обычного.

В последнее время для особо быстрого прогрева пищевых продуктов начал применяться и СВЧ-прогрев в поле электромагнитных колебаний частотой от 2300 до 2500 МГц и длиной волны от 12 до 13 см. За рубежом установки такого типа применяются и для быстрого (в течение 30 секунд) размораживания глубокозамороженного хлеба.

Джабраилов А.Д., Долидзе Г.В., Данилеско С.В. и др. [109–114] отмечают, что самым быстрым способом получения бескоркового хлеба является ЭК-выпечка. При этом способе расстаявшая тестовая заготовка помещается между двумя электродами, включенными в сеть переменного тока промышленной частоты. При действии электрического тока в тестовой заготовке выделяется тепло и формируется мякиш без образования традиционной корки. Прогрев теста происходит быстро и практически равномерно во всей массе хлеба. Процесс ЭК-выпечки завершается достижением тестом-мякишем температуры около 98 °С и протекает во много раз быстрее, чем при традиционной выпечке.

Таким образом, ЭК-прогрев представляет интерес как наиболее интенсивный способ выпечки. Отсутствие корки при данном способе выпечки снижает возможность образования нежелательных веществ и неусвояемых организмом соединений. ЭК-выпечка хлеба позволяет в большей мере сохранить находящиеся в тесте витамины. И как отмечалось выше, является самым предпочтительным способом выпечки при разработке технологий диабетических сортов хлеба, для снижения скорости расщепления углеводов хлеба. Все это обуславливает целесообразность более детального изучения особенности ЭК-способа выпечки хлеба.

1.7 Особенности применения ЭК-энергоподвода в хлебопечении

Как отмечает Ауэрман Л.Я. [6], ЭК-способ выпечки был разработан во ВНИИХП Шумаевым Ф.Г. в 1936 г. Детально процесс ЭК-выпечки хлеба исследовал Островский Я.Г. в 1953–1954 гг. [115].

При проведении экспериментов Шумаев Ф.Г. использовал вариант ЭК-выпечки, когда на электродах сохранялось постоянное напряжение, а сила тока менялась в зависимости от электропроводности теста (при другом варианте выпечки в системе поддерживалась постоянная сила тока). В результате экспериментов были выявлены следующие положения:

1. Тесто относится к полидисперсным системам, обладающим ионной проводимостью, обусловленной диссоциацией в водном растворе солей и кислот, находящихся в тесте, на ионы.

2. ЭК-прогрев позволяет получить хлеб с нормальным мякишем, но лишенный корки.

3. Средняя длительность выпечки зависит от электропроводности теста-хлеба, подводимого напряжения и при напряжении 220 В составляет 2,25 мин, а при напряжении 120 В – 5,95 мин (масса хлеба 1 кг).

4. Величина дозировок соли (от 0 до 1,5 %) оказывает существенное влияние на электропроводность теста.

5. Увеличение кислотности существенного влияния на электропроводность теста не оказывает, что объясняется незначительной диссоциацией молекул органических кислот в слабых водных растворах.

6. Удельный расход энергии на ЭК-выпечку ржаного хлеба в зависимости от подаваемого напряжения составляет:

0,082 кВт/кг (напряжение 220 В);

0,089 кВт/кг (напряжение 120 В);

0,122 кВт/кг (напряжение 40 В).

Островский Я.Г. [115], оценивая удельный расход электроэнергии на ЭК-выпечку пшеничного хлеба, приводит несколько другие данные:

(0,062±0,002) кВт/кг (напряжение 220 В);

(0,077±0,005) кВт/кг (напряжение 120 В);

(0,115±0,005) кВт/кг (напряжение 60 В).

При этом Островский Я.Г. отмечает, что основное влияние на увеличение удельного расхода энергии при использовании более низкого напряжения оказывает увеличение потерь на теплообмен с окружающей средой. Удельный расход энергии на выпечку в теплоизолированных формах практически не зависит от используемого напряжения и составляет (0,053 ±0,005) кВт/кг.

Таким образом, для снижения энергоемкости процесса ЭК-выпечки хлеба целесообразно увеличивать подводимое напряжение или проводить выпечку в теплоизолированных формах.

В ходе экспериментов Шумаевым Ф.Г. были построены зависимости изменения силы тока и температуры теста-хлеба от продолжительности ЭК-выпечки для образцов разной массы (приложение Б).

Анализ полученных результатов показал некоторую взаимосвязь силы тока и температуры теста-хлеба в процессе выпечки. Характер их изменения аналогичен для образцов различного развеса и, как бы растягивается по времени при увеличении массы выпекаемого образца.

Сила тока, а, следовательно, и электропроводность теста, изменяется по сложной закономерности: сначала (до температуры теста-хлеба 60 °С) она увеличивается, затем снижается и стабилизируется. После достижения температуры теста-хлеба порядка 70 °С сила тока вновь возрастает, а от 92 °С до 95 °С начинает уменьшаться.

Исследованием особенностей изменения электропроводности теста и его компонентов в процессе ЭК-нагрева занимались также Baker J.C. и Mize M.D. [116–118]. Эти авторы изучали изменение напряжения, которое требовалось для поддержания постоянства расхода электроэнергии, подводимой к тесту. Как было установлено, изменение напряжения и изменение электропроводности находятся в обратной зависимости.

Baker J.C. и Mize M.D. исследовали также зависимость напряжения на электродах и температуры от продолжительности ЭК-прогреве теста и его основных компонентов: 3 %-ного раствора соли и отмытых в этом растворе клейковины и крахмала (приложение В). При анализе зависимости напряжения от температуры нагреваемых объектов, отмечаются следующие закономерности: характер изменения напряжения при прогреве всех перечисленных объектов до температуры от 48 °С до 50 °С идентичен и свидетельствует о повышении их электропроводности; дальнейшее повышение температуры оказывает различное действие на исследуемые среды. Для теста дальнейшее повышение температуры приводит к снижению его электропроводности, прерываемым периодом ее стабилизации в интервале изменения температур от 70 °С до 95 °С. Островский Я.Г. в своей работе [115] выражает несогласие с последним заключением. Он утверждает, что внимательное рассмотрение указанных зависимостей позволяет отметить новое повышение электропроводности теста в интервале температур от 70 °С до 85 °С, и лишь затем ее незначительное снижение и стабилизацию до температуры 98 °С. Убеждение Островского Я.Г. в этом, основывается на собственных экспериментальных данных и данных Шумаева Ф.Г., в которых более четко улавливается второй экстремум электропроводности при ЭК-выпечке хлеба.

Второй экстремум электропроводности хлеба при ЭК-выпечке отмечает и Гинзбург А.С. [119], однако объясняет это он так: «...подъем силы тока для образцов крупного развеса в интервале от 70°С до 86 °С и от 86 °С до 96 °С... является очевидно характерными и возможно объясняются какими-то условиями опыта». Островский Я.Г. не соглашается с этим объяснением, считая его не вполне убедительным.

Baker J.C. и Mize M.D. [116–118] отмечают, что характер изменения напряжения, а следовательно, электропроводности крахмала и теста при их отдельном прогреве в интервале температур до 70 °С аналогичен. Дальнейший прогрев крахмала характеризуется заметным увеличением его электропроводности до температуры от 80 °С до 85 °С и лишь при прогреве выше этой температуры электропроводность крахмала стабилизируется.

ЭК-прогрев солевого раствора вызывает однозначное повышение его электропроводности в течение всего процесса.

При прогреве клейковины до температуры 70 °С ее электропроводность увеличивается, а начиная с 70 °С, вновь несколько снижается.

Нелинейная зависимость электропроводности теста от температуры, в отличие от электропроводности солевого раствора, дает основание утверждать, что природа и изменение электропроводности теста-хлеба при ЭК-выпечке зависит не только от степени диссоциации солей и кислот при повышении температуры, но также и от изменения структурных и физических свойств теста-хлеба. Изложенное дает основание Островскому Я.Г. [115] согласиться с Гинзбургом А.С. в том, что электропроводность теста в значительной мере зависит от состояния коллоидных веществ в процессе взаимодействия их с водой. При этом особое внимание оба автора уделяют аналогии характера изменения электропроводности теста и крахмала.

Гинзбург А.С. [119], увязывая данные об изменении электропроводности теста с процессами, происходящими при выпечке, особое внимание уделяет клейстеризации крахмала. Влиянию белковых веществ на электропроводность теста внимания практически не уделяется.

В связи с этим, определенный интерес представляет исследование особенности ЭК-выпечки хлеба с измененным химическим составом. Изменение массовой доли белковых веществ в тесте может выявить их влияние на процесс ЭК-выпечки и позволит оценить перспективность применения этого способа для приготовления хлебных изделий с измененным соотношением белка и углеводов.

В работе Кульмана А.Г. [120] приведены результаты исследования коллоидной характеристики теста-хлеба ЭК-выпечки. Помимо изучения

коллоидной системы при такой выпечке, указанная работа интересна в части сравнения показателей качества ЭК-выпечки пшеничного и ржаного хлеба.

В работе приведены результаты изменения температуры теста-хлеба и силы тока в процессе ЭК-выпечки пшеничного и ржаного хлеба (приложение Г).

Анализируя полученные зависимости, автор делает следующие выводы: увеличение электропроводности теста вначале выпечки связано с уменьшением вязкости среды и повышением степени диссоциации электролитов, а также подвижности ионов, в особенности катиона водорода. Наступающее затем падение электропроводности объясняется интенсивным протеканием денатурации белков и клейстеризации крахмала. После чего электропроводность теста определяется его физическими свойствами и влажностью. Кривая силы тока для ржаного хлеба располагается значительно выше, чем для пшеничного и имеет более крутые периоды, что автор связывает с более ясно выраженной гелеобразной структурой ржаного теста, большей влажностью и меньшей вязкостью.

Обращает на себя внимание то, что представленные Кульманом А.Г. кривые изменения силы тока при ЭК-выпечке хлеба, не имеют двух экстремумов и несколько не согласуются с данными Шумаева Ф.Г. и Островского Я.Г.

В части, посвященной состоянию коллоидной системы ЭК-хлеба, Кульман А.Г. отмечает следующее:

1. Характер изменения способности коллоидов теста-хлеба связывать воду аналогичен для ЭК и РК способа выпечки и отличается лишь по абсолютным значениям (приложение Д).

Однако конфигурация графических зависимостей вызывает некоторые сомнения в высказанной Кульманом А.Г. полной аналогии указанных характеристик двух вариантов выпечки.

2. Содержание в хлебе коллоидов, пептизируемых водой, при ЭК-выпечке увеличивается, причем, для пшеничного хлеба этот показатель близок к образцам РК- выпечки, а для ржаного хлеба значительно ниже.

Автор объясняет это более длительным периодом РК-выпечки, при котором мицелярная структура коллоидной системы расшатывается и становится более доступной пептизирующему действию воды.

3. Способность коллоидов к набуханию по мере ЭК-выпечки возрастает. Липкость хлеба при ЭК-выпечке уменьшается по сравнению с тестом более чем в 10 раз.

4. Пенообразующая способность золь теста-хлеба в процессе ЭК-выпечки убывает значительно медленнее, чем у золь хлеба РК-выпечки (особенно для пшеничного хлеба).

В заключении Кульман А.Г. делает вывод, что ЭК-выпечка заслуживает внимания как чрезвычайно быстрый способ приготовления хлеба, а к недостаткам ЭК-выпечки относит несколько более грубый мякиш у пшеничного хлеба (у ржаного разницы практически не наблюдается) и отсутствие твердых корок.

Наиболее подробно процесс ЭК-выпечки был исследован Островским Я.Г. [115]. В результате установлены следующие характерные особенности ЭК-выпечки хлеба:

1. Хлеб, получаемый ЭК-способом выпечки, отличается от хлеба, выпеченного в обычной хлебопекарной печи, отсутствием корки, большим объемом (на от 15 % до 20 %), более развитой и равномерно распределенной по всему срезу пористостью, меньшей влажностью после суточной выдержки, более равномерной усадкой по толщине и деформацией ломтя при его сушке.

2. При ЭК-выпечке прогрев происходит во всей массе образца и величина температурного градиента незначительна. Миграция влаги в виде пара, перемещающегося от низлежащих слоев заготовки к ее поверхности, а затем в атмосферу, протекает, в основном, на заключительном этапе, начиная с температуры около 90 °С. Увеличение объема образца происходит в течение всего времени прогрева; при этом до температуры 90 °С оно вызывается усиливающимся вначале действием зимазного комплекса дрожжей, а затем теплового расширения и испарения углекислоты, находящейся в порах и растворенной в тесте. Начиная с температуры около 80 °С, подъем образца происходит за счет увеличения давления паров спирта, а затем и влаги.

3. При ЭК-выпечке, помимо прогрева теста-хлеба до $98\text{ }^{\circ}\text{C}$, испарения влаги и физико-химических процессов, имеющих эндотермический характер, тепло расходуется на теплообмен с окружающей средой. Удельный расход тепла при такой выпечке на от 40 % до 50 % ниже, чем при выпечке в обычных хлебопекарных печах. Это объясняется меньшей величиной упека (в 4–5 раз) и отсутствием расхода тепла на перегрев испаренной при выпечке влаги до температуры газовой смеси пекарной камеры.

4. Количество тепла, потребного на физико-химические процессы при ЭК-выпечке, составляет $g_{\text{фх}}=2,5$ ккал/кг.

5. При ЭК-выпечке, независимо от применяемого напряжения, оптимальное качество хлеба достигается при прекращении нагрева, в момент, когда величина тока достигает своего максимума, что совпадает с температурой нагрева мякиша около $98\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Следует отметить, что проведенные нами предварительные эксперименты не подтвердили данного положения.

6. Оптимальное качество хлеба из теста, подвергнувшегося предварительной расстойке до готовности, достигается при проведении процесса выпечки в течение от 8 до 12 минут при напряжении $U=120\text{ В}$.

7. Использование для ЭК-выпечки более низкого напряжения, чем 120 В, целесообразно лишь в комбинации с напряжением 120 В. При этом использование более низкого напряжения должно осуществляться в течение первого этапа выпечки, который может быть охарактеризован как этап ЭК-расстойки. Применение такого переменного режима сокращает время расстойки теста в обычных условиях примерно в два раза при получении хлеба хорошего качества.

8. Значительная величина переходного сопротивления электрод-тесто является основной причиной, из-за которой в случае выпечки недостаточно-расстоявшейся тестовой заготовки, процесс ЭК-нагрева прекращается преждевременно, не обеспечивая полной пропеченности всего образца.

Анализ зависимостей изменения силы тока в процессе ЭК-выпечки всех перечисленных исследователей, показывает некоторые отличия не только в характере изменений, но и абсолютных значениях силы тока.

Это связано с тем, что эксперименты проводились при различных условиях. При этом, возможны отличия, как в свойствах выпекаемой массы, так и в характеристиках установки, применяемой для ее выпечки. Этим же объясняются различия в рекомендациях целесообразной продолжительности выпечки и величины подводимого напряжения. Большинство исследователей использовали тесто, приготовленное по традиционным технологиям, разработанным для выпечки хлеба РК-способом. Однако характер теплового воздействия ЭК-прогрева на тестовую заготовку определяет целесообразность установления оптимальных свойств теста для получения хлеба наилучшего качества. Определенный интерес представляет установление влияния отдельных факторов на процесс ЭК-выпечки и качество готовых изделий, а также изменение химического состава теста-хлеба. Целесообразным также является определение оптимальных технических и технологических характеристик ЭК-выпечки, установление их взаимосвязи и взаимовлияния.

Решение этих вопросов может быть положено в основу концептуальной модели процесса ЭК-выпечки хлеба, позволяющей управлять данным процессом с целью получения продукта с заданными показателями качества.

В связи с изложенным выше, целесообразность дальнейшего изучения ЭК-выпечки в указанных направлениях является актуальной.

Работы Шумаева Ф.Г. кроме исследовательской части содержат инженерное решение вопроса применения ЭК-выпечки в хлебопечении. Предложена конструкция универсальной термической хлебопекарной печи, в которой процесс ЭК-выпечки завершается обжаркой поверхности хлеба, производимой при температуре 350 °С, обеспечивающей образование обычной корки. При обжарке хлеба наилучшие результаты достигаются при смачивании поверхности хлеба водой или жидким клейстером. Проводя расчеты по расходу электроэнергии, Островский Я.Г. [115] показал нерациональность такого варианта комбинирования способов выпечки для производства хлеба. Более рентабельной была признана комбинация ЭК и ИК прогрева [119]. Однако оба варианта комбинированной выпечки существенно снижают достоинство ЭК-выпечки как наименее энергоемкой.

Значительное внимание исследователей было привлечено к исследованию возможности использования ЭК-энергоподвода в технологических операциях, требующих ускоренного прогрева и соблюдения точных температурных режимов.

Островским Я.Г. [115] были проведены исследования в области применения ЭК-прогрева в следующих технологических процессах тестоведения: брожение теста; расстойка разделанных тестовых заготовок; производство заварки; гидротермическая обработка муки; выпечка хлеба из муки, смолотой из проросшего зерна.

В результате проведенных исследований установлено, что применение ЭК-нагрева при брожении позволяет достаточно точно регулировать температурный режим, ускоряет процесс, улучшает качество хлеба. Одновременно установлено, что расход электроэнергии на ЭК-прогрев теста в процессе его брожения незначителен и составляет примерно 5,0 кВт на 1 тонну теста. Примерно такие же результаты получены при использовании ЭК-нагрева с целью форсирования расстойки сформированных кусков теста. При этом было показано, что применение ЭК-нагрева сокращает время расстойки на от 40 % до 45 %, не вызывая ухудшения мякиша хлеба, в сравнении с хлебом, подвергнувшимся расстойке в обычных условиях. Автор отмечает целесообразность использования ЭК-форсирования расстойки лишь при положительном решении проблемы ЭК-выпечки хлеба. Это позволит избежать сложностей с конструкторским оформлением форм для ЭК-форсирования расстойки теста.

Особый практический интерес представляет применение ЭК-нагрева для приготовления заварки, а также для гидротермической обработки муки.

Как отмечает Казанская Л.Н., Баринский В.М., Вrummer J.-М. и др. [121–125], заварки применяются при приготовлении специальных сортов ржаного и ржано-пшеничного хлеба (заварного, бородинского, русского и др.) и в качестве улучшителей при приготовлении пшеничного хлеба. В последнем случае применение заварки особенно целесообразно при работе с мукой, обладающей пониженной сахаро- и газообразующей способностью, а в отдельных случаях – при слабой клейковине.

Приготовление заварки – сложный трехстадийный процесс, требующий соблюдения переменного температурного режима и использования горячей воды для заваривания тестовой массы. При этом весь процесс приготовления заварки требует значительных затрат времени (от 2 до 2,5 часов до от 8 до 12 часов).

При использовании известных методов приготовления заварок, проведение процесса с точным соблюдением регламентированных температур практически невозможно. Кроме этого, при заваривании муки горячей водой (от 98 °С до 99 °С) или паром неизбежно происходит частичный нагрев ее до температур, превышающих оптимальные. Это значительно ухудшает клейковину – переукрепляет ее, что наряду с некоторым ухудшением качества хлеба на заварках приводит к снижению его удельного объема и уплотнению мякиша.

Проведенные исследования [115] доказали, что указанный недостаток устраняется при использовании для производства заварки ЭК-нагрева. Исключение потребности в горячей воде или паре, равномерный ЭК-прогрев водно-мучной болтушки до заданной температуры при значительно меньшем количестве воды, изменение способа охлаждения приводят к значительному сокращению времени приготовления заварки. Хлеб, приготовленный на такой заварке, имел больший объем и лучшую структуру пористости, чем хлеб на обычной заварке. Островский Я.Г. в своей работе определил также основные параметры, необходимые при проектировании производственной установки для ЭК приготовления заварки.

Большое значение для хлебопечения представляет нахождение наиболее рациональных методов улучшения качества хлеба, выпеченного из муки с пониженными хлебопекарными достоинствами (поврежденной клопом-черепашкой, проросшей (солоделой) и т.п.).

Хлеб, выпеченный из муки, поврежденной клопом-черепашкой, получается расплывчатым, малого объема, с грубой неравномерной пористостью. Основными причинами таких свойств является изменение белкового комплекса муки, снижение количества клейковины и ухудшение ее качества. Для улучшения качества хлеба из такой муки, кроме применения специальных режимов тестоведения и внесения определен-

ных добавок, рекомендованных в работах Быстровой А.Н., Токаревой Г.А., Моргуна В.И. и др. [127–129], можно использовать термическую обработку муки. Установлено, что термическая обработка муки теплоносителем, нагретым до от 50 °С до 70 °С, в течение от 14 до 30 часов позволяет улучшить качество клейковины и получить вполне доброкачественный хлеб. Следует отметить, что каждый сорт муки имеет свою оптимальную температуру прогревания. Учитывая, что ЭК-прогрев позволяет проводить плавный, точный и достаточно быстрый нагрев объекта до заданной температуры, была доказана возможность его применения для гидротермической обработки муки, поврежденной клопом-черепашкой [115]. Использование ЭК-нагрева позволило улучшить качество хлеба из дефектной муки.

Не меньшее значение для хлебопечения имеет разработка методов выпечки хлеба на муке из проросшего зерна, что отмечено в работах Lehrack U., Javanainen P., Seibel W., Brummer J.-M. и др. [130–132].

Даже незначительное проращение зерна ведет к ухудшению качества хлеба из такой муки. Хлебобулочные изделия из солоделой муки получают расплывчатыми, «сыропеклыми» и липкими, чему способствует большое количество декстринов, образующихся при ферментативном гидролизе крахмала. Специфика теплового воздействия и большая продолжительность РК-выпечки способствует накоплению декстринов в мякише хлеба из солоделой муки, ухудшая его качество. Для устранения или снижения отрицательных явлений, наблюдаемых при выпечке хлеба из солоделой муки, стремятся сократить продолжительность выпечки, уменьшая массу хлеба. Применение ЭК-энергоподвода позволяет значительно уменьшить время выпечки и получить из солоделой муки (до 50 %) доброкачественный хлеб [115]. При этом ЭК-выпечка хлеба из такой муки должна производиться в обычных условиях, т. к. применение ЭК метода ускорения расстойки при пониженном напряжении приводит к ухудшению качества такого хлеба.

В работах Гинзбурга А.С., Пучковой Л.И., Лабутиной Н.В., Губиева У.К., Данилеско С.В. и др. [114, 119, 133, 134] отмечена еще одна область применения бескоркового хлеба – как полуфабриката сухарного производства.

Как отмечают Ильинский Н.А., Ильинская Т.Н. [135] к сухарному хлебу предъявляются следующие требования: влажность хлеба не должна превышать от 44 % до 46 %, желательна мелкая пористость, максимально равномерная по всему сечению хлеба, толщина корки не должна превышать 3 мм и не допускается ее горелость. Кретович В.Л. [92] отмечает, что завышенная толщина корки ведет, ко всему прочему, к снижению пищевой ценности хлеба.

Островский Я.Г. и Гинзбург А.С. [115, 119] отмечают следующие преимущества применения ЭК-выпечки для приготовления сухарного хлеба:

1. Сухари из бескоркового хлеба отличаются от сухарей из обычного сухарного хлеба большим удельным объемом (от 10 % до 15 %), более равномерной усадкой по толщине ломтя и меньшей его деформацией в процессе сушки. Более равномерная усадка, обусловленная отсутствием корки и уплотненного слоя мякиша вблизи нижней и боковой корок, характерного для обычного хлеба, обеспечивает значительное уменьшение внутренних напряжений, возникающих в ломте при его сушке. В результате сухари из бескоркового хлеба в процессе сушки и транспортирования в меньшей степени подвергаются растрескиванию.

2. Возможность применения более жесткого режима сушки (130 °С в течение всего процесса), а также более равномерная пористость мякиша и меньшая влажность хлеба (после суточного хранения) обеспечивают сокращение продолжительности сушки сухарей из бескоркового хлеба на от 16 % до 30 %.

3. Отсутствие на хлебе корки снижает отходы, имеющие место при резке на ломти обычного сухарного хлеба.

4. Набухаемость сухарей из бескоркового хлеба более равномерная, чем набухаемость сухарей из обычного сухарного хлеба. Это является следствием более развитой пористости и отсутствия корки и уплотненного слоя мякиша.

Для выпечки сухарного хлеба. Островский Я.Г. предлагает использовать контактно-термическую хлебопекарную печь, разработанную Шумаевым Ф.Г., внося в ее конструкцию ряд изменений, включающих удаление полностью обжарочной части, снижение теплоизоляции пе-

карной камеры и уменьшение продолжительности полного оборота конвейера до 10 минут. В этом случае, при мощности печи 60 кВт производительность печи может быть доведена до 15 тонн бескоркового сухарного хлеба в сутки.

С целью внедрения ЭК-нагрева для выпечки сухарного хлеба в объединении «Молдхлебпром» разработаны различные конструкции печей [136, 137].

Джабраилов А.Д. и Леонтьева И.Д. провели исследования по выпечке хлеба для производства сдобных сухарей ЭК и комбинированным ЭК-СВЧ методами [137]. В своих работах авторы рекомендуют применять комбинированную ЭК-СВЧ выпечку для снижения остаточной влажности сухарей и снижения затрат на их подсушку.

1.8 Проблема сохранности хлеба

Хлеб после выпечки поступает на последующее хранение. Температура хлеба на этом этапе превышает температуру окружающей среды и, попадая в хлебохранилище, в котором температура обычно от 18 °С до 25 °С, хлеб начинает быстро остывать. При этом уменьшается его масса в результате процесса влагоотдачи – усыхания. Наряду с этим, в хлебе происходит перераспределение влаги, обусловленное разностью концентрации и температуры во внутренних и внешних слоях [6, 139–141].

При хранении в обычных условиях через от 10 до 12 часов появляются признаки очерствения, которые сопровождаются изменением структурно-механических, коллоидных и химических свойств продукта. По мнению многих исследователей, занимавшихся данной проблемой, очерствение вызывается, в основном, изменением структуры крахмала при хранении хлеба (процессом ретроградации) [142–147]. При этом крахмал выделяет поглощенную им влагу, его зерна уплотняются, между ними образуются воздушные прослойки. Белковые вещества, в свою очередь, воспринимают часть этой влаги. Очерствение хлеба приводит к снижению его потребительской ценности. При этом ухудшается также вкус и аромат хлеба.

Усилия многих ученых, специалистов-производственников направлены на изыскание методов сохранения свежести хлеба и замедления его очерствения.

Изучено влияние способов и режимов ведения технологического процесса приготовления хлеба, состава и свойства сырья, различных добавок, способов и условий хранения и других факторов на процесс очерствения [148–155].

Хлеб из ржаной муки и смеси ржаной и пшеничной муки черствеет медленнее, чем хлеб из пшеничной муки. В работах Люшинской И.И., Вербий В.П., Демчук А.П., Чумаченко Н.А. и др. [156, 157] показано, что приготовление хлеба на молоке или сыворотке, а также с добавлением высокобелковых продуктов способствует сохранению свежести хлеба.

Санина Г.В., Зубченко А.В. и др. [158, 159] отмечают, что сахара и продукты гидролиза крахмала также способны, в той или иной мере, замедлять процесс очерствения хлеба. Можно расположить эти продукты в порядке убывания их способности замедлять очерствение хлеба следующим образом: мальтозная патока, глюкозная патока, декстрины, сахара, мальтоза, глюкоза.

В работах Пучковой Л.И., Матвеевой И.В., Киреевой Л.И., Юдиной Т.А. [160, 161] отмечено, что добавление в тесто жировых продуктов способствует более длительному сохранению мягкости хлебобулочных изделий.

В работах Поландовой Р.Д., Матвеевой И.В., Voyle P. J. и др. [162–164] показана возможность применения для замедления черствения специальных добавок (античерствители), в состав которых входят поверхностно-активные вещества, эмульгаторы, ферментные препараты и др.

Установлено, что сохранению свежести хлеба способствует усиленная механическая обработка теста, применение заваривания части муки, приготовление хлеба на жидких дрожжах, заторах, заквашенных термофильными молочнокислыми бактериями и другие технологические мероприятия, улучшающие структуру и физические свойства мякиша [165–170].

Как отмечает Ауэрман Л.Я. [6], замедления черствения можно добиться хранением хлеба при температуре 60 °С и выше или при глубоком замораживании. Упаковка хлеба во влагонепроницаемые материалы замедляет потерю хлебом влаги и ароматических веществ.

Продления срока сохранения свежести хлеба добиваются применением термоформуемых упаковок, заполняемых продуктом, после чего из упаковок удаляется воздух и они заполняются газовой смесью различного состава, но главным образом, содержащей углекислый газ и азот, или только углекислый газ. Содержание остаточного кислорода в упаковке не должно превышать одного процента [171–176].

Исследования микробиологического состояния хлебобулочных изделий показали целесообразность стерилизации их поверхности с целью снижения содержания микроорганизмов. Отечественными и зарубежными исследователями [177–180] разработана технология хлеба, обеспечивающая обеззараживание муки от споровых форм микроорганизмов, а также способ подавления жизнедеятельности микроорганизмов путем помещения полуфабриката в среду инертного газа, например, углекислого газа, азота, и выдерживания под давлением от 2 до 5 бар в течение от 2 до 240 минут, после чего давление резко снижают до атмосферного.

Меркуловым Е.М. с сотрудниками [181] для улучшения санитарно-гигиенического состояния продукта при хранении, исследована возможность использования СВЧ-поля для обработки хлебобулочных изделий после их выпечки с целью уничтожения поверхностной и внутренней микрофлоры. Обработанные в СВЧ-печи в течение одной минуты изделия сохранялись при комнатной температуре до трех суток без признаков порчи, в то время, как в необработанных образцах, уже в течение первых суток интенсивно развивалась внутренняя микрофлора. Хранение в обоих случаях происходило в полиэтиленовых пакетах.

Gannadios A. и Weller C.L. [182] предложили способ производства оболочки, используемой для хранения и транспортирования хлебобулочных изделий, которые выпекаются непосредственно в ней. Изделия в такой оболочке можно хранить в течение длительного времени. Оболочка может быть съедобной. Рассмотрены также структура, механизм

формирования и возможности использования съедобных пленок, приготовленных из соевого молока и белковых изоляторов из соевых бобов.

Таким образом, изучению процесса черствения хлеба и решению проблемы его сохранности уделялось достаточно глубокое внимание. Следует отметить, что большинство исследований проводилось для хлеба РК-выпечки. В изученной литературе не обнаружено сведений об оптимальных условиях хранения бескоркового ЭК-хлеба, позволяющих хранить данный продукт без ухудшения его качества.

1.9 Целесообразность использования электроконтактного способа выпечки для расширения ассортимента лечебно-профилактических сортов хлеба

Важной задачей, стоящей перед хлебопекарной промышленностью, является расширение ассортимента хлеба лечебного и профилактического назначения.

Разработка рационального способа приготовления хлебобулочных изделий может позволить максимально сохранить полезные свойства сырья, получить продукт с заранее заданными свойствами, повысить его качество и пищевую ценность.

Применение ЭК-способа энергоподвода дает возможность ускорить стадию выпечки, замедлить скорость расщепления углеводов хлеба в организме человека, снизить образование нежелательных веществ, неусвояемых организмом соединений, повысить витаминную и биологическую ценность продукта.

Предыдущими исследователями были изучены некоторые особенности ЭК-выпечки хлеба. Однако исследования проведены в разных условиях, результаты по некоторым вопросам противоречивы, а оптимальной технологии производства хлеба с применением ЭК-способа выпечки не разработано. В изученной литературе не найдено сведений об изменении химического состава теста-хлеба в процессе ЭК-выпечки. Практически не изучены вопросы: оценки значимости отдельных факторов влияния на процесс ЭК-выпечки и их оптимизация, использова-

ния возможности и особенности ЭК-выпечки хлеба с измененным химическим составом, определения оптимальных условий хранения хлеба, получаемого с помощью ЭК-энергоподвода.

В связи с изложенным выше, представляется целесообразным проведение дальнейших исследований ЭК-способа выпечки и разработка на основе системного подхода оптимальной технологии производства хлеба с применением данного способа энергоподвода.

Для достижения поставленной цели целесообразно решить следующие проблемы:

- изучить влияние на процесс ЭК-выпечки и показатели качества хлеба рецептурных, технологических параметров; провести их оптимизацию;

- исследовать особенности ЭК-выпечки хлеба из различных видов сырья (мука пшеничная, мука ржаная, смесь пшеничной и ржаной муки);

- изучить кинетику процесса ЭК-выпечки;

- исследовать химический состав хлеба, получаемого с помощью ЭК-способа выпечки, и установить его отличия от хлеба традиционной выпечки;

- провести медико-биологическую экспертизу хлеба, выпекаемого ЭК-способом;

- установить оптимальные режимы хранения хлеба, получаемого с помощью ЭК-выпечки;

- разработать нормативную документацию на технологию и установку для производства хлеба с применением ЭК-способа выпечки.

2 Разработка технологии производства хлеба с применением электроконтактного способа выпечки

2.1 Методы исследования свойств сырья, полуфабрикатов и готовых изделий

Для проведения исследований в работе использовались: мука пшеничная хлебопекарная обойная, высшего, первого и второго сортов (ГОСТ Р 52189-2003), ржаная хлебопекарная (ГОСТ Р 52809-2007), соль пищевая поваренная (ГОСТ Р 51574-2000); дрожжи хлебопекарные сухие (ГОСТ 28493-90); вода питьевая (ГОСТ Р 51232-98).

При оценке качества пшеничной и ржаной муки влажность определяли методом высушивания по ГОСТ 27492-87, кислотность – ускоренным методом в соответствии с ГОСТ 26971-86, количество и качество клейковины пшеничной муки – по ГОСТ 27839-88, автолитическую активность ржаной муки – по ГОСТ 27495-87. При оценке качества сухих дрожжей определяли их подъемную силу по скорости подъема теста до 70 мм [183].

При разработке технологических режимов приготовления хлеба ЭК-выпечки из пшеничной муки высшего сорта применяли опарный и безопарный способы тестоприготовления. Перед замесом соль и дрожжи растворяли в воде. При безопарном способе тесто готовили в одну стадию из всего количества сырья, предусмотренного рецептурой. Брожение теста проводили при температуре $(30 \pm 2) ^\circ\text{C}$. Через каждые 60 мин брожения осуществляли обминку теста. Последнюю обминку проводили не позднее, чем за 20 мин до направления тестовой заготовки на расстойку.

При опарном способе тесто готовили на жидкой опаре (влажность 70 %), содержащей 25 % муки, все количество дрожжей по рецептуре и расчетное количество воды. Через 3 ч брожения при температуре $(30 \pm 2) ^\circ\text{C}$ на опаре замешивали тесто с внесением оставшихся компонентов, предусмотренных рецептурой.

При сравнительной выпечке хлеба ЭК и РК способами из различных видов и сортов муки тесто готовили по традиционным технологи-

ям, разработанным для соответствующих наименований хлеба. При этом конечную влажность теста для хлеба ЭК-выпечки увеличивали на 8 %, а дозировку соли в хлеб, выпекаемый двумя способами, уменьшали в два раза по сравнению с традиционной технологией.

Тесто из пшеничной сортовой муки готовили безопасным способом, из пшеничной обойной муки – на жидкой опаре.

Тесто из ржаной обдирной муки готовили в две стадии на густой закваске, при внесении в тесто на второй стадии 33 % муки с закваской.

Тесто для ржано-пшеничного хлеба готовили из 60 % ржаной обдирной муки и 40 % пшеничной муки первого сорта в две стадии на густой закваске. Количество муки, вносимой с закваской при замесе теста на второй стадии, составляло 33 %.

При проведении экспериментов с использованием перечисленных способов тестоприготовления руководствовались их детальным описанием в сборнике технологических инструкций для производства хлебобулочных изделий [184].

Интенсивность образования углекислого газа тестовой заготовки в процессе ее брожения и ЭК-выпечки определяли на установке ВНИИЗ по методу, основанному на поглощении выделенного CO_2 раствором $0,1 \text{ моль/дм}^3 \text{ Ba(OH)}_2$ с последующим титрованием исходного и рабочего растворов $0,1 \text{ моль/дм}^3 \text{ HCl}$ [185].

Выпечку хлеба РК-способом проводили в лабораторной печи марки РЗ-ХЛП при температуре от $230 \text{ }^\circ\text{C}$ до $250 \text{ }^\circ\text{C}$ с увлажнением пекарной камеры в начальном периоде выпечки.

ЭК-выпечку хлеба проводили в специально разработанной лабораторной установке. Установка представляет собой специальную форму с изменяемым объемом, изготовленную из неэлектропроводного термостойкого материала. На внутренних поверхностях двух противоположных стенок формы установлены пластины из нержавеющей стали, являющиеся электродами, включаемыми на время выпечки в цепь переменного тока промышленной частоты с возможностью регулирования подводимого напряжения. Установка снабжена приборами для измерения силы тока и температуры тестовой заготовки в процессе выпечки и

имеет патрубок в верхней части для подключения к системе вакуумирования.

Качество хлеба оценивали по следующим показателям: влажность – по ГОСТ 21094-75, пористость – по ГОСТ 5669-96, кислотность – ускоренным методом по ГОСТ 5670-96. Кроме того, определяли объемный выход (ГОСТ 27669-88) и весовой выход хлеба гравиметрическим методом.

Для сравнения показателей хлеба, выпекаемого ЭЖ и РК способами, весовой выход пересчитывали на влажность 44 %.

Поглощение воды хлебом определяли по количеству удержанной при смачивании мякиша воды; крошковатость хлеба оценивали по массе крошек, образовавшихся после механического разрушения выделенного объема мякиша [186].

При анализе химического состава хлеба содержание белка определяли по методу Къельдаля (ГОСТ 10846-91), содержание общих и редуцирующих сахаров – феррицианидным методом по ГОСТ 5903-89, содержание крахмала – по методу Эверса, содержание декстринов – по методу Попова М.П. и Шаненко Е.Ф. [183].

Органолептическую оценку хлеба проводили методом ранжирования по пятибальной шкале [187, 188].

Для оценки органолептических свойств бескоркового хлеба была отобрана группа экспертов. На основе традиционных методик [189] нами была разработана 100-бальная шкала органолептической оценки бескоркового хлеба по четырем показателям качества: вкусу, запаху, консистенции и внешнему виду. Коэффициенты весомости каждого показателя определяли путем опроса группы экспертов, являющихся специалистами в области хлебопечения, хорошо знающими продукт и его технологию. В приложении Е представлена шкала органолептической оценки качества бескоркового хлеба.

Медико-биологические исследования хлеба проводили совместно с кафедрой «Физиология питания» Оренбургской государственной медицинской академии по методике, разработанной Институтом питания АМН СССР, Ростовским государственным медицинским институтом Минздрава СССР и Кубанским Государственным медицинским инсти-

тутом Минздрава РСФСР [190]. В эксперименте использовались две группы крыс ВИСТАР с исходной массой тела от 195 до 200 г (самцы) и от 155 до 165 г (самки). В рацион питания первой (контрольной) группы крыс входил хлеб традиционной РК выпечки, второй группы – бескорковый ЭК-хлеб. В таблицах 1 и 2 представлены рационы контрольных и опытных групп крыс. Продолжительность эксперимента составляла 10 дней.

Таблица 1 – Рацион питания контрольной группы крыс

Ингредиенты	Масса, г	Белок, г	Жир, г	Углеводы, г	Калорий- ность, ккал
Подсолнечник (семена)	3,70	0,760	1,900	0,114	22,10
Овес	10,30	1,030	6,300	4,900	25,80
Хлеб РК-выпечки из пшеничной муки высшего сорта	4,00	0,330	0,035	1,900	9,47
Каша пшеничная	2,50	0,270	0,340	1,560	10,50
Творог нежирный	2,00	0,360	0,012	0,036	1,74
Рыбная мука	0,50	0,230	0,027	-	1,17
Мясо 2 категории	4,00	0,800	0,390	-	6,72
Морковь	8,00	0,104	0,008	0,670	2,40
Зелень (салат)	8,00	0,120	0,016	0,250	1,36
Рыбий жир	0,10	-	0,099	-	0,90
Дрожжи	0,10	0,050	0,010	0,083	0,09
NaCl	0,15	-	-	-	-
ИТОГО	43,35	4,054	9,137	9,513	82,25

При проведении исследований все анализы осуществляли в неоднократных повторностях в зависимости от точности и сложности использованных методов. Результаты выражали в виде среднего арифметического параллельных повторностей. Оценку степени влияния входных параметров на изменение анализируемых факторов проводили с использованием дисперсионного анализа [191] по критерию Фишера при уровне значимости $P = 0,95$.

При необходимости установления математической зависимости между двумя переменными факторами использовали метод наименьших

квадратов [191, 192, 193] с оценкой степени отклонения экспериментальных точек от полученной зависимости коэффициентом корреляции.

Таблица 2 – Рацион питания опытной группы крыс

Ингредиенты	Масса, г	Белок, г	Жир, г	Углеводы, г	Калорий- ность, ккал
Подсолнечник (семена)	3,70	0,760	1,900	0,114	22,10
Овес	10,30	1,030	6,300	4,900	25,80
Хлеб ЭК-выпечки из пшеничной муки высшего сорта	4,00	0,333	0,035	1,930	9,59
Каша пшеничная	2,50	0,270	0,340	1,560	10,50
Творог нежирный	2,00	0,360	0,012	0,036	1,74
Рыбная мука	0,50	0,230	0,027	-	1,17
Мясо 2 категории	4,00	0,800	0,390	-	6,72
Морковь	8,00	0,104	0,008	0,670	2,40
Зелень (салат)	8,00	0,120	0,016	0,250	1,36
Рыбий жир	0,10	-	0,099	-	0,90
Дрожжи	0,10	0,05	0,010	0,083	0,09
NaCl	0,15	-	-	-	-
ИТОГО	43,35	4,057	9,137	9,543	82,37

Для определения количественных и качественных закономерностей процесса ЭК-выпечки хлеба применяли планирование экспериментов [192]. Оптимизацию процессов проводили графоаналитическим способом в соответствии с математическими моделями.

2.2 Результаты исследования и их обсуждение

2.2.1 Установление режимов тестоприготовления и выпечки хлеба ЭК-способом

Для разработки оптимальной технологии производства хлеба ЭК-способом были проведены однофакторные эксперименты по исследованию влияния продолжительности брожения, способа тестоприготовле-

ния, массовой доли соли, дрожжей и воды на процесс ЭК-выпечки и показатели качества хлеба.

Первоначально тесто готовили двухфазным способом на жидкой опаре по рецептуре, предусматривающей внесение на 100 г пшеничной муки высшего сорта 1 % дрожжей и 1,3 % соли. Влажность готового теста составляла 46,5 %. Для ЭК-выпечки выбран вариант, когда поддерживалось постоянное по величине напряжение переменного тока 220 В.

Для определения оптимальной величины тестовой заготовки были проведены предварительные расчеты. Из соображения оптимальной заполняемости формы тестом, с учетом его плотности и увеличения объема в процессе выпечки были определены границы варьирования массы муки одной тестовой заготовки. При расстоянии между электродами 55, 75, 95, 115, 135 мм были выпечены образцы хлеба с массой муки на одну тестовую заготовку соответственно 225, 300, 375, 450 и 525 г. Выпечку проводили до готовности, т.е. достижения температуры в центре мякиша значения $(98 \pm 2)^\circ\text{C}$. Из выпеченных образцов хлеба отбирали наилучшие, характеризующиеся более развитой пористостью и высокими органолептическими показателями. В результате экспериментов, оптимальная дозировка муки на одну тестовую заготовку составила 300 г.

При ЭК-выпечке хлеба увеличение объема образцов происходило в течение всего процесса выпечки. Выпеченные образцы хлеба не имели темноокрашенной корки, образующейся при традиционном способе выпечки. Поверхность хлеба, выпеченного ЭК-способом, была покрыта тонкой пленкой, практически не отличающейся по цвету от мякиша. Мякиш хлеба имел нормально развитую, равномерную пористость. Полученные данные хорошо согласуются с результатами предыдущих исследований.

На следующем этапе определяли оптимальную дозировку соли. Количество вносимой в тесто соли меняли в пределах от 0 до 2,5 % на 100 г муки.

Результаты эксперимента позволили определить оптимальный предел варьирования дозировок соли от 0,65 % до 1,3 %. Уменьшение дозировок соли приводило к увеличению продолжительности выпечки и

ухудшению качества хлеба. Высокие дозировки соли приводили к возникновению на поверхности электродов, соприкасающихся с тестом, очагов искрения, что обуславливало «горение» хлеба в этих точках и, следовательно, снижение его органолептических достоинств. Наилучшие показатели качества хлеба (наибольший объемный выход, хорошо развитая пористость и пропеченность мякиша, наилучшие органолептические свойства) достигались при добавлении соли в количестве 0,65 %.

Были проведены эксперименты по установлению оптимальной дозировки дрожжей для приготовления хлеба ЭК-выпечки. Количество дрожжей, вносимых в тесто, изменяли в пределах от 0,5 % до 2,5 % на 100 г муки.

В результате экспериментов было установлено, что наилучшими показателями качества обладали образцы хлеба, приготовленные с внесением в тесто 2 % дрожжей.

Дальнейшие эксперименты были направлены на определение оптимальной влажности теста, продолжительности брожения и способа тестоприготовления.

Первая серия экспериментов по изменению массовой доли влаги в тесте в пределах от 39 % до 54 % показала, что по мере увеличения массовой доли влаги в тесте объем выпекаемой тестовой заготовки увеличивается. При массовой доле влаги в тесте 54 % объем тестовой заготовки при выпечке увеличивался настолько, что возникла необходимость уменьшения массы самой тестовой заготовки, так как последняя переполнила пекарную форму и оплывшие слои теста по окончании выпечки остались недостаточно пропеченными (рисунок 1). Консистенция приготавливаемого теста определила целесообразность перехода на безопасный способ тестоприготовления.

Дальнейшие эксперименты по определению оптимальной массовой доли влаги в тесте проводились при безопасном способе тестоприготовления и массе муки на одну тестовую заготовку 200 г. В результате экспериментов было исследовано влияние массовой доли влаги в тесте от 39 % до 64 % на показатели качества выпекаемого хлеба. Кривые изменения объемного и весового выхода, пористости готовых изделий в зависимости от массовой доли влаги в тесте представлены на рисунке 2.



1 2 3 4

Массовая доля влаги в тесте: 1 – 40 %; 2 – 44 %; 3 – 48 %; 4 – 54 %

Рисунок 1 – Образцы бескоркового хлеба с различной массовой долей влаги в тесте

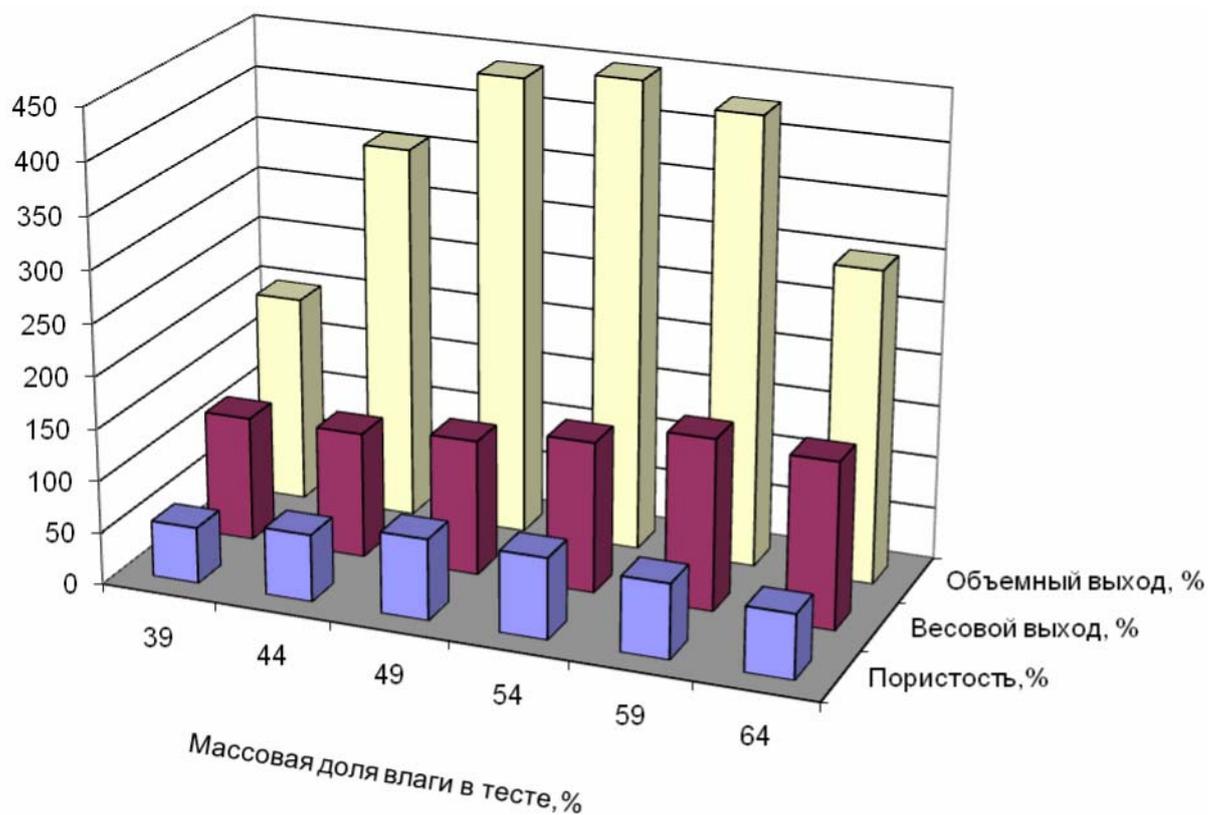


Рисунок 2 – Взаимосвязь массовой доли влаги в тесте и показателей качества хлеба

Анализ экспериментальных данных, представленных на рисунке 2 позволил сделать вывод, что наилучшие показатели качества достигаются при массовой доле влаги в тесте в пределах от 50 % до 56 %.

Следующая серия экспериментов была направлена на определение оптимальной продолжительности брожения и расстойки теста. Результаты предыдущих исследователей показали, что степень расстойки теста определяет величину переходного сопротивления электрод-тесто и оказывает влияние на качество выпеченных образцов. Поэтому установление оптимальной продолжительности расстойки имеет большое технологическое значение. Продолжительность расстойки изменяли в пределах от 15 до 60 минут. Наилучшие результаты (наибольший объемный выход, пористость и весовой выход хлеба) были получены при расстойке образцов 30 и 45 мин.

Продолжительность брожения меняли от 140 до 200 минут. Было установлено, что наилучшие показатели качества хлеба достигаются при продолжительности брожения 155 минут. Таким образом, для получения бескоркового хлеба с хорошо развитой пористостью и высокими показателями объемного и весового выхода, продолжительность созревания теста должна составлять 185–200 минут.

На следующем этапе исследовалось влияние величины подводимого напряжения на процесс ЭК-выпечки и показатели качества готового хлеба. Исследования проводили при дозировках соли 0,65 и 1,3 %. Подводимое напряжение изменяли в пределах от 100 до 380 В. Развитие процесса ЭК-выпечки оценивалось по изменению температуры тестовой заготовки и силы тока, представленных на рисунках 3 и 4. Зависимость показателей качества образцов от величины подводимого напряжения отражена на рисунке 5.

Анализ полученных данных показывает, что с увеличением подводимого напряжения до 220 В наблюдается увеличение объемного и весового выходов, а также пористости образцов. Продолжительность выпечки уменьшается, органолептические свойства хлеба улучшаются. Наилучшие результаты достигаются при подводимом напряжении 220 В.

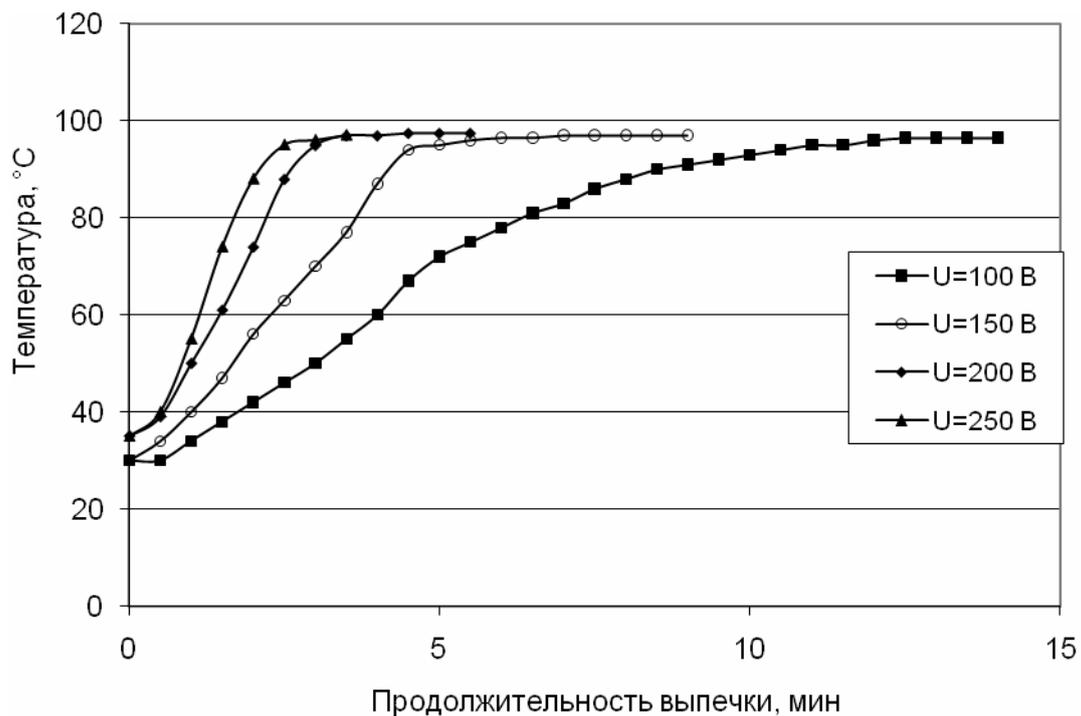
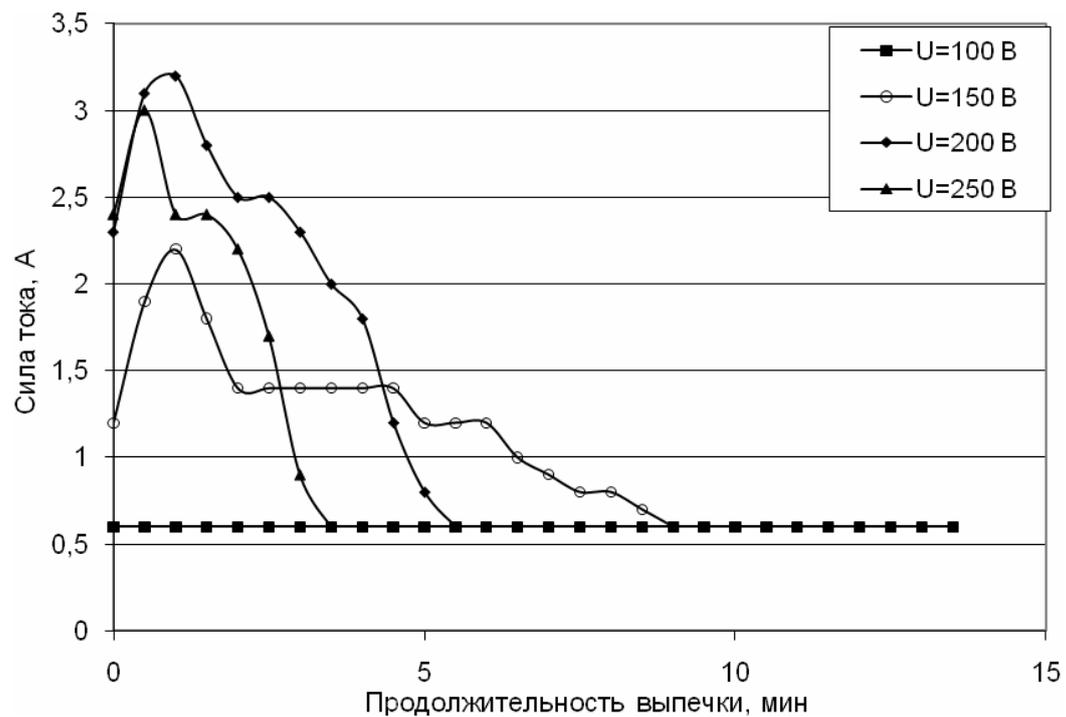


Рисунок 3 – Кинетика изменения силы тока и температуры тестовой заготовки с массовой долей соли 0,65 %, выпекаемой при различном напряжении (U)

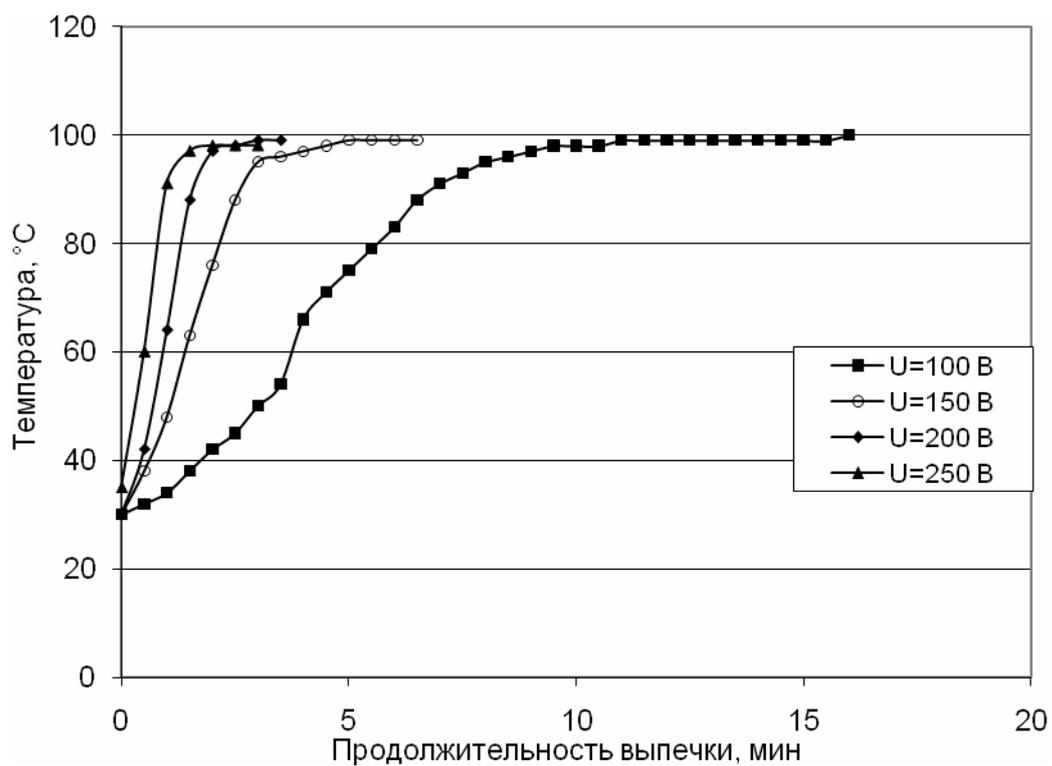
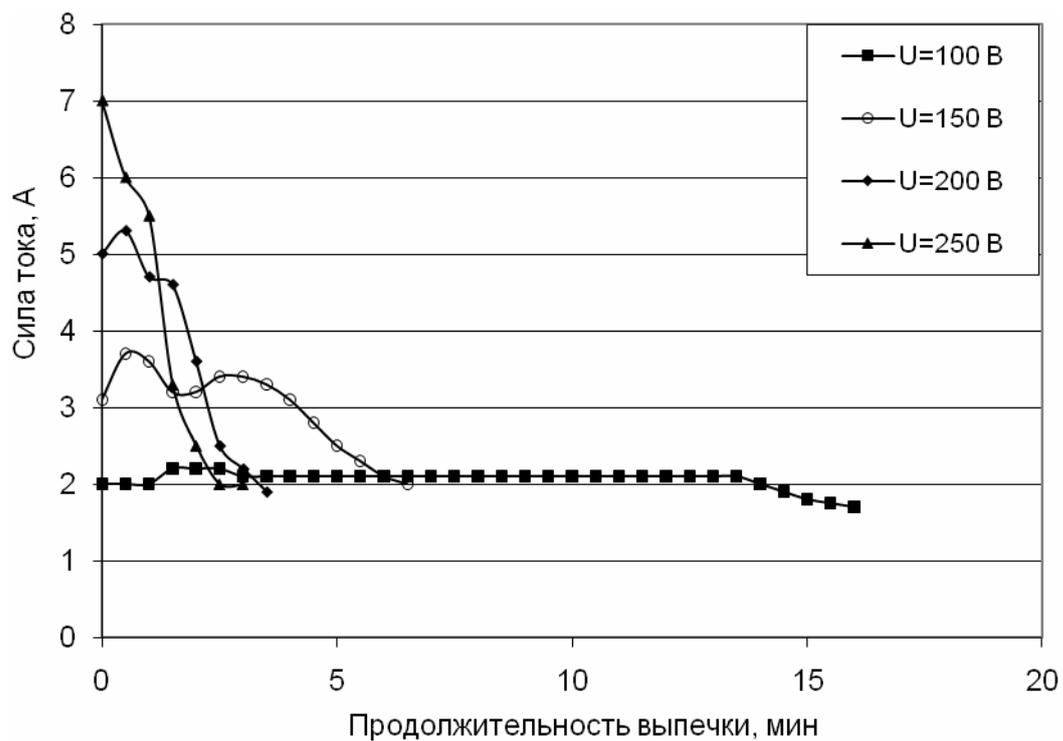


Рисунок 4 – Кинетика изменения силы тока и температуры тестовой заготовки с массовой долей соли 1,3 %, выпекаемой при различном напряжении (U)

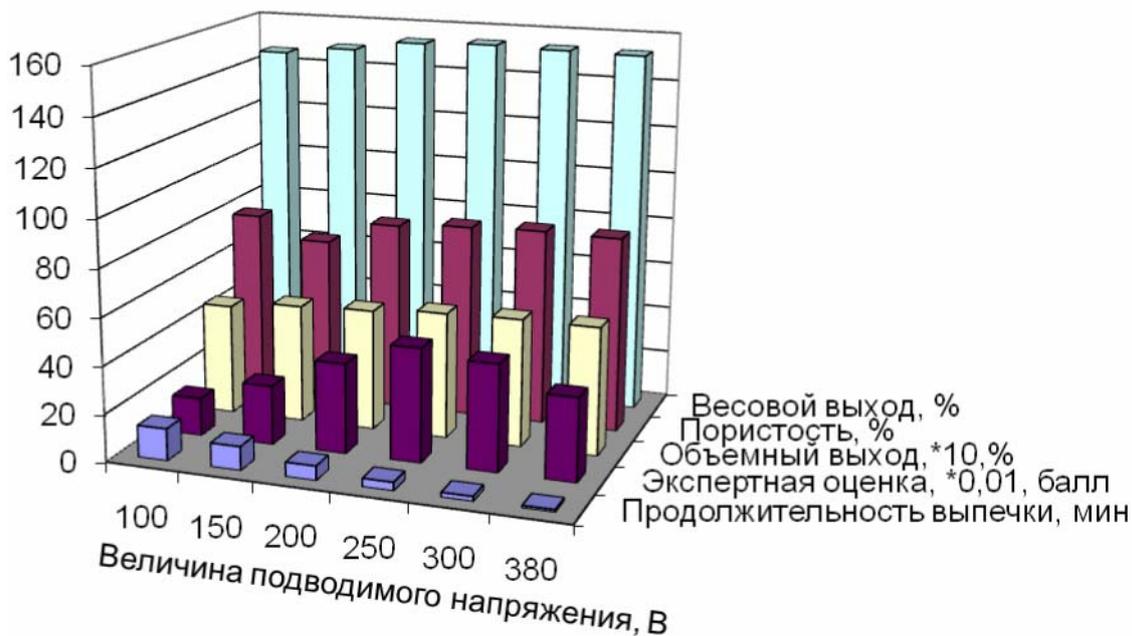


Рисунок 5 – Влияние величины подводимого напряжения на показатели качества бескоркового хлеба и продолжительность ЭК-выпечки

Высокая массовая доля влаги в тесте обеспечивает большую подвижность ионам, образующимся в тестовой заготовке при прохождении через нее электрического тока. В процессе нагревания тестовой заготовки до 35 °С тестовая масса разжижается за счет перехода в жидкую фазу пептизируемых водой компонентов. Это обуславливает увеличение ее электропроводности и приводит к повышению силы тока. При повышении напряжения прогрев теста происходит более интенсивно, температура тестовой заготовки быстро достигает 35 °С, поэтому период повышения силы тока сокращается. В дальнейшем повышение температуры тестовой заготовки до 55 °С приводит к снижению роли процессов пептизации. Ведущую роль начинают играть процессы набухания. При этом компоненты теста связывают влагу, что ограничивает свободу перемещения ионов, характеризующуюся снижением электропроводности и силы тока. При дальнейшем повышении температуры тестовой заготовки начинают сказываться отличия свойств белковых и углеводных компонентов теста. Процесс денатурации белков сопровождается выделением влаги, захваченной ими при набухании. Процесс набухания и клейстеризации

клейстеризации крахмала сопровождается поглощением воды. Эти два процесса как бы уравнивают друг друга (в отношении количества жидкой фазы), что характеризуется некоторой стабильностью электропроводности теста и силы тока. При повышении напряжения температура тестовой заготовки повышается быстрее, что приводит к сокращению периода стабилизации электропроводности, кривые силы тока как бы сжимаются по времени. Снижение подводимого напряжения (от 150 В и ниже) растягивает кривые изменения силы тока, сглаживая колебания электропроводности теста, обусловленные изменением коллоидных свойств тестовой заготовки. При температуре тестовой заготовки выше 80 °С снижению электропроводности теста способствует упрочнение стенок клейковинного каркаса, увеличение газообразной фазы теста и уменьшение количества свободной воды при интенсивном ее испарении из тестовой заготовки при температуре кипения воды.

Процесс выпечки заканчивается, когда свобода перемещения ионов ограничена настолько, что дальнейшего повышения температуры хлеба не происходит. Наличие остаточной величины силы тока обусловлено наличием в хлебе связанной влаги.

При увеличении массовой доли соли в тесте температура тестовой заготовки в процессе ЭК-выпечки увеличивается быстрее. Изменение дозировок соли оказывает некоторое влияние на взаимосвязь температуры тестовой заготовки и силы тока. Это связано с тем, что внесение соли оказывает определенное влияние на состояние коллоидной системы теста. В процессе ЭК-выпечки изменение физико-химических свойств тестовой заготовки в значительной мере определяет изменение его электропроводности. Увеличение количества соли в тесте несколько задерживает изменение физико-химических свойств при его прогреве. Поэтому при увеличении дозировки соли электропроводность тестовой заготовки изменяет свой характер при более низких значениях температуры. Следует заметить, что указанная зависимость в пределах изменения дозировок соли от 0,65 % до 1,3 % существенного влияния на процесс ЭК-выпечки не оказывает.

Более быстрый нагрев тестовой заготовки при высоком напряжении приводит к более интенсивному испарению влаги из тестовой заго-

товки. Стенки клейковинного каркаса испытывают большее давление и растягиваются в большей степени, чем при подаче низкого напряжения. Этим обуславливается более высокий объем и пористость хлеба, выпеченного при высоких значениях подводимого напряжения.

Вышесказанное обуславливает целесообразность установления оптимальных технологических параметров для выпечки хлеба при подводимом напряжении 380 В.

Интенсивность прогрева тестовой заготовки зависит также и от расстояния между электродами. Были проведены эксперименты по ЭК-выпечке хлеба при напряжении 380 В и расстоянии между электродами 75, 95, 115, 135 мм. Масса муки на одну тестовую заготовку составляла соответственно 200, 250, 300, 350 г. Кинетика изменения температуры теста-хлеба при данных условиях приведена в приложении Ж.

Анализ полученных данных свидетельствует, что увеличение расстояния между электродами приводит к замедлению процесса ЭК-выпечки. В результате экспериментов установлено, что наилучшими показателями качества обладали образцы хлеба, выпеченные при расстоянии между электродами 75 мм и массе муки на одну тестовую заготовку 200 г. Оптимальная величина массовой доли влаги в тесте составила 52 %.

Исследована возможность ЭК-выпечки при подаче на электроды постоянного электрического тока. В результате эксперимента был получен бескорковый хлеб, у которого поверхности, соприкасающиеся с электродами, имели желтую и зеленую окраску. Анализ послойной кислотности данного продукта показал, что мякиш хлеба с зеленой стороны имел кислую реакцию среды, а с желтой – щелочную. В центре хлеба мякиш имел нейтральную реакцию среды. То есть, при подаче постоянного напряжения, в пространстве между электродами протекает электролиз солей, находящихся в водном растворе теста. При этом на электроде-аноде окисляются отрицательные ионы, в том числе ионы хлора, обуславливающие зеленую окраску поверхности хлеба. На катоде восстанавливаются катионы. Так как ионы натрия обладают слабыми окислительными свойствами, то на катоде будут восстанавливаться ионы

водорода из воды. Ионы натрия взаимодействуют с гидроксил-ионами, обуславливая щелочную реакцию слоев, прилегающих к катоду.

Таким образом, было установлено, что продукт, получаемый при подаче на электроды постоянного электрического тока, не соответствует предъявляемым НТД требованиям и не пригоден для употребления в пищу.

Было исследовано влияние подачи пульсирующего переменного напряжения на процесс ЭК-выпечки и показатели качества бескоркового хлеба. Были исследованы следующие режимы подачи и отключения напряжения электрического тока 5:5; 10:10; 60:60; 30:15 с. Контролем служил хлеб, выпекаемый при постоянной подаче переменного напряжения на электроды.

В результате эксперимента было установлено, что продолжительность ЭК-выпечки хлеба при пульсирующей подаче электрического тока увеличивается. При этом суммарная продолжительность подачи электрического тока на электроды до момента готовности хлеба была равна, или несколько превышала, продолжительность выпечки при постоянной подаче напряжения. То есть затраты электрической энергии на ЭК-выпечку хлеба при периодическом отключении напряжения не только не снижались, но даже несколько увеличивались (при режимах 60:60 и 30:15 с). При режиме пульсирующей подачи напряжения 30:15 с было отмечено некоторое возрастание объемного и весового выхода хлеба (приложение И) по сравнению с контролем. Однако органолептические показатели хлеба, выпеченного при данном режиме, оказались хуже, чем у контрольных образцов. Наряду с удлинением и усложнением процесса ЭК-выпечки, это приводит к снижению практической значимости пульсирующих режимов подачи напряжения.

Анализ результатов комплекса технологических исследований ЭК-выпечки хлеба показал, что наибольшее влияние на процесс ЭК-выпечки и показатели качества бескоркового хлеба оказывают следующие факторы: массовая доля влаги в тесте и расстояние между электродами в сочетании с массой тестовой заготовки и величиной подводимого напряжения.

Наилучшие показатели качества ЭК-хлеба достигаются при внесении соли в количестве 0,65 %, сухих дрожжей – 2 %, продолжительности созревания теста от 185 до 200 мин с применением безопасного способа тестоприготовления. Массовую долю влаги в тесте целесообразно изменять в пределах от 50 % до 56 % при дозе муки на одну тестовую заготовку от 150 до 350 г.

2.2.2 Исследование влияния вакуумирования на процесс ЭК-выпечки и показатели качества бескоркового хлеба

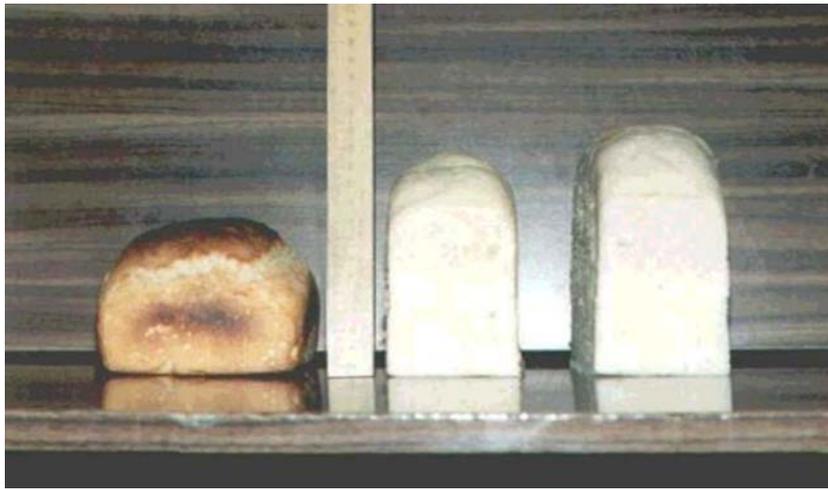
Тестовая заготовка в процессе ЭК-выпечки испытывает определенное давление атмосферного воздуха. Было предположено, что разрежение пекарной камеры при выпечке увеличит степень расширения газообразной фазы тестовой заготовки, что приведет к увеличению объемного выхода и пористости готовых изделий.

Была проведена сравнительная выпечка хлеба тремя способами: традиционным РК, ЭК-способом и ЭК-способом в условиях вакуумирования. Тесто для хлеба традиционной технологии готовили по известным регламентам, описанным в соответствующих рекомендациях [184]. Для бескоркового хлеба использовали режимы тестоприготовления, установленные на предыдущих этапах исследования. Образцы хлеба, выпеченные указанными способами, представлены на рисунке 6.

Результаты эксперимента подтвердили высказанное предположение: наибольшим объемным выходом, пористостью и весовым выходом обладал образец хлеба, выпеченный ЭК-способом в вакууме, затем следовал образец, выпеченный ЭК-способом и традиционным способом.

Далее был проведен комплекс исследований по установлению оптимального режима приготовления бескоркового хлеба с ЭК-выпечкой его в условиях вакуумирования пекарной камеры.

Были проведены однофакторные эксперименты по изучению влияния степени разрежения пекарной камеры, массовой доли влаги в тесте, расстояния между электродами на процесс ЭК-выпечки и показатели качества бескоркового хлеба.



1

2

3

Образцы хлеба, выпеченные различными способами:

1 – традиционным РК способом; 2 – ЭК-способом;

3 – ЭК-способом с вакуумированием пекарной камеры.

Рисунок 6 – Образцы хлеба, выпеченные различными способами

Степень разрежения пекарной камеры изменяли в пределах от 0 до 50 кПа. Результаты эксперимента представлены на рисунке 7.

Анализ полученных данных позволил установить область оптимальных значений разрежения пекарной камеры в пределах от 20 до 40 кПа.

Исследование влияния массовой доли влаги в тесте на показатели качества хлеба, выпекаемого указанным способом, проводились в пределах ее изменения от 46 % до 64 %. Полученные результаты позволили установить оптимальную массовую долю влаги в тесте (54 %), при которой выпеченные образцы обладали наилучшими показателями качества.

Эксперименты по установлению оптимальной величины подводимого напряжения позволили установить, что наилучшие показатели качества хлеба при выпечке его в условиях вакуумирования достигаются при напряжении 220 В.

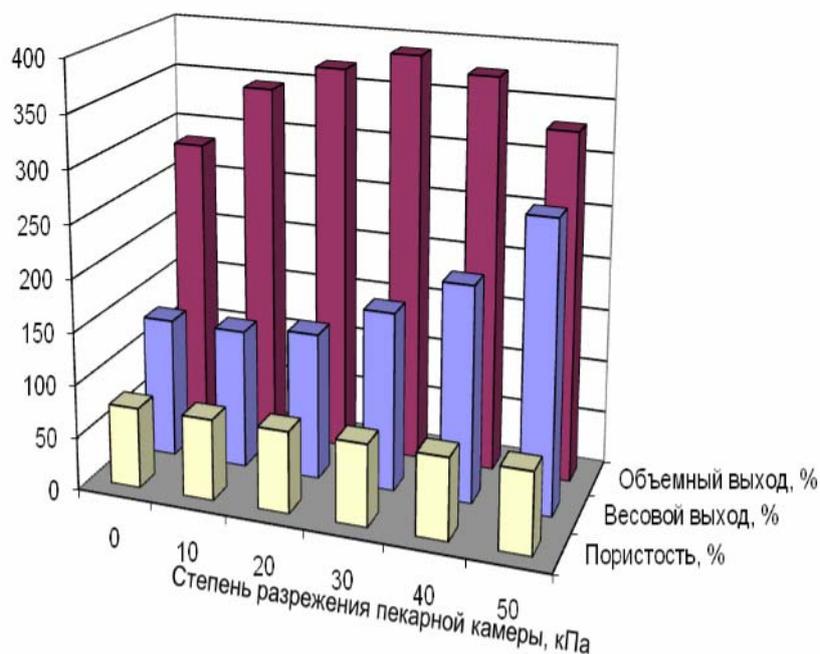


Рисунок 7 – Влияние степени разрежения пекарной камеры на показатели качества бескоркового хлеба

Исследовано влияние величины подводимого напряжения на процесс ЭК-выпечки в условиях вакуумирования и показатели качества получаемых изделий.

В результате экспериментов было установлено, что характер изменения показателей качества бескоркового хлеба, выпекаемого в условиях вакуумирования, в зависимости от величины подводимого напряжения аналогичен ЭК-выпечке при атмосферном давлении и отличается некоторым повышением абсолютных значений всех показателей. На рисунке 5 это сопровождалось бы смещением всех кривых вверх, что свидетельствует об улучшении показателей качества хлеба при некотором увеличении продолжительности выпечки.

Анализируя зависимости изменения силы тока, характеризующие процесс ЭК-выпечки в условиях вакуумирования и при атмосферном давлении (приложения К и Л) можно сделать следующие выводы. При ЭК-выпечке в условиях вакуумирования сокращается период стабилизации силы тока, характерный для выпечки в условиях атмосферного давления. Это свидетельствует о том, что вакуумирование пекарной камеры увеличивает долю факторов, способствующих снижению электропроводности теста. Если учесть, что вакуумирование пекарной камеры

способствует большему тепловому расширению газообразной фазы теста, то сокращение периода стабилизации силы тока можно объяснить увеличением газообразной фазы теста, способствующим снижению его электропроводности. Увеличение дозировок соли приводит к интенсификации прогрева тестовой заготовки, а, следовательно, к более интенсивному расширению газовых пузырьков, что в свою очередь приводит к сглаживанию участка кривой силы тока в период ее снижения.

Было исследовано влияние изменения расстояния между электродами на процесс ЭК-выпечки хлеба в условиях вакуумирования и показатели качества готовых изделий. Образцы выпекали при расстоянии между электродами 55, 75, 95, 115, 135 мм. Масса муки на одну тестовую заготовку при этом составляла соответственно 150, 200, 250, 300 и 350 г. На рисунке 8 представлены кривые изменения силы тока образцов бескоркового хлеба, выпеченных в условиях вакуумирования при различном расстоянии между электродами. Анализ полученных результатов показывает, что увеличение расстояния между электродами приводит к увеличению продолжительности выпечки и некоторому изменению конфигурации кривых силы тока. При расстоянии между электродами 55 и 75 мм четко просматривается экстремум на кривой силы тока. При увеличении расстояния между электродами экстремум силы тока фиксируется менее четко, т. е. преобразования в тестовой заготовке в процессе выпечки происходят плавно, без резких колебаний ее электропроводности. Наилучшими показателями качества обладали образцы, выпеченные при расстоянии между электродами 95 мм и массе муки на одну тестовую заготовку 250 г. Хотя вакуумирование пекарной камеры при ЭК-выпечке и привело к увеличению объема хлеба, однако, ожидаемый уровень эффекта не был достигнут. Это привело к предположению, что на начальном этапе выпечки, когда тесто разжижается, слабые стенки клейковины не могут удерживать газовые пузырьки и они переходят из тестовой заготовки в безвоздушное пространство пекарной камеры. В дальнейшем, клейковинные стенки укрепляются, а расширяющиеся газовые пузырьки растягивают их, при этом объем тестовой заготовки увеличивается. В связи с этим представляется целесообразным применение вакуумирования на стадии, когда клейковинный

каркас будет способен удерживать газовые пузырьки и растягиваться при их тепловом расширении. В связи с этим, была проведена серия экспериментов с предварительным ЭК-прогревом тестовой заготовки перед вакуумированием. При проведении первой серии экспериментов тестовую заготовку разогревали до определенной температуры (от 30 °С до 80 °С), после этого из пекарной камеры откачивали воздух до степени разрежения 40 кПа и продолжали ЭК-выпечку хлеба до готовности. Наибольшим объемным выходом обладали образцы с предварительным разогревом до 50 °С. Однако, по сравнению с хлебом, выпеченным без предварительного разогрева, объемный выход не увеличился.

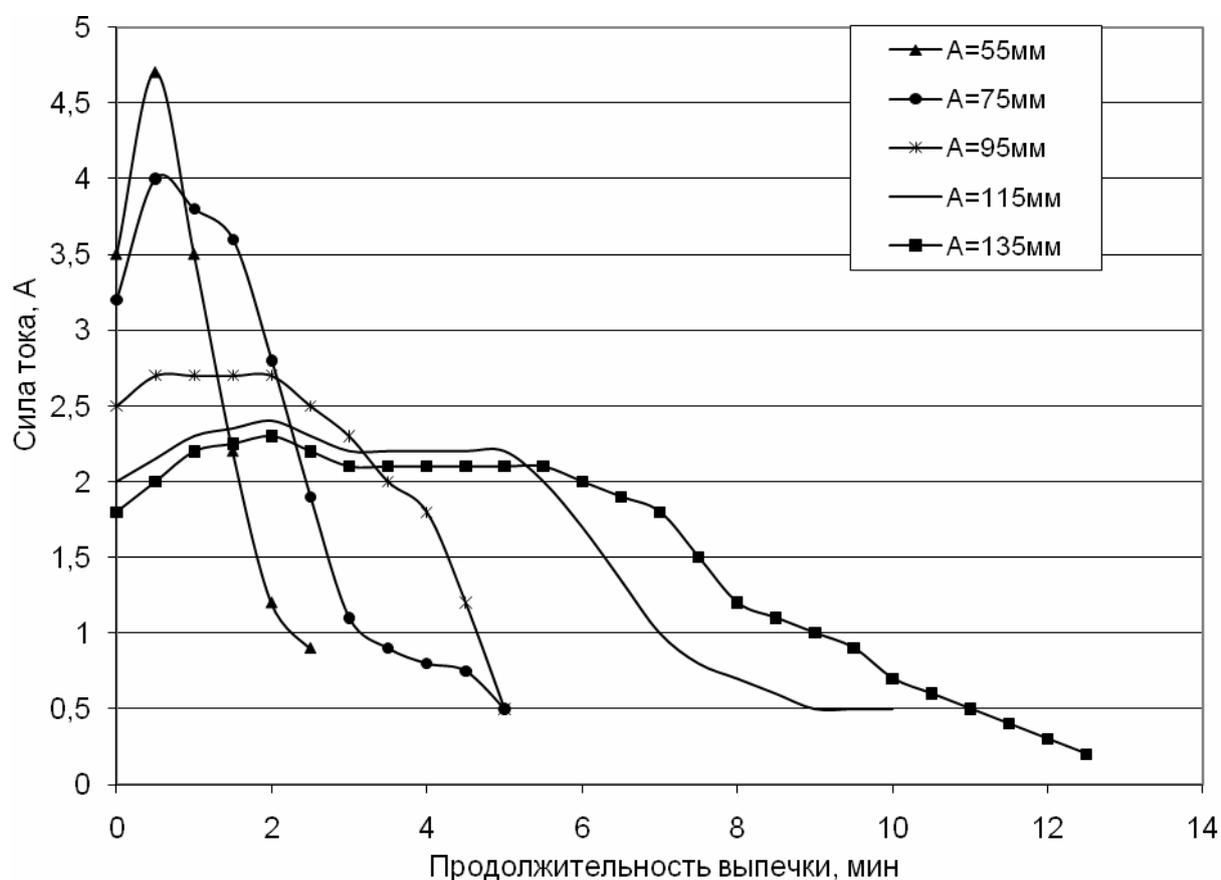


Рисунок 8 – Кинетика изменения силы тока при ЭК-выпечке в вакууме при различном расстоянии между электродами (A)

Следующие эксперименты были направлены на определение роли характера вакуумирования пекарной камеры. При этом оценивались два возможных варианта вакуумирования:

1) постоянное откачивание воздуха после разогрева тестовой заготовки;

2) разрежение воздуха пекарной камеры до предварительного разогрева тестовой заготовки.

При первом варианте вакуумирования тестовую заготовку выпекали в течение определенного времени (от 0 до 60 с). После чего воздух из пекарной камеры откачивался до степени разрежения 40 кПа. Затем выпечку продолжали до момента готовности хлеба. Результаты эксперимента позволили сделать вывод, что применение постоянного вакуумирования на любой стадии разогрева тестовой заготовки приводит к снижению объемного выхода хлеба. То есть, постоянное откачивание воздуха из пекарной камеры увеличивает вероятность утечки газовых пузырьков из тестовой заготовки.

Кинетика изменения силы тока и показатели качества образцов бескоркового хлеба, выпеченных при этом варианте вакуумирования представлены в приложении М.

На следующем этапе объем камеры разрежали до предварительного разогрева тестовой заготовки. В разреженной до 40 кПа пекарной камеры проводили ЭК-прогрев тестовой заготовки в течение определенного времени (от 0 до 60 с). После этого тестовая заготовка выдерживалась в течение 5 минут под вакуумом и затем допекалась до готовности. Контролем служил хлеб, выпеченный в условиях вакуумирования без предварительного разогрева тестовой заготовки. Кинетика изменения силы тока при различных режимах ЭК-выпечки в вакууме и показатели качества готовых изделий представлены в приложении Н. В результате эксперимента было установлено, что начиная с 40 с предварительного ЭК-разогрева наблюдается увеличение объема хлеба по сравнению с контролем. Наибольшим объемным выходом обладали образцы хлеба с предварительным разогревом в течение 60 с.

Анализ кривых силы тока показал, что начало второго периода ЭК-выпечки после выдерживания тестовой заготовки под вакуумом характеризуется более низким значением силы тока по сравнению с ее величиной, достигнутой к концу первого периода. На втором этапе выпечки наблюдается сначала повышение силы тока, а затем уже его сни-

жение. Даже если процесс выпечки прерывался на участке постоянного снижения силы тока, второй период выпечки начинался с повышения силы тока. То есть тестовая заготовка как бы заново проходит все этапы ЭК-выпечки, только с несколько другими начальными свойствами теста, налагающими особенность на развитие процесса ее выпечки. Наилучшими свойствами для применения вакуумирования обладает тестовая заготовка с предварительным разогревом в течение 60 с.

На следующем этапе определялась оптимальная величина разрежения пекарной камеры при данном режиме выпечки. Степень разрежения пекарной камеры изменяли в пределах от 0 до 40 кПа. Наилучшие результаты достигались при разрежении пекарной камеры до 40 кПа. Применение разогрева тестовой заготовки при ЭК-выпечке в условиях вакуумирования приводит к увеличению объема готового хлеба на от 2 % до 5 %. При этом продолжительность процесса ЭК-выпечки увеличивается примерно в два раза. Удлинение и усложнение процесса выпечки, наряду с небольшим положительным эффектом, снижает практическую значимость предварительного разогрева тестовой заготовки при ЭК-выпечке в условиях вакуумирования.

2.2.3 Сравнение различных способов выпечки хлеба

Результаты экспериментов по установлению режимов тестоприготовления и выпечки ЭК-хлеба позволили отобрать следующие сочетания факторов влияния:

1) ЭК-выпечка в вакууме со степенью разрежения 40 кПа при подводимом напряжении 220 В в течение 3 мин. Массовая доля влаги в тесте 54 %, масса муки на одну тестовую заготовку 250 г, продолжительность созревания теста 200 мин;

2) ЭК-выпечка при подводимом напряжении 220 В в течение 3 мин. Массовая доля влаги в тесте 56 %, масса муки на одну тестовую заготовку 250 г, продолжительность созревания теста 200 мин;

3) ЭК-выпечка при подводимом напряжении 380 В в течение 3 мин. Массовая доля влаги в тесте 52 %, масса муки на одну тестовую заготовку 200 г, продолжительность созревания теста 200 мин.

При данных режимах, а также при традиционном РК-способе, в сопоставимых условиях (одинаковая массовая доля соли, дрожжей) была проведена сравнительная выпечка хлеба. Органолептическая оценка проводилась экспертами методом ранжирования по пятибальной шкале. При определении суммарной характеристики каждый единичный показатель умножался на соответствующий коэффициент: вкус – 5; консистенция – 2; запах – 1,5; внешний вид – 1,5. Комплексный показатель качества рассчитывался по пятибалльной шкале. Данные экспертной оценки, а также другие показатели качества представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Показатели качества образцов хлеба, выпеченных различными способами (n=6; P=0,95)

Способ выпечки	Объемный выход, %	Весовой выход, %	Пористость, %	Кислотность, град	Продолжительность выпечки, мин	Экспертная оценка, балл	Комплексный показатель качества, балл
ЭК в вакууме	520	155,0	82,0	1,0	3,0	0,306	4,38
ЭК при U=220В	480	155,0	76,7	1,1	3,0	0,289	3,88
ЭК при U=380В	442	152,5	69,0	1,2	2,5	0,265	3,56
РК	422	136,0	68,0	3,0	35,0	0,141	2,89

Анализ экспериментальных данных показал, что по всем показателям качества (пористость, объемный и весовой выход, кислотность, экспертная оценка) хлеб, выпеченный с применением ЭК-энергоподвода, превосходил хлеб РК-выпечки. Применение вакуумирования при ЭК-выпечки приводит к увеличению объемного выхода и пористости бескоркового хлеба. Это позволило сделать вывод о целесообразности ЭК-выпечки как таковой, и сочетания ее с вакуумированием пекарной камеры.

2.2.4 Оптимизация процесса ЭК-выпечки хлеба

С целью оптимизации процесса ЭК-выпечки была поставлена задача разработки структурной, функциональной и параметрической схем процесса. Общие теоретические представления о механизме выпечки и результаты предварительных экспериментов позволили разработать структурную, функциональную и параметрическую схемы процесса ЭК-выпечки.

Структурная схема причинно-следственных связей представлена на рисунке 9.



Рисунок 9 – Причинно-следственные связи процессов, протекающих при ЭК-выпечке

Из рисунка видно, что в процессе ЭК-выпечки в исходном сырье (в частности, тесте) с различной рецептурой и, как следствие, различными реологическими характеристиками, под воздействием ЭК-энергоподвода должны происходить целенаправленные коллоидные, биохимические, микробиологические и физико-химические процессы с целью его преобразования в готовый продукт, в частности, в хлеб с заранее заданными показателями качества.

С целью конкретизации структурной схемы разработана функциональная схема процесса, представленная на рисунке 10.

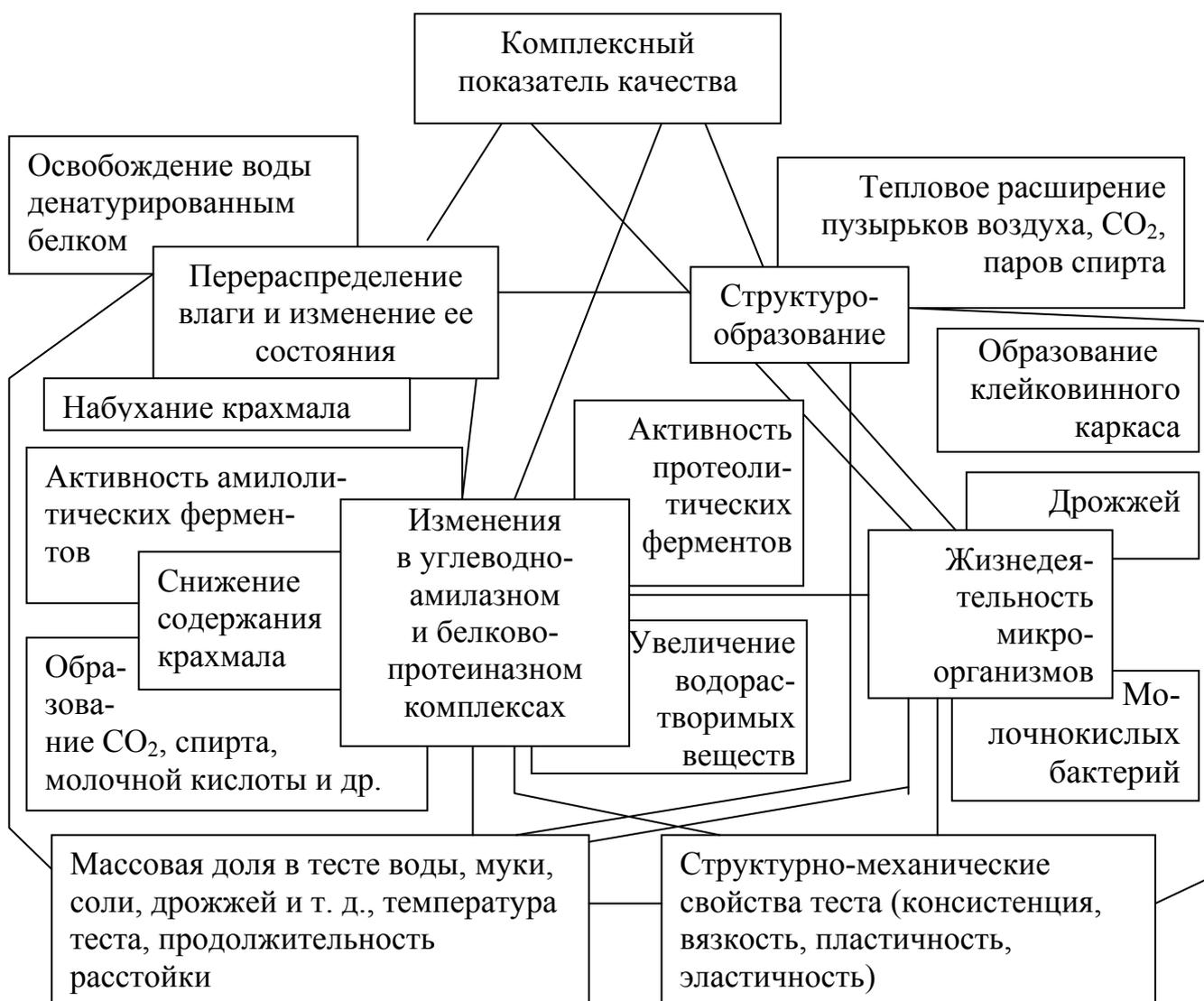


Рисунок 10 – Функциональная схема процесса ЭК-выпечки хлеба

В схеме оптимальные показатели качества достигаются в результате ряда преобразований, вызываемых ЭК-энергоподводом. А именно:

- перераспределения влаги и изменения ее состояния, обуславливаемое освобождением воды денатурированным белком и поглощением ее при набухании крахмала;

- структурообразования, характеризующегося образованием клейковинного каркаса и тепловым расширением пузырьков воздуха, углекислого газа, воды и паров спирта;

- жизнедеятельности бродильной микрофлоры (молочнокислых бактерий и дрожжей);

- изменений в углеводно-амилазном и белково-протеиназном комплексах, обуславливаемых активностью амилолитических и протеолитических ферментов, снижением содержания крахмала, увеличением водорастворимых веществ и образованием спирта, углекислого газа и других продуктов брожения.

Все перечисленные преобразования, вызываемые ЭК-энергоподводом позволяют добиться полного использования внутренних ресурсов перерабатываемого сырья, в данном случае, теста, рецептура которого представляется соотношением муки, воды, соли и дрожжей, температурой теста, продолжительностью его созревания и соответствующими структурно-механическими свойствами (вязкость, пластичность, эластичность и консистенция) и позволяет добиться получения хлеба наилучшего качества.

Для создания параметрической модели процесса ЭК-выпечки была дана качественная оценка факторов влияния на параметры эффекта, представленная в приложении П. На ее основе была составлена параметрическая схема процесса ЭК-выпечки хлеба (представленная на рисунке 11), в которой в качестве управляющих параметров были использованы объемное напряжение, давление в пекарной камере, технологические параметры и продолжительность выпечки. В качестве возмущающих параметров были использованы технологические отклонения, качество сырья и теста. В качестве управляемых параметров использовались экспертная оценка, пористость, кислотность, влажность, объемный и весовой выход хлеба, энергоемкость процесса. В качестве наблю-

даемых параметров использовались реологические характеристики, измеряемые сила тока и температура теста-хлеба.



Рисунок 11 – Параметрическая схема процесса ЭК-выпечки хлеба

Ввиду большого количества управляемых параметров была разработана комплексная характеристика качества хлеба. При этом комплексный показатель определялся суммированием оценок единичных показателей качества хлеба, умноженных на соответствующий коэффициент значимости. Для определения коэффициентов значимости была сформирована группа экспертов, которые методом экспертных оценок определили степень важности каждого показателя при оценке качества хлеба. Пятибальная шкала перевода единичных показателей в баллы комплексной характеристики представлена в таблице 4.

В ходе экспериментов возникла необходимость в уточнении данной шкалы. С этой целью была разработана 10-бальная шкала перевода единичных показателей в баллы комплексной характеристики качества хлеба, которая представлена в таблице 5.

Таблица 4 – Пятибалльная шкала перевода отдельных показателей качества в баллы комплексной характеристики качества хлеба

Комплексная характеристика, баллы	Объемный выход, %	Весовой выход, %	Пористость, %	Кислотность, град	Продолжительность выпечки, мин	Экспертная оценка
5	≥400	≥140	≥75	≤3,0	≤2,0	≥0,35
4	300-399	130-139	70-74	3,1-3,4	2,1-3,0	0,30-0,34
3	250-299	120-129	65-69	3,5-3,9	3,1-5,0	0,20-0,29
2	200-249	110-119	60-64	4,0-6,0	5,1-15,0	0,10-0,19
1	≤199	≤109	≤59	≥6,1	≥15,0	<0,10
Коэффициент значимости	0,20	0,05	0,20	0,01	0,04	0,50

Таблица 5 – Десятибалльная шкала перевода отдельных показателей качества в баллы комплексной характеристики качества хлеба

Комплексный показатель, балл	Объемный выход, %	Выход, %	Пористость, %	Кислотность, град	Продолжительность выпечки, мин	Экспертная оценка
10	≥600	≥160	≥80	≤ 0,80	<2,0	≥0,350
9	560-599	156-159	77,5-77,9	0,80-1,19	2,1-2,5	0,321-0,350
8	520-559	152-155	75,0-77,4	1,20-1,59	2,6-3,0	0,291-0,320
7	480-519	148-151	72,5-74,9	1,60-1,99	3,1-4,0	0,261-0,290
6	440-479	144-147	70,0-72,4	2,00-2,39	4,1-5,0	0,231-0,260
5	400-439	140-143	67,5-69,9	2,40-2,69	5,1-10,0	0,201-0,230
4	360-399	136-139	65,0-67,4	2,80-3,19	10,1-15,0	0,171-0,200
3	320-359	132-135	62,5-64,9	3,20-3,59	15,1-20,0	0,141-0,170
2	280-319	128-131	60,0-62,4	3,60-3,99	20,1-25,0	0,100-0,140
1	<280	<128	<60,0	>4,00	>25,0	<0,100
Коэффициент значимости	0,30	0,10	0,30	0,02	0,08	0,20

В качестве управляющих параметров процесса ЭК-выпечки использовалось объемное напряжение, которое с одной стороны связывало массу выпекаемой тестовой заготовки, расстояние между электродами и т. д. и подводимое напряжение с другой стороны. Изменение данного параметра можно охарактеризовать как:

- отношение напряжения к расстоянию между электродами;
- отношение напряжения к объему хлеба;
- отношение напряжения к массе тестовой заготовки;
- отношение напряжения к массе муки на одну тестовую заготовку.

Учитывая результаты проведенных ранее экспериментов, были построены зависимости комплексного показателя качества от данных факторов, представленные в приложении Р. В интервале изменения комплексного показателя качества от 3,5 до 4,5 баллов на основе разработанных программ были определены коэффициенты корреляции. Установлено, что наиболее тесная связь наблюдается между величинами, представленными на графике, отражающей зависимость комплексного показателя качества от параметра, характеризующего отношение напряжения к расстоянию между электродами. Значения корреляции для кривых данного графика составляют:

- между кривыми 1 и 3 $r = 0,863$;
- между кривыми 1 и 4 $r = 0,750$;
- между кривыми 2 и 4 $r = 0,637$;
- между кривыми 2 и 3 $r = 0,560$.

Анализ результатов свидетельствует, что наибольшее влияние на комплексный показатель качества хлеба оказывает показатель, характеризующий отношение напряжения к расстоянию между электродами.

На основе параметрической схемы был составлен и реализован план трехфакторного эксперимента по установлению влияния показателя, характеризующего отношение напряжения к расстоянию между электродами, массовой доли влаги в тесте и степени разрежения пекарной камеры на комплексный показатель качества (y_1 , в баллах), органолептические свойства – экспертную оценку (y_2) и объемный выход хлеба (y_3 , в процентах). При этом массовая доля влаги в тесте варьировала в пределах от 48 % до 56 %, отношение напряжения к расстоянию между

электродами (при их площади 190 см^2) в пределах от 0,89 до 5,07 В/мм и степени разрежения пекарной камеры в пределах от 0 до 40 кПа. По экспериментальным данным построены плоскости равного выхода, представленные на рисунке 12, из которых следует, что оптимальным является отношение напряжения к расстоянию между электродами от 4,86 до 5,07 В/мм, степень разрежения от 32 до 40 кПа, массовая доля влаги в тесте от 54 % до 56 %.

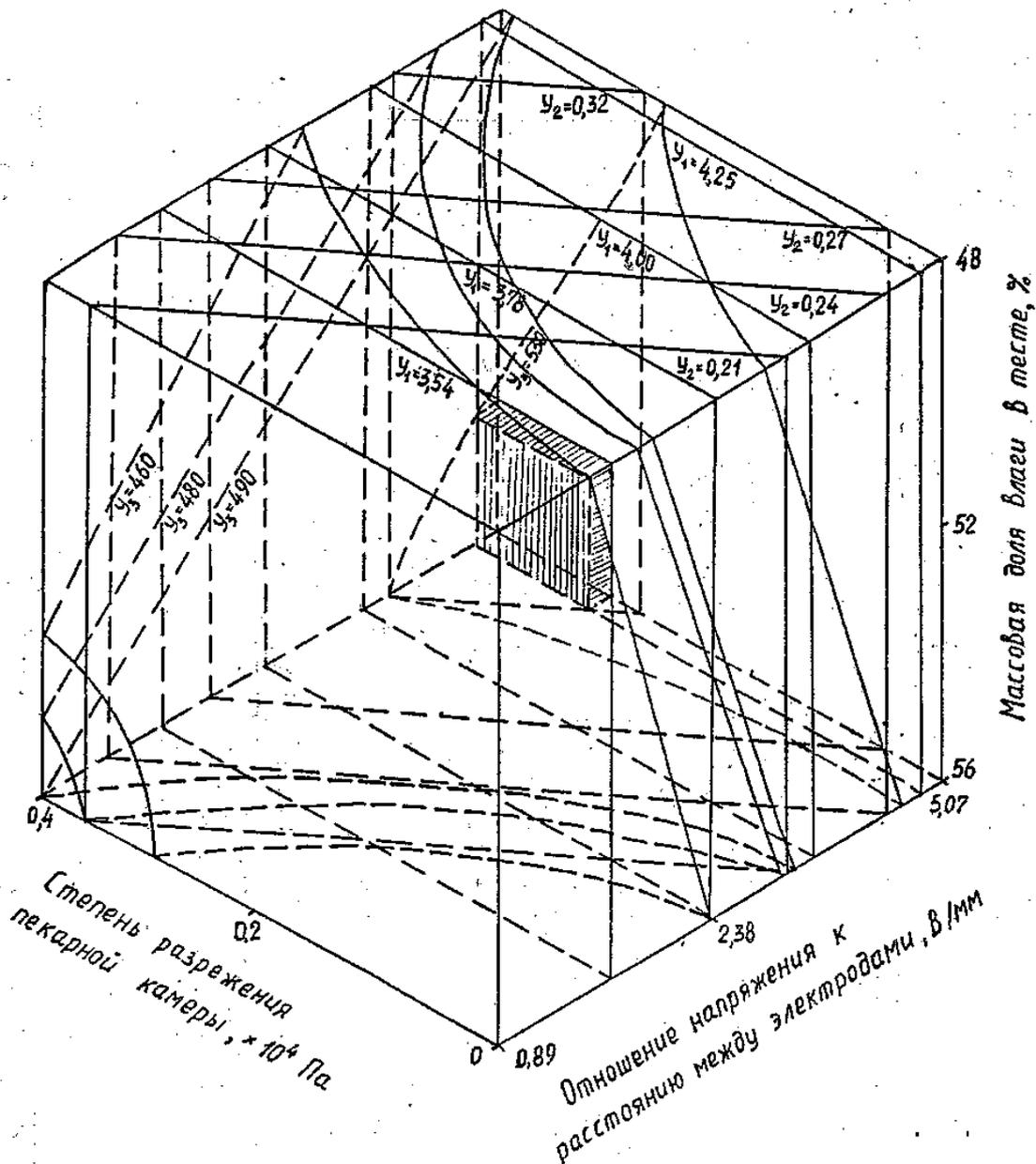


Рисунок 12 – Результаты реализации эксперимента ПФЭ 2^3

2.2.5 Исследование кинетики процесса ЭК-выпечки хлеба

Для выбора правильного режима ЭК-выпечки, обеспечивающего наилучшее качество готовых изделий, необходимо учитывать кинетику развития, взаимосвязь и взаимозависимость всех протекающих процессов.

При изучении кинетики процесса ЭК-выпечки хлеба были проведены эксперименты и построены кривые изменения силы тока, температуры, пористости, объемного и весового выхода хлеба, давления в пекарной камере от продолжительности выпечки, представленные на рисунке 13.

Анализ полученных данных показал, что об окончании процесса ЭК-выпечки можно судить по достижению температуры теста-хлеба значения от 98 °С до 100 °С и силы тока от 0 до 0,5 А.

При прогреве тестовой заготовки до температуры от 45 °С до 50 °С наблюдается увеличение ее объемного выхода и пористости, связанное с тепловым расширением пузырьков воздуха и углекислого газа. На изменение силы тока в этот период оказывает влияние комплекс различных процессов, протекающих в тестовой заготовке при ее прогреве. Повышению силы тока способствует увеличение степени диссоциации солей и кислот, переход в жидкую фазу водорастворимых веществ. Снижению силы тока способствуют процессы набухания и пептизации белковых и углеводных компонентов теста, приводящие к снижению свободы перемещения ионов. При достижении температуры тестовой заготовки от 65 °С до 70 °С наблюдается некоторое замедление увеличения объемного выхода и пористости тестовой заготовки, связанное с изменением ее реологических характеристик в результате повышения температуры. На изменение силы тока в этот период оказывает влияние перераспределение влаги между денатурирующим белком и клейстеризующимся крахмалом.

Образующийся клейковинный каркас расширяется за счет продолжающегося термического расширения газообразной фазы и набухающих крахмальных зерен. На графике это отражается в повторном увеличении объемного выхода и пористости выпекаемой тестовой заготовки. В дальнейшем при повышении температуры тестовой заготовки от 85 °С до 95 °С увеличению ее объема способствуют еще и термиче-

ское расширение паров спирта и воды. Однако объем хлеба увеличивается уже менее интенсивно, так как слои мякиша, образовавшиеся в результате клейстеризации крахмала и денатурации белков, в значительно меньшей степени, чем тесто, способны к изменению объема.

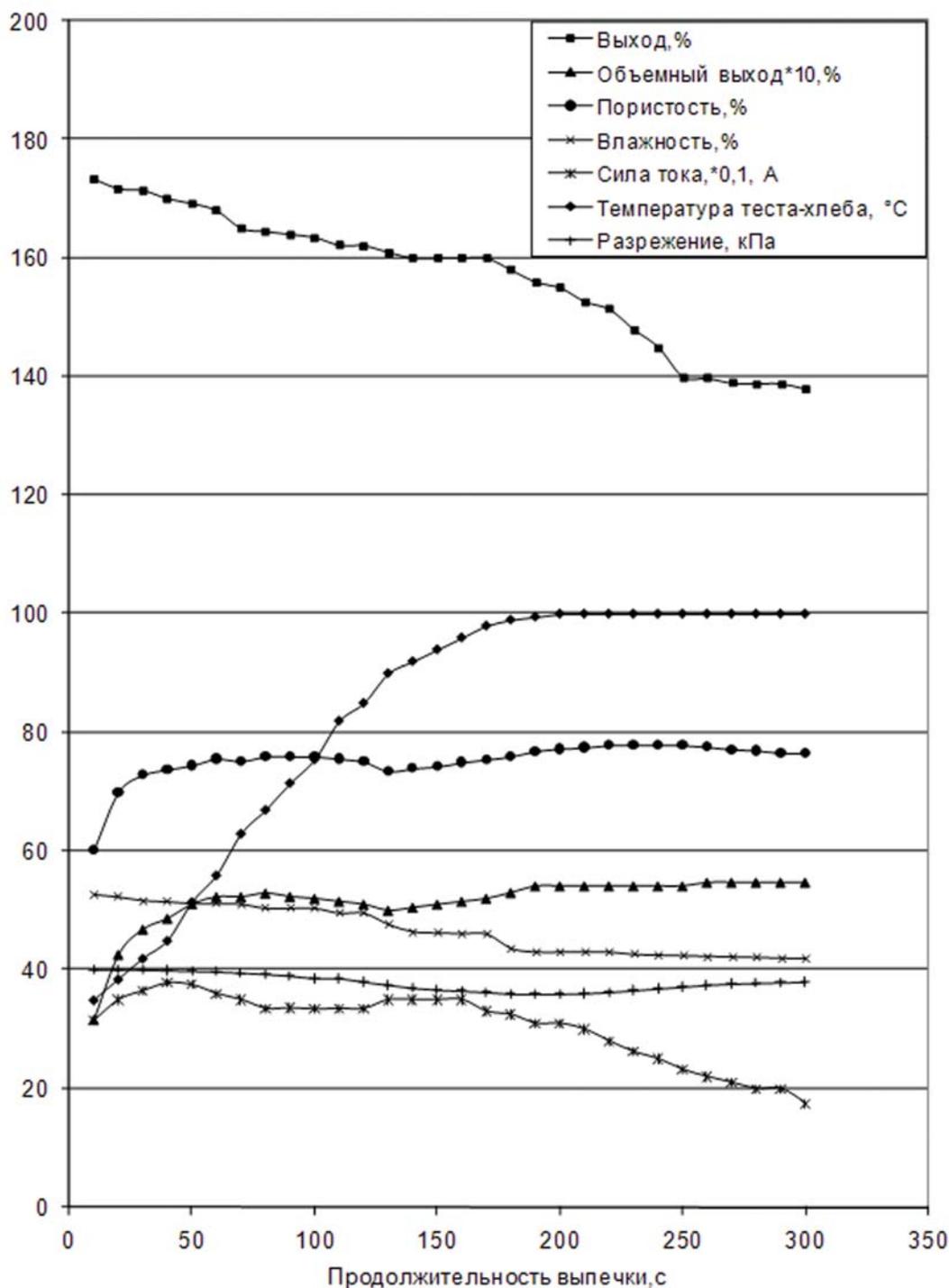


Рисунок 13 – Кинетика развития процесса ЭК-выпечки хлеба

При температуре от 98 °С до 100 °С испарение воды достигает своего максимума. Высокая интенсивность испарения паров воды из тестовой заготовки приводит на этом этапе к некоторому снижению интенсивности увеличения объема теста-хлеба. И в процессе дальнейшего допекания хлеба его объем увеличивается уже незначительно. Упрочнение структуры теста-хлеба и испарение из него воды приводят к снижению силы тока.

По кривой изменения степени разрежения пекарной камеры можно судить об интенсивности газоотдачи в процессе ЭК-выпечки хлеба. В процессе ЭК-выпечки интенсивность газоотдачи увеличивается, достигая наибольшего значения в момент максимальной интенсивности испарения паров воды.

В процессе ЭК-выпечки интенсивность образования углекислого газа снижается. Максимальная интенсивность образования диоксида углерода наблюдается в первые от 1,5 до 2,5 мин ЭК-выпечки. Это связано с активизацией жизнедеятельности дрожжей и молочнокислых бактерий. Дальнейший прогрев тестовой заготовки приводит к угнетению биологической активности микроорганизмов. Следовательно, снижается интенсивность образования углекислого газа, являющегося одним из основных продуктов их жизнедеятельности. Через от 3 до 3,5 мин ЭК-выпечки интенсивность образования диоксида углерода снижается, достигая своего минимального значения к концу процесса выпечки.

Со снижением массовой доли влаги в хлебе, весовой выход уменьшается.

Исследована кинетика изменения химического состава теста-хлеба в процессе ЭК-выпечки. Результаты исследования представлены в таблице 6. Анализ полученных данных показывает, что в процессе ЭК-выпечки содержание крахмала и белков несколько снижается. Это может быть вызвано гидролитическим и ферментативным расщеплением крахмала и белков. Содержание декстринов, как одного из продуктов расщепления крахмала, в процессе ЭК-выпечки увеличивается. Содержание сахаров в процессе ЭК-выпечки теста-хлеба снижается. Высокая интенсивность процесса ЭК-выпечки приводит к тому, что ферментативные и микробиологические процессы развиваются в гораздо мень-

шей степени, чем при традиционной выпечке. Этим и объясняется меньшие изменения в содержании основных компонентов теста в процессе ЭК-выпечки по сравнению с РК-выпечкой.

Таблица 6 – Изменение химических показателей теста-хлеба в процессе ЭК-выпечки (n=6, P=0,95)

Компоненты теста-хлеба		Продолжительность выпечки, мин			
		0	1,5	3	5
Белок, % на с.в.		14,61	14,29	13,90	13,65
Крахмал, % на с.в.		71,81	68,93	67,08	65,36
Декстрины, % на с.в.		0,82	0,92	1,28	1,30
Сахара, % на с.в.	общие	5,22	5,02	4,81	4,81
	редуц.	5,04	4,87	4,78	4,70

2.2.6 Исследование качества различных зон ЭК-хлеба

Тесто, с точки зрения поведения в электрическом поле, представляет собой гетерогенную систему. Такие компоненты, как белки, жиры, углеводы, вода относятся к диэлектрикам, а водные растворы солей – электролиты – к проводникам. Такая система обладает свойствами диэлектрика. При помещении ее между двумя плоскими электродами, подключенными к сети переменного тока, появляется электрическое поле. Система в целом эквивалентна плоскому конденсатору с диэлектриком, обладающим потерями, сопровождающимися выделением тепла, за счет которого и происходит ЭК-выпечка.

Электрическое поле в плоских конденсаторах, как правило, неоднородно и обладает повышенной концентрацией напряжения в областях, наиболее удаленных от центра пластин, в первую очередь, в углах. Следует отметить, что вода имеет высокий дипольный момент (1,84) и диэлектрическую проницаемость (в 10–40 раз больше, чем у непроводящих твердых веществ теста).

В связи с вышесказанным, при ЭК-выпечке имеется вероятность получения хлеба с существенными различиями качества отдельных участков одного и того же образца.

Были проведены эксперименты по исследованию качества различных участков ЭК-хлеба. Контроль показателей качества проводился в различных зонах исследуемых образцов по всем трем направлениям. Образцы выпекали при напряжении 220 В. При приготовлении теста соблюдались оптимальные режимы, разработанные на предыдущих этапах. Результаты контроля показателей качества хлеба и схема расположения точек отбора проб приведены на рисунке 14.

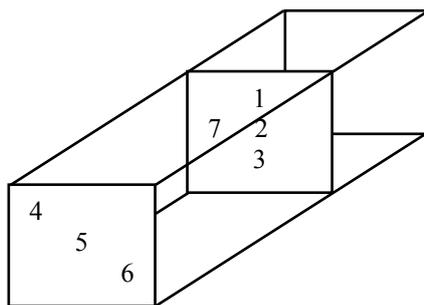


Схема расположения зон отбора проб

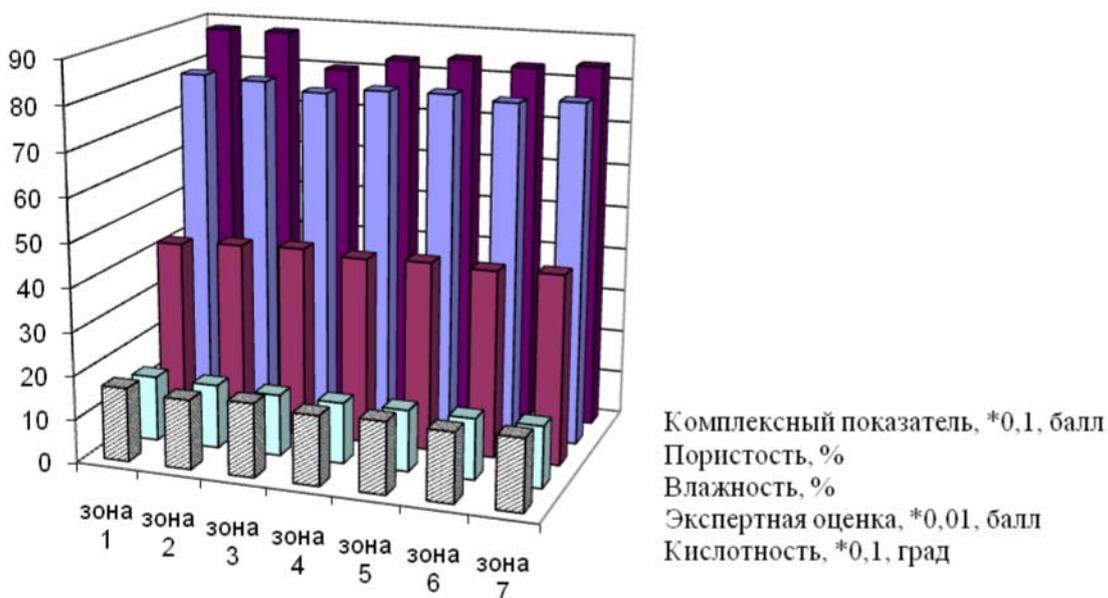


Рисунок 14 – Показатели качества различных участков бескоркового хлеба

Анализ полученных данных показывает, что существенных отличий показателей качества в различных зонах выпеченных образцов бескоркового хлеба не обнаружено. Следует отметить незначительное снижение пористости и объемного выхода в нижнем слое образцов. Это может быть связано с тем, что слои, примыкающие к стенкам формы,

теряют часть тепла на прогрев стенок, а затем на теплообмен с окружающей средой. Выравнивание к концу выпечки температуры в отдельных слоях, обусловленное аккумуляцией тепла материалом формы, наряду с высокой интенсивностью процесса ЭК-выпечки приводит к тому, что указанные показатели по всему объему значительно не отличаются.

При выпечке недостаточно расстоявшегося теста отмеченная разность ЭК-прогрева образцов в различных точках возрастает, что может привести к значительному ухудшению показателей качества хлеба.

Полученные данные хорошо согласуются с результатами исследования температурного поля и кинетики подъема хлеба при ЭК-выпечке, проведенные Островским Я.Г. [115].

2.2.7 ЭК-выпечка хлеба из различных видов и сортов муки

Была проведена серия экспериментов по ЭК-выпечке хлеба из различных видов и сортов муки. Использовалась мука пшеничная обойная, высшего, первого и второго сортов, мука ржаная и смесь ржаной и пшеничной муки.

В ходе эксперимента было выявлено, что ЭК-выпечка ржаного хлеба происходит несколько быстрее и при более высоких значениях силы тока (от 2 до 4 А), чем пшеничного. Это может быть связано с большей влажностью и меньшей вязкостью ржаного теста.

ЭК-выпечка хлеба из низших сортов муки происходит несколько быстрее и при более высоких значениях силы тока по сравнению с высшими сортами, из-за большей влажности и меньшей вязкости теста из низших сортов муки. Однако существенных отличий в процессе выпечки хлеба из одного вида муки обнаружено не было.

Результаты исследования показателей качества всех видов хлеба, выпеченных ЭК и РК способами, представлены в таблице 7. Анализ полученных данных показывает, что по всем показателям качества хлеб, выпеченный ЭК-способом, превосходит традиционные сорта хлеба.

При снижении сорта используемой муки, наблюдается уменьшение пористости, объемного выхода и увеличение весового выхода и ки-

слотности хлеба. Здесь наблюдается аналогия между ЭК и РК способами выпечки хлеба. Образцы хлеба, выпеченного ЭК-способом, имели большую разрыхленность мякиша, более равномерную пористость, меньшую толщину стенок пор.

Результаты исследования химического состава образцов хлеба из различных сортов и видов муки, выпеченные ЭК и РК способами, представлены в таблице 8.

Таблица 7 – Показатели качества различных видов хлеба, выпеченных электроконтактным (ЭК) и радиационно-конвективным (РК) способами (n=6, P= 0,95)

Вид хлеба	Способ выпечки	Весовой выход, %	Пористость, %	Объемный выход, %	Кислотность, град	Экспертная оценка, балл	Комплексный показатель, балл
Ржано-пшеничный	ЭК	155,9	63	417	3,9	0,30	5,48
	РК	149,0	58	386	6,5	0,20	3,10
Ржаной	ЭК	155,6	60	402	5,1	0,30	5,16
	РК	149,3	55	372	8,0	0,30	3,90
Пшеничный обойный	ЭК	153,7	67	416	4,1	0,30	5,76
	РК	145,3	59	398	5,1	0,10	2,60
Пшеничный 2 сорта	ЭК	151,5	73	447	2,1	0,30	6,96
	РК	137,3	66	438	3,0	0,08	3,46
Пшеничный 1 сорта	ЭК	150,2	74	465	1,7	0,30	7,28
	РК	136,0	69	449	2,5	0,20	4,98
Пшеничный высшего сорта	ЭК	149,6	76	472	1,4	0,25	6,90
	РК	135,9	70	460	2,5	0,24	5,32

Анализ полученных данных показывает, что способ выпечки оказывает некоторое влияние на химический состав хлеба. Следует отметить, что химический состав ЭК-хлеба из высших сортов муки имеет более существенные отличия от хлеба, выпеченного традиционным способом, чем низших сортов. Наибольшие различия в образцах хлеба,

выпеченных с помощью ЭК- и РК-энергоподвода, наблюдаются в содержании сахаров и декстринов. Отсутствие корки и особенности теплового воздействия ЭК-способа выпечки обуславливают более высокое содержание крахмала и белка и меньшее содержание декстринов и сахаров, чем в традиционных сортах хлеба. Содержание жира в хлебе, выпеченном двумя указанными способами, существенно не отличается.

Таблица 8 – Химические показатели хлеба, выпеченного электроконтактным (ЭК) и радиационно-конвективным (РК) способами (n=6, P= 0,95)

Вид муки	Белок, % на с.в		Сахара, % на с.в		Декстрины, % на с.в		Крахмал, % на с.в		Жир, % на с.в.	
	ЭК	РК	ЭК	РК	ЭК	РК	ЭК	РК	ЭК	РК
Пшеничная высшего сорта	14,31	14,18	4,32	4,87	1,25	1,82	70,66	68,42	1,49	1,48
Пшеничная 1 сорта	14,28	14,09	4,13	4,48	1,26	1,98	68,18	66,12	1,47	1,48
Пшеничная 2 сорта	14,53	14,44	4,45	4,75	1,13	1,52	65,44	63,87	1,92	1,91
Пшеничная обойная	14,71	14,56	4,34	4,51	0,92	0,93	54,31	53,98	2,00	1,99
Ржаная обдирная	11,84	11,76	5,25	5,48	1,62	1,88	58,53	58,02	1,80	1,79
Ржано-пшеничная	12,82	12,71	4,80	5,08	1,55	1,68	64,27	62,07	1,66	1,65

Высокая температура на поверхности хлеба при традиционной выпечке приводит к термическому изменению крахмала и, в частности, к его декстринизации. Это приводит к накоплению декстринов в РК-хлебе. При ЭК-выпечке температура теста-хлеба не превышает 100 °С, процесс декстринизации практически не протекает, поэтому содержание декстринов в нем меньше, чем в обычном хлебе.

ЭК-выпечка протекает очень быстро, процессы ферментативного расщепления крахмала развиваются в меньшей степени, чем при традиционной выпечке. Поэтому содержание крахмала в ЭК-хлебе больше, а сахаров меньше, чем в обычном хлебе. Из-за большей продолжительности РК-выпечки и особенностей теплового воздействия (постепенного прогрева слоев теста от периферии к центру), ферментативные и микробиологические процессы протекают более интенсивно. Длительный

ферментативный гидролиз приводит к снижению содержания крахмала и накоплению продуктов его распада, в том числе, сахаров в хлебе традиционной выпечки. Следует отметить, что содержание сахаров в корке и мякише хлеба традиционной выпечки различно. Содержание сахаров в корке меньше, чем в мякише, вследствие их расходования на реакцию меланоидинообразования, но поскольку мякиш составляет большую часть объема хлеба, то общее содержание сахаров остается больше, чем в бескорковом хлебе.

Как показали результаты эксперимента, в хлебе, выпеченном ЭК-способом, содержание белка несколько выше, чем у хлеба РК-выпечки. Это связано с тем, что при ЭК-энергоподводе белки не расходуются на реакцию меланоидинообразования, характерную для традиционного способа выпечки.

По результатам исследований была разработана технологическая инструкция на бескорковый ЭК-хлеб из различных сортов пшеничной, ржаной муки и их смесей; утверждены технические условия (ТУ №9110-002-916431-2000) на данный вид хлебных изделий. Бескорковый ЭК-хлеб прошел экспертизу в органах Госсанэпиднадзора г. Оренбурга на соответствие заявленным требованиям и получил гигиеническое заключение (№56.01.04.911.Т.00671.04.00 от 12.04.2000).

На способ ЭК-выпечки бескоркового хлеба получен патент РФ.

2.2.8 Биологическая экспертиза ЭК-хлеба

Для установления биологического воздействия хлеба, выпекаемого с помощью ЭК-энергоподвода, на живой организм совместно с кафедрой «Физиология питания» Оренбургской государственной медицинской академии была проведена серия медико-биологических экспериментов, которая показала на диетический характер питания данным продуктом (средние привесы по сравнению с традиционным вариантом кормления уменьшились у крыс на $(10,0 \pm 2,0)$ г за период кормления). Отклонений в поведенческих реакциях животных обнаружено не было, не установлено также патологий внутренних органов подопытных животных.

2.2.9 Хранение ЭК-хлеба

Технология производства бескоркового ЭК-хлеба требует одновременного решения проблемы сохранности его свежести и изучения факторов, влияющих на процессы черствения. В связи с этим, представляется целесообразным исследование процесса хранения ЭК-хлеба с целью разработки методов обработки и упаковки хлеба, направленных на увеличение сроков его хранения без ухудшения показателей качества.

При исследовании процесса влагоотдачи ЭК-хлеба по сравнению с традиционным хлебом, снимались кривые изменения влажности и температуры мякиша, представленные на рисунке 15.

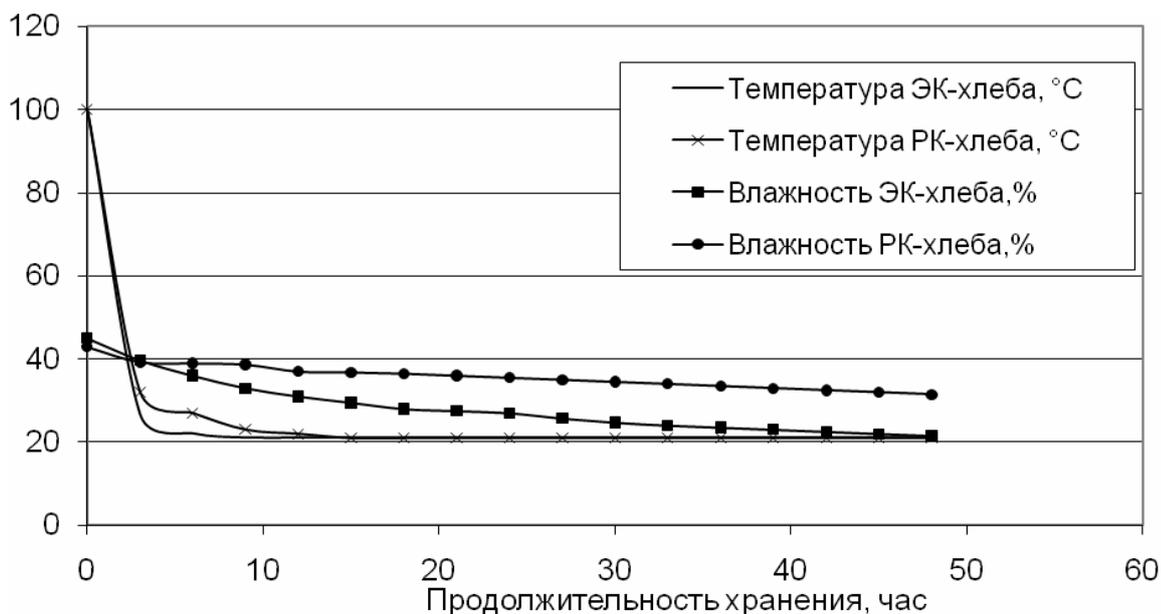


Рисунок 15 – Кинетика влагоотдачи и температуры хлеба, выпеченного при ЭК и РК электроподводе

Из анализа кривых, характеризующих процесс влагоотдачи бескоркового ЭК-хлеба, следует, что потеря влаги им происходит быстрее, чем обычного хлеба. Поэтому для предотвращения быстрого усыхания бескоркового целесообразно предусматривать его упаковку.

Набухаемость бескоркового хлеба и поглощение им воды при хранении снижается быстрее, чем у образцов хлеба РК-выпечки. Крошко-

ватость бескоркового хлеба при хранении повышается медленнее, по сравнению с обычным хлебом. Полученные данные хорошо согласуются с результатами анализа коллоидных характеристик бескоркового хлеба, проведенного предыдущими исследователями [120].

На следующем этапе было изучено влияние различных видов упаковочных материалов на показатели качества бескоркового хлеба, хранящегося при стандартных условиях. В качестве упаковочных материалов использовались фольга, пергамент, пленка полиэтиленовая (ПЭВД марки 15803-020), пищевая пленка марки ОРР МСМ, целлофан. Контролем служил хлеб без упаковки.

Кинетику влагоотдачи ЭК-хлеба, хранящегося при стандартных условиях, в различных видах упаковочного материала можно описать следующими уравнениями:

- для полиэтиленовой пленки $Y=45,171-0,018X$;
- для пищевой пленки ОРР МСМ $Y=45,279-0,058X$;
- для целлофана $Y=45,417-0,043X$;
- для фольги $Y=45,348-0,034X$;
- для пергамента $Y=44,690-0,138X$;
- при хранении без упаковки $Y=43,423-0,252X$;

где Y – влажность хлеба, %;

X – продолжительность хранения, час.

Анализ полученных данных показывает, что наибольшей интенсивностью влагоотдачи обладают контрольные образцы, хранившиеся без упаковки. По мере уменьшения скорости влагоотдачи образцы, образцы располагаются в следующем порядке: хранившиеся в пергаменте, пищевой пленке, целлофане, фольге, и полиэтилене.

При хранении хлеба, выпеченного ЭК-способом, в течение 24 ч с момента выпечки наблюдается образование твердого обезвоженного слоя различной толщины: от 2 до 3 мм для ЭК-хлеба, хранившегося в пергаменте; от 4 до 5 мм для ЭК-хлеба, хранившегося без упаковки; от 2 до 3 мм для РК-хлеба, хранившегося без упаковки. При хранении ЭК-хлеба 60 часов и более в целлофане, фольге, полиэтиленовой пленке и пищевой пленке наблюдается образование поверхностных очагов микроорганизмов. При хранении в пергаменте и без упаковки наблюдается

интенсивное черствение. При хранении РК-хлеба (немного медленнее) развиваются те же процессы, что и при хранении ЭК-хлеба. Наименьшим изменениям подвергается хлеб, хранящийся в течение 24 часов в пищевой и полиэтиленовой пленке. Из-за развития микроорганизмов, хранить ЭК-хлеб более 24 часов не рекомендуется.

2.2.10 Разработка устройств для ЭК-выпечки хлеба

На основе проведенных исследований была разработана промышленно-бытовая установка для ЭК-выпечки хлеба для серийного производства, которая может быть использована в хлебопекарнях малой мощности, в системе общественного питания и в бытовых условиях. Фотография данной установки приведена на рисунке 16.

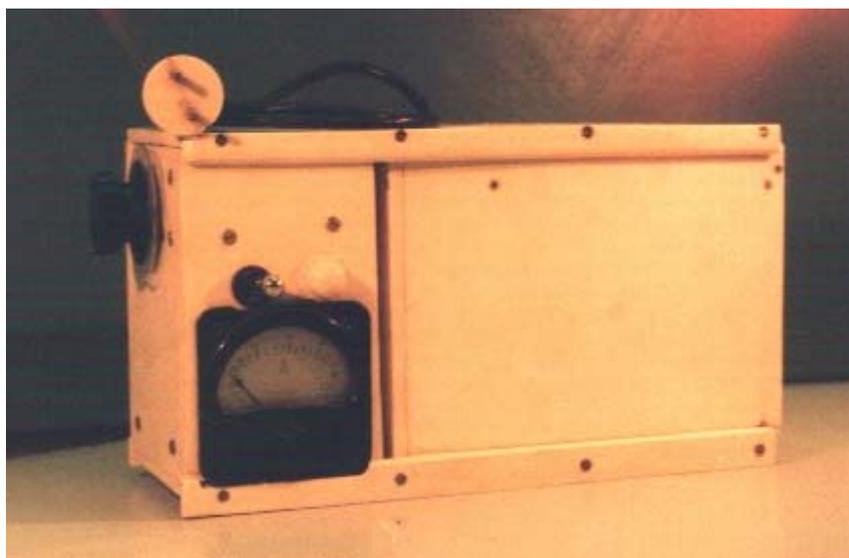
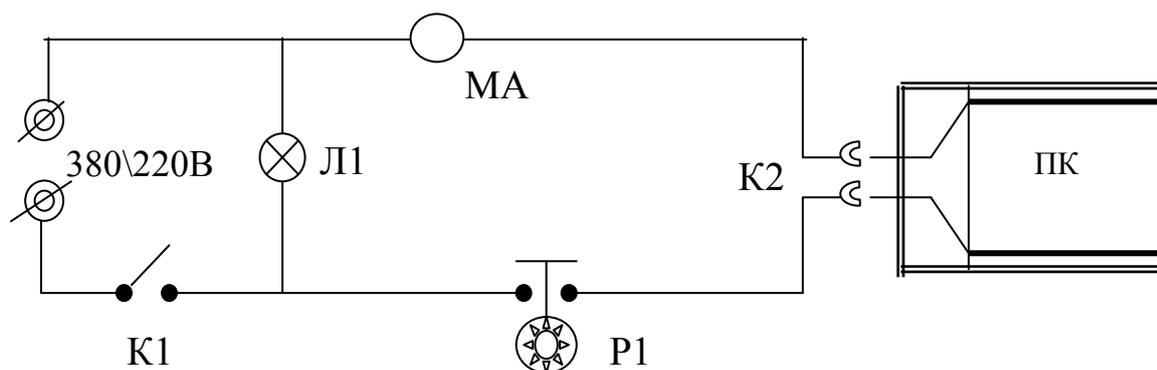


Рисунок 16 – Бытовая установка для ЭК-выпечки бескоркового хлеба

На рисунке 17 приведена электрическая схема установки для выпечки бескоркового хлеба. Электрическая схема установки рассчитана на подключения к сети трехфазного переменного тока напряжением 380/220 В, частотой 50 Гц.



В состав электрооборудования установки входят:

К1 – тумблер сетевого питания; Л1 – индикаторная лампа;
 МА – миллиамперметр; К2 – встроенная розетка; Р1 – реле времени;
 ПК – пекарная камера.

Рисунок 17 – Электрическая схема установки

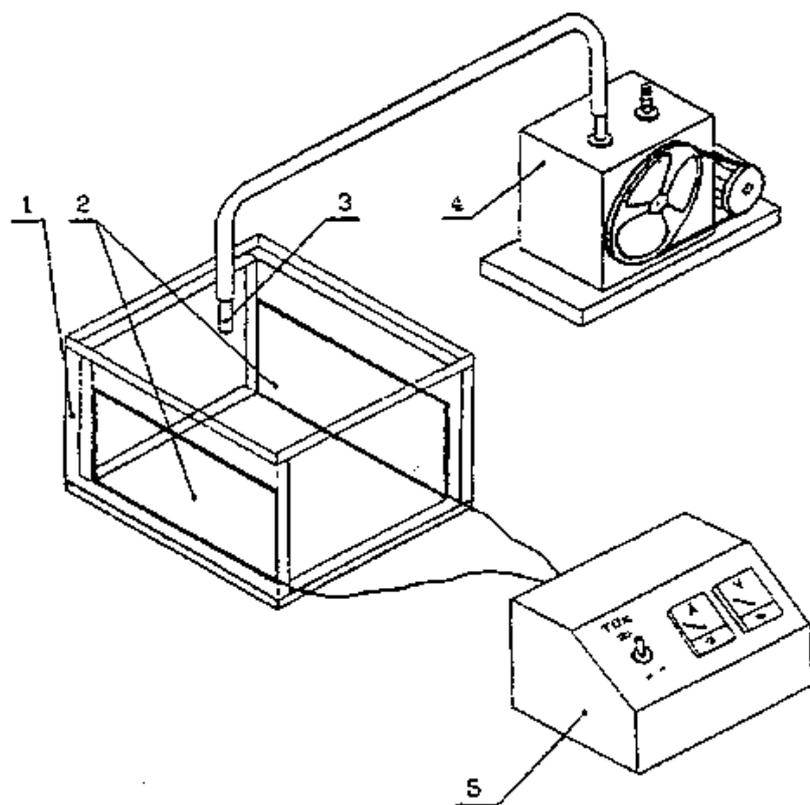
Экспертиза установки в органах сертификации г. Оренбурга подтвердила ее соответствие требованиям НТД (гигиеническое заключение №5601.07.510.Т00134.01.00 от 27.01.00).

Разработано устройство для ЭК-выпечки хлеба с использованием вакуумирования, представленное на рисунке 18. Устройство для ЭК-выпечки хлеба включает форму, изготовленную из неэлектропроводного материала, пластины из нержавеющей стали, патрубков для подключения к системе вакуумирования, систему вакуумирования, систему электропитания.

Устройство работает следующим образом.

Тестовая заготовка на время расстойки и ЭК-выпечки помещается в герметичную форму из неэлектропроводного материала между пластинами-электродами из нержавеющей стали, патрубок подключается к системе вакуумирования для создания разрежения. Во время выпечки к пластинам от системы электропитания подводится электрический ток.

На устройство для ЭК-выпечки бескоркового хлеба получен патент РФ.



- 1 – форма из неэлектропроводного материала;
- 2 – пластины из нержавеющей стали;
- 3 – патрубок для подключения к системе вакуумирования;
- 4 – система вакуумирования;
- 5 – система электропитания.

Рисунок 18 – Устройство для ЭК-выпечки хлеба

Заключение

В результате проведенных исследований разработана технология получения хлеба с использованием на стадии выпечки электроконтактного энергоподвода, обуславливающая формирование готовых изделий однородных по всему объему, без образования коркового слоя – бескорковый хлеб.

Установлены оптимальные значения рецептурных и технологических параметров, позволяющих получить бескорковый хлеб ЭК-выпечки хорошего качества, в частности:

- массовая доля влаги в тесте – от 50 % до 56 %;
- содержание соли – 0,65 %;
- сушеных дрожжей – 2 %;
- продолжительность созревания теста от 185 до 200 мин (безопарный способ тестоприготовления);
- степень разрежения пекарной камеры от 32 до 40 кПа;
- длительность выпечки – от 3 до 5 мин.

Предложен комплексный показатель качества хлеба ЭК-выпечки, объединяющий отдельные показатели качества с учетом коэффициентов их значимости.

Разработаны структурная, функциональная и параметрическая схемы процесса ЭК-выпечки бескоркового хлеба, позволяющие управлять процессом ЭК-выпечки с целью получения оптимальных показателей качества

Исследована кинетика и установлены закономерности изменения силы тока, температуры, пористости, объемного и весового выхода хлеба, а также давления в пекарной камере от продолжительности процесса ЭК-выпечки.

Установлены особенности бескоркового хлеба из различных сортов пшеничной, ржаной муки и их смесей, а также его отличия от РК-хлеба:

- применение ЭК-энергоподвода приводит к увеличению пористости, объемного, весового выхода и снижению кислотности по сравне-

нию с РК-вариантом. Мякиш ЭК-хлеба характеризуется лучшими органолептическими показателями качества;

– содержание белков и крахмала в бескорковом хлебе несколько выше, а содержание декстринов и сахаров ниже, чем в хлебе, выпеченном РК-способом. У ЭК-хлеба из муки обойной и второго сорта эти отличия менее выражены, чем в хлебе из муки высшего и первого сортов;

– особенности химического состава и большая влажность теста из низших сортов муки приводит к ускорению процесса ЭК-выпечки и увеличению силы тока по сравнению с образцами из высших сортов муки.

Медико-биологическая экспертиза ЭК-хлеба свидетельствует о его токсикологической безвредности и диетическом характере.

Для упаковки ЭК-хлеба наиболее приемлемым является использование полиэтиленовой пленки (ПЭВД) при длительности хранения не более 24 час.

По результатам исследований оформлены и утверждены технологическая инструкция и технические условия на бескорковый ЭК-хлеб из различных сортов пшеничной и ржаной муки и их смесей. В органах Госсанэпиднадзора г. Оренбурга проведена экспертиза бескоркового ЭК-хлеба на соответствие заявленным к нему требованиям и получено гигиеническое заключение.

Разработан образец промышленно-бытовой установки для ЭК-выпечки хлеба, который может быть использован в хлебопекарнях малой мощности, в системе общественного питания, а также в бытовых условиях. Экспертиза установки в органах сертификации г. Оренбурга (ЦСМиС) установила ее соответствие требованиям НТД, что подтверждено гигиеническим заключением.

На способ и устройство для ЭК-выпечки хлеба получены патенты РФ.

Список использованных источников

1. Богатырев, А.Н. Приоритеты развития науки и научного обеспечения в пищевой отрасли АПК. Механизмы формирования и реализации / А.Н. Богатырев, В.И. Тужилкин. – М.: Пищевая промышленность. – 1995. – 241 с.
2. Система научного и инженерного обеспечения пищевых и перерабатывающих отраслей АПК России / Богатырев А.Н. [и др.]. – М.: Пищевая промышленность, 1995. – 528 с.
3. Тутельян, В.А. Современные приоритеты науки о питании / В.А. Тутельян // Вопросы питания. – 1994. – № 3. – С. 10–15.
4. Как правильно питаться / Скурихин И.М. [и др.]. – М.: Агропромиздат, 1989. – 255 с.
5. Санитарные правила и нормы. Гигиенические требования к качеству и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов. – М.: [б.и.], 1997. – 528 с.
6. Ауэрман, Л.Я. Технология хлебопекарного производства / Л.Я. Ауэрман. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 415 с.
7. Воронцова, К.Е. Ассортимент и качество диетических хлебобулочных изделий / К.Е. Воронцова, О.Я. Леонова // Хлебопродукты. – 1989. – № 11. – С. 33–36.
8. Сборник рецептур на хлеб и хлебобулочные изделия / сост. П. С. Ершов. – СПб.: Изд-во «Профессия», 2001. – 192 с.
9. Кузьминский, Р.Р. Исследования по повышению пищевой ценности хлеба / Р.Р. Кузьминский // Пищевая и перерабатывающая промышленность. – 1985. – № 6. – С. 46–48.
10. Производство диетических сортов хлеба : экспресс инф. / И.П. Петраш [и др.]. – М.: ЦНИИТЭИ Минхлебопродуктов СССР. – 1988. – вып. 3. – 15 с.
11. Применение рисовой муки при производстве хлебобулочных и мучных кондитерских изделий : обзор. инф. / Г.Г. Дубцов [и др.]. // Серия: Хлебопекарная и макаронная промышленность. – М.: ЦНИИТЭИ Хлебопродуктов. – 1991. – 24 с.
12. Babcock, D. Rice bran as source of dietary fiber / D. Babcock // Cereal Food World. – 1987. – v. 32. – № 8. – P. 539–540.

13. Производство диетического хлеба за рубежом. Зарубежный опыт. – М.: ЦНИИТЭИ Минхлебопродуктов, 1988. – вып. 1. – 10 с.
14. Иванова, С. Безглютенов прахообразен полуфабрикат за хлебни и сладкарски изделия / С. Иванова, М. Тодорова, М. Маринова // Хранит. Пром. – 1988. – вып. 37. – № 2. – С. 27–29.
15. Richter, G. Stärke als wichtiger Kohstoff für die Backerei / G. Richter, G. Tegge // Technische Gewinnung und Verwendung. – Brot und Backwaren. – 1987. – v. 35. – № 5. – P. 138–141.
16. Holas, J. Cerealni dietn vyrobky mlynskeho a pekarenskeho prumyslu CSR / Mlyn. – pekar. Prum. At techn. Sklad. Obili. – 1988. – v. 34. – № 1. – P. 18–20.
17. Holub, S. Entwicklung glutenfreier durch Heißextrusion hergestellter Backwaren / S. Holub, E. Berghofe // Ernähr. Nutr. – 1991. – v. 15. – № 9. – P. 518–523.
18. Риго, Я. Роль пищевых волокон в питании / Я. Риго // Вопросы питания. – 1982. – № 4. – С. 26–29.
19. Menger, A. Die Problematic der Ballast – offanalytic bei Lebensmittels auf Goltreidebasis / A. Menger // Mühle und Mischfuttertchnik. – 1980. – P. 47–48.
20. Применение нетрадиционных видов сырья при производстве улучшенных и диетических сортов хлеба из ржаной и пшеничной муки // Л. И. Пучкова [и др.] : обзор. инф. – М.: ЦНИИТЭИ Минхлебопродуктов СССР, 1988. – С. 5–9.
21. Пищевые волокна / М.С. Дудкин [и др.]. – Киев.: Урожай, 1988 – 119 с.
22. Голенков, В.Ф. Пищевые волокна пшеничных отрубей / В.Ф. Голенков, Н.А. Игорьянова – М., 1986. – Деп. в ЦНИИТЭИ Хлебопродуктов, № 719.
23. Применение пшеничных отрубей для обогащения хлеба клетчаткой и биологически ценными веществами // А.П. Демчук [и др.] : обзор. инф. – М.: ЦНИИТЭИ Минхлебопродуктов, 1988. – С. 1–6.
24. Halem, M.A. High fiber Sudanese breads / M.A. Halem, K. Lorenz // Nutr. Rests Int. – 1985. – v. 31. – № 1. – P. 91–102.
25. Oakenfull, D.G. The nutritional value of wheat bran / D.G. Oakenfull, D.L. Topping // Food Technology in Australia. – 1987. – v. 39. – № 6. – P. 288–292.
26. Дудкин, М.С. Новые продукты питания / М.С. Дудкин, Л.Ф. Щелкунов. – М.: МАИК «Наука», 1998. – 304 с.

27. Olson, A. Chemistry and analysis of soluble dietary fiber / A. Olson, G. Gray, M. Chiu // Food tech. – 1987. – v. 41. – № 2. – P. 71–80.
28. Dreher, M.L. Sunflower hull as a potential dietary fiber supplement / M.L. Dreher, G. Padmanaban // Journal Food Science. – 1983. – v. 48. – № 5. – P. 1463–1465.
29. Seibert, S.E. Oat bran as a source of soluble dietary fiber / S.E. Seibert // Cereal Food World. – 1987. – v. 32. – № 8. – P. 252–253.
30. Counteracting the deleterious effects of fiber in bread making / Shogren, N.D. [et. all]. // Cereal Chemistry. – 1981. – v. 58. – № 2. – P. 142–143.
31. Медико-биологическая оценка нового сорта хлеба, обогащенного пищевыми волокнами и лизином / С.Н. Голинько [и др.]. // Рациональное питание. – 1991. – № 26. – С. 92–96.
32. Becker, M.G. Dietary fiber and bread: intake, enrichment, determination and influence on caloric function / M.G. Becker, W. Feldhum, W. Kulikowski // Cereals Food World. – 1986. – v. 31. – № 5. – P. 306–310.
33. Slumer, P. Balaststoffangereicherte Brotcher / P. Slumer // Getreide Mehl und Brot. – 1987. – v. 41. – № 9. – P. 275–278.
34. Krishnan, P.G. Effect of commercial oat bran of the characteristics and composition of bread / P.G. Krishnan, K.C. Change, G. Brown // Cereal Chemistry. – 1985. – v. 64. – №1. – P. 55–56.
35. Применение микрокристаллической целлюлозы в хлебопекарной промышленности / Т.Б. Цыганова [и др.]. – М.: ЦНИИТЭИ Минхлебопродуктов, 1991. – 35 с.
36. Кузьминский, Р.В. Хлеб из тонкодиспергированного целого зерна пшеницы / Р.В. Кузьминский, В.В. Щербатенко, И.П. Петраш. – М.: ЦНИИТЭИ Минпищепром, 1985. – вып. 12. – 24 с.
37. Huber, H. Das Alternative – die Verneendung andere Zutaten bei Brot und Jeinen Backwaren / H. Huber // Die Muhle Mischfuttertechnik. – 1986. – v. 123. – № 13. – P. 153–156.
38. Dreyer, E. Mullereitechisch Maßnahmen zur Optimierung der Backergebnisse von Vollkornmahlerzeugnissen / E. Dreyer, W. Seibel, Jahn-Deesbach // Getreide Mehl und Brot. – 1985. – v. 39. – № 10. – P. 298–301.
39. Способы подготовки зерна и производство из него специальных сортов хлеба: обзор. информ. / В.В. Рогальский [и др.]. – М.: ЦНИИТЭИ Минхлебопродукта, 1987. – 16 с.

40. Seibel, W. Herstellung alternativer Vollkornschrotbrote / W. Seibel, H. Stephan, H. Zwingelberg // *Getreide Mehl und Brot*. – 1984. – v. 38. – № 11. – P. 339–345.
41. Kastner, U. Verfahren zur effektiven Herstellung von Gauzkorbrot – einer neuen Spezialbrotart / U. Kastner // *Backer und Konditor*. – 1987. – v. 35. – № 1. – P. 7–8.
42. Lai, C.G. Production of whole wheat bread with good loaf volume / C.G. Lai, A.B. Davis, R.C. Hosney // *Cereal Food World*. – 1989. – v. 34. – № 4. – P. 359–360.
43. Изделия диетического и профилактического назначения / Ф. Кветный [и др.]. // *Хлебопродукты*. – 1996. – № 3. – С. 16–17.
44. Wang, H.J. Direct use of apple pomace in bakery products / H.J. Wang, R.L. Thomas // *J. Food Sci.* – 1989. – v. 54. – № 3. – P. 618–620.
45. Brummer, J.-M. Eignung von Rubenballaststoffen zur Herstellung von ballaststoffangereicherten Backwaren / J.-M. Brummer, G. Morgenstern, G. Brack, U. Hannerforth // *Brot und Backwaren*. – 1989. – v. 37. – № 5. – P. 201–208.
46. Применение добавок в хлебопекарной промышленности: обзор информ. / А.П. Нечаев [и др.]. – М.: ЦНИИТЭИ Минхлебопродуктов. – 1990. – 32 с. Серия: Хлебопекарная, макаронная и кондитерская промышленность.
47. Cal, A. Dietary fiber research addresses intake sources health benefits / A. Cal // *Food Process.* – 1987. – v. 48. – № 12. – P. 3–6.
48. Nmorka, G.O. Nutritional quality of winged bean composite breads / G.O. Nmorka, B.O. Okezie // *Cereal Chem.* – 1983. – v. 60. – № 3. – P. 198–202.
49. Дробот, В.И. Использование нетрадиционного сырья в хлебопекарной промышленности / В.И. Дробот – Киев: Урожай, 1988. – 152 с.
50. Brummer, J.M. Eigenschaften verschiedener Ballaststoffquellen für die Brot und Kleingebäckherstellung / J.M. Brummer // *Ernähr. Nutr.* – 1989. – v. 13. – № 4. – P. 222–229.
51. Duxbury, Dean D. Fiber, calcium, nutritional supplements provide benefits to many foods; health message labeling unresolved / Duxbury Dean D. // *Food Process* – 1987. – v. 48. – № 5. – P. 112–114.
52. Вербий, В.П. О влиянии некоторых белковых обогатителей на аминокислотный состав хлеба / В.П. Вербий, Н.А. Чумаченко, А.П. Демчук // *Товароведение: Респ. межвед. научн.-техн. сб.* – 1983. – вып. 16. – С. 47–49.
53. Дубинская, А.П. Биологическая ценность сухих вторичных молочных продуктов / А.П. Дубинская, Л.И. Шак // *Изв. вузов. Пищевая технология*. – 1983. – № 3. – С. 94–96.

54. Данилевич, А.Ф. Сквашенная сгущенная молочная сыворотка – перспективный обогатитель хлеба и других пищевых продуктов / А.Ф. Данилевич // Пищевая промышленность. – 1986. – № 9. – С. 39–40.

55. Мизякин, Н.Д. Использование молочной сыворотки и ее концентратов / Н.Д. Мизякин // Хлебопекарная и кондитерская промышленность. – 1983. – № 8. – С. 7–8.

56. Патт, В.А. Использование молочной сыворотки и продуктов из нее при производстве хлебобулочных изделий и СССР и за рубежом / В.А. Патт, И.П. Петраш, Л.Ф. Столярова. – М.: ЦНИИТЭИ Пищепром, 1983. – вып. 5. – 28 с.

57. Петраш, И.П. Сывороточные концентраты для хлебопечения / И.П. Петраш // Хлебопекарная и кондитерская промышленность. – 1983. – № 8. – С. 13–14.

58. Патт, В.А. Технологические рекомендации по применению молочной сыворотки и сывороточных концентратов в хлебопекарной промышленности / В.А. Патт [и др.]. – М.: ЦНИИТЭИ Пищепром, 1984. – 32 с.

59. Vetter, James L. New role of dairy products in the baking industry / Vetter James L. // Dairy Feed. – 1980. – № 9. – P. 163–164.

60. Алиева, В.А. Минеральный состав хлеба, обогащенного килечным белковым гидролизатом / В.А. Алиева, В.А. Эфендиева. М., 1987. – С. 140–142. – Деп. в АгроНИИТЭИ Пищепром, № 1667 пщ. 87.

61. Schehafa, N. Effect of supplementing wheat flour with protein concentrate / N. Schehafa, Asma A. Ibrahim, Naney N. Chali // Nahtung. – 1989. – v. 33. – № 6. – P. 497–501.

62. Studies on the incorporation of partially hydrolyzed (PHD) Fish flour in bread / N. Sukhakara [et al.]. Indian J. Nutr. And Diet. – 1988. – v. 25. – №2. – P. 44–49.

63. Использование новых видов белоксодержащего сырья в хлебопекарной промышленности за рубежом: обзор. информ. / Т.Б. Цыганова [и др.]. – М.: ЦНИИТЭИ Пищепром, 1985. – вып. 1. – 28 с.

64. Белковые ресурсы отходов кукурузно – крахмального производства / А.Ф. Загибалов [и др.] // Изв. вузов. Пищевая технология. – 1986. – № 2. – С. 18–20.

65. Vukobratovic, R. Sojin izolat u proizvodima o brasna / R. Vukobratovic, D. Beleslin // Zito hleb. – 1980. – 7. – № 2. – P. 36–48.

66. Цыганова, Т.Б. Применение белоксодержащих добавок при производстве хлебобулочных изделий / Т.Б. Цыганова – М.: ЦНИИТЭИ Хлебопродуктов, 1990. – 32с.

67. Дубнинская, А.П. Биологическая ценность сухих вторичных молочных продуктов / А.П. Дубнинская, Л.И. Шак // Изв. вузов. Пищевая технология. – 1983. – № 3. – С. 9–11.

68. Рахманкулова, Р.Г. Минеральный состав пшеничного хлеба с молочной сывороткой / Р.Г. Рахманкулова, И.Т. Осадчая, Н.П. Кольцова, А.С.Краснова // Изв. вузов. Пищевая технология. – 1980. – № 4. – С. 140–141.

69. Производство хлеба за рубежом: обзор. информ / Г.Г. Дубцов [и др.]. – М.: ЦНИИТЭИ Пищепром, 1986. – сер. 27. – вып. 7. – 24 с.

70. Schorch, G. Dosierung von kleikomponenten zu Mehl / G. Schorch // Geteide Mehl und Brot. – 1991. – v. 45. – № 2. – P. 23–25.

71. Зайцев, Э. Переработка яичной скорлупы / Э. Зайцев, Л. Рыкова // Хлебопродукты. – 1993. – № 11. – С. 27–31.

72. Влияние альбуминового молока на технологические характеристики теста / Л.П. Пащенко [и др.] // Хлебопродукты. – 1993. – № 12. – С. 23–27.

73. Люшинская, И.И. Влияние растительного сырья на качество и пищевую ценность хлеба / И.И. Люшинская, Г.Г. Дубцов, Г.Д. Касаткина // Хлебопекарная и кондитерская промышленность. – 1986. – № 10. – С. 39–41.

74. Primena aditiva dobijenih iz izluzenih rezananca secerne repe u pekarskim proizvodima I Deo. Dobijanje / J. Gyuzza [et al.] // Zito – hleb. – 1991. – v. 18. – № 3. – P. 73–76.

75. Способ внесения фруктовой добавки в тесто / Л.И. Лазарева [и др.] // Хлебопродукты. – 1992. – № 1. – С. 24–26.

76. Парфенова, Т.Б. Использование женьшеневой муки в качестве пищевой добавки / Т.Б. Парфенова, А.А. Кудряшова // Тез. докл. 4 междунар. семинар «Экология человека: пищ. технология и продукты. Ч. 2. – М, 1995. – С. 268–269.

77. Vetter, I.L. Pecarski proizvodi I snizenje holesterola / I.L. Vetter // Zito – hleb. – 1990. – №4. – P. 47–49.

78. Повышение витаминной ценности хлеба. Передовой производственный опыт и научно – технические достижения, рекомендуемые для внедрения: инф. сб. / Г.Г. Дубцов [и др.] // – М.: ЦНИИТЭИ Минхлебопродуктов. М, 1989. – вып. 3. – 24 с.

79. Использование продуктов из яблок в хлебопечении: обзор. информ. / В.И. Дробот [и др.]. – М.: Агро НИИТЭИПП, 1986. – № 17. – 22 с. Серия: хлебопекарная, макаронная, дрожжевая промышленность.

80. Koluderski, G. Spozedni proizvodi mlevey u izradi hleba sa visokim sa drzajem balastnik materij / G. Koluderski, N. Filipovic, B. Dumic // Zito – hleb. – 1993. – № 4. – P. 125–130.

81. Перегуда, И.А. Разработка технологии хлебобулочных изделий диетического назначения с использованием плодово-овощных порошков: автореферат дисс. ... канд. техн. наук / И.А. Перегуда. – Киев, 1989. – С. 16–20.

82. Применение плодово-ягодных продуктов в хлебопечении: обзор. информ. / Р.Д. Поландова [и др.]. – М.: Агро НИИТЭИПП, 1986. – вып. 14. – 28 с.

83. Влияние морковного пюре на качество хлеба, свойства теста и его компонентов / С.Я. Корячкина [и др.] // Изв. вузов. Пищевая технология. – 1994. – № 4. – С. 31–33.

84. Обоснование использования овощей в производстве мучных изделий / С.Я. Корячкина, В.С. Баранов. – М., 1986. – Деп. в Агро НИИТЭИ Пищепром, № 1371 – пщ.

85. Новые сорта хлеба повышенной биологической ценности и диетического назначения / В.В. Щербатенко [и др.]. – М.: ЦНИИТЭИ Пищепром, 1971. – 30 с.

86. Мишучкова, Т.В. Диетический хлеб с добавлением водорослей: экспресс информ. / Т.В. Мишучкова, Т.Ю. Антонова. – М.: ЦНИИТЭИ Пищепром, 1985. – вып. 5. – 16 с.

87. Дорохович, А.Н. Рациональные технологии новых видов диабетических изделий улучшенной пищевой ценности / А.Н. Дорохович, Л.Н. Неделина, Т.Я. Полищук // Тез. докл. всесоюз. научн.-техн. конф. – Кировоград, 1989. – С. 29–30.

88. Иовнович, Л.Л. Совершенствование процесса приготовления клейковины и производства белково-пшеничного хлеба // экспресс инф. Серия: Хлебопекарная и макаронная промышленность / Л. Л. Иовнович, А. А. Радчихин, М. З. Битерман. – М.: ЦНИИТЭИ Минхлебопродукта СССР, 1987. – № 7. – С. 9–11.

89. Новое направление в создании технологии диабетических сортов хлеба: обзор. информ. / И.В. Матвеева [и др.]. – М.: ЦНИИТЭИ Хлебопродуктов, 1991. – 44 с. Серия: Хлебопекарная и макаронная промышленность.

90. Chew, I. Application of glikemic index meals / I. Chew, J. Brand C., A.W. Jhorburn, A.S. Jruswell // *The American journal of clinical nutrition.* – 1988. – v. 47. – № 6. – P. 53–55.

91. Пономарева, А.Н. Участие свободных аминокислот в реакции меланоидинообразования при изготовлении хлеба: дис. ... канд. биол. наук / А.Н. Пономарева. – М., 1964. – 272 с.

92. Кретович, В.Л. Проблемы пищевой полноценности хлеба / В.Л. Кретович, Р.Р. Токарева. – М.: Наука, 1978. – 250 с.

93. Скурихин, И.М. Все о пище с точки зрения химика / И.М. Скурихин, А.П. Нечаев. – М.: Высшая школа, 1991. – 288 с.

94. Dean, K.J. Physics and chemistry of baking / K.J. Dean, N.E. Edwards, C.A. Russel. – London: App. Science, 1980. – v. 7. – 228 с.

95. Поландова, Р.Д. Изменение содержания витаминов в процессе приготовления и хранения хлебобулочных изделий / Р.Д. Поландова, Л.И. Гусева и др. // Тез. докл. 3 всес. науч.-техн. конф. «Разработка процессов получения комбинированных продуктов питания (мед.-биол. аспекты, технол., аппарат. Оформление, оптимизация). – М., 1988. – С. 194–195.

96. He, H. A critical look at the electric resistance oven / H. He, R.C. Noseney // *Cereal Chem.* – 1991. – v. 68. – № 2. – С. 151–154.

97. Влияние способа выпечки на пищевую ценность хлебобулочных изделий из пшеничной муки / Г.И. Шевелева [и др.] // Тез. докл. всес. науч. конф. «Проблемы влияния тепловой обработки на пищевую ценность продуктов питания» (Харьков, дек. 1990). – Харьков, 1990. – С. 29–30.

98. Шевелева, Г.И. Разработка способов повышения витаминной ценности хлебобулочных изделий: дисс. ... канд. техн. наук / Г.И. Шевелева. – М., 1992. – 178 с.

99. Выпечка узбекских лепешек в поле ИК-нагрева / С.Г. Ильясов [и др.] // *Изв. вузов. Пищ. технология.* – 1988. – № 6. – С. 50–52.

100. Совершенствование процесса выпечки узбекских лепешек с использованием ИК энергоподвода / М.Б. Камалова [и др.] // Тез. докл. 6 всес. науч.-техн. конф. «Электрофиз. Методы обработки пищ. продуктов и с.-х. сырья». – М., 1989. – С. 165–166.

101. Rubenthaler, G.L. Steamed bread. I. Chinese steamed bread formulation and interaction / G.L. Rubenthaler, M.L. Huang // *Cereal Chem.* – 1990. – v. 67. – № 5. – P. 471–475.

102. Huang, S.D. Steam bread – a popular food in China / S.D. Huang, D.M. Mikelly // *Food Austral.* – 1991. – v. 43. – № 8. – С. 346–347.

103. Rosenberg, U. Mikrowellensysteme – neue Technologie in der Lebensmittelindustrie / U. Rosenberg, W. Boge // GIT. – 1987. – v. 31. – № 3. – С. 162–164.

104. Селягин, В.Г. Влияние СВЧ-нагрева на качество пшеничного хлеба / В.Г. Селягин, Л.С. Энкина, Н.Н. Фихтенгольц // Изв. вузов. Пищ. технология. – 1986. – № 5. – С. 47–49.

105. Rapaille, A. Starch in microwave cookery / A. Rapaille // Food Trade Rev. – 1990. – v. 60. – № 6. – P. 314–319.

106. Тищук, В.А. Исследование процесса приготовления выпечки пиццы в электромагнитном поле СВЧ и ИК-диапазонах / В.А. Тищук, Н.Н. Шаповалова // Тез. докл. 6 Всес. науч.-техн. конф. «Электрофиз. Методы обработки пищ. продуктов и с.-х. сырья». – М., 1989. – С. 224–225.

107. Levine, L. Use of computer vision for real time estimation of volume increase during microwave baking / L. Levine, V.T. Huang, I. Suguy // Cereal Chem. – 1990. – v. 67. – № 1. – P. 104–105.

108. Данилов, А.М. Влияние СВЧ-нагрева на качество хлебобулочных изделий / А.М. Данилов, Э.Е. Хачатурян, А.П. Джангиров // Тез. докл. 6 Всес. науч.-техн. конф. «Электрофиз. Методы обработки пищ. продуктов и с.-х. сырья». – М., 1989. – С. 137–138.

109. Иванов, В.С. Электрические свойства системы электрод – пищевой материал – электрод / В.С. Иванов // Тез. докл. 6 Всес. науч.-техн. конф. «Электрофиз. Методы обработки пищ. продуктов и с.-х. сырья». – М., 1989. – С. 23–24.

110. Джабраилов, А.Д. Особенности тепловой обработки теста ЭК способом / А.Д. Джабраилов, Г.В. Долидзе // Тез. докл. Всес. науч.-техн. конф. «Совершенствование технол. процессов производства нов. видов пищ. продуктов и добавок. использование втор. сырья пищ. ресурсов». Ч.2. / Центр. правл. Всес. НТО пищ. пром-сти. – Киев, 1991. – С. 44–45.

111. Джабраилов, А.Д. Некоторые качественные показатели теста, обработанного ЭК способом / А.Д. Джабраилов, Г.В. Долидзе // Тез. докл. Всес. науч.-техн. конф. «Совершенствование технол. процессов производства нов. видов пищ. продуктов и добавок. использование втор. сырья пищ. ресурсов». Ч. 1. / Центр. правл. Всес. НТО пищ. пром-сти. – Киев, 1991. – С. 258–259.

112. Джабраилов, А.Д. Анализ результатов ЭК выпечки хлеба / А.Д. Джабраилов, Г.В. Долидзе // Тез. докл. 6 Всес. науч.-техн. конф. «Электрофиз. методы обработки пищ. продуктов и с.-х. сырья». – М., 1989. – С. 185–186.

113. Давление в материале при ЭК нагреве теста-хлеба / В.Т. Мустьяца [и др.] // Изв. вузов. Пищ. технология, 1986. – № 5. – С. 58–61.
114. Данилеско, С.В. Применение ЭК нагрева в производстве сухарного хлеба / С.В. Данилеско, А.С. Гинзбург, В.Т. Мустьяца // Электрич. обраб. материалов, 1985. – № 2. – С. 42–43.
115. Островский, Я.Г. Исследование процессов приготовления заварки и выпечки бескоркового хлеба электроконтактным нагревом: дисс. ... канд. техн. наук / Я.Г. Островский. – М., 1954. – 182 с.
116. Baker, J.C. Method and apparatus for testing dough / J.C. Baker // Cereal Chemistry. – 1939. – v. 25. – № 4. – P. 38–42.
117. Baker, J.C. Effect of temperature on dough properties I. / J.C. Baker, M.D. Mize // Cereal Chemistry. – 1939. – v. 26. – № 4. – P. 76–81.
118. Baker, J.C. Effect of temperature on dough properties II. / J.C. Baker, M.D. Mize // Cereal Chemistry. – 1939. – v. 26 – № 5. – P. 52–55.
119. Гинзбург, А.С. Современные конструкции хлебопекарных печей / А.С. Гинзбург. – М.: Пищепромиздат, 1958. – С. 40–45.
120. Кульман, А.Г. Коллоиды в хлебопечении / А.Г.Кульман. – М.: Пищепромиздат, 1953. – 247 с.
121. Brummer, J.-M. Backtechnische Wirkung von Weizenvorung Weizensauerteigen / J.-M. Brummer, H. Stephan, G. Spicher // Getreide Mehl und Brot, 1984. – v. 38. – № 8. – P. 203–205.
122. Рациональный способ приготовления заварного теста / В.М. Баринский [и др.] // Хлебопекарная и кондитерская промышленность, 1987. – № 1. – С. 25–26.
123. Производство улучшенных заварных сортов хлеба из ржаной муки / Казанская Л.Н. [и др.]. – М.: ЦНИИТЭИ Минхлебопродуктов СССР, 1988. – 16 с.
124. Brummer, J.-M. Problematik der Brotfrischhaltung / J.-M. Brummer, G. Morgenstem // Brot und Backwaren, 1986. – v. 34. – № 6. – P. 176–181.
125. Biliaderis, Costas G. Structures and phase transitions of starch in food systems / Costas G. Biliaderis // Food Technol. – 1992. – v. 46. – № 6. – P. 98–100, 108–109, 145.
126. Кузьминский, Р.В. Приготовление теста на жидких полуфабрикатах / Р.В. Кузьминский. – М.: ЦНИИТЭИ Минхлебопродуктов СССР, 1987. – 34 с.

127. Пути улучшения качества муки и хлеба : обзор. инф. / А.И. Быстрова [и др.]– М.: ЦНИИТЭИ Минхлебопродуктов, 1988. – 34 с. Серия: Хлебопекарная и макаронная промышленность.

128. Моргун, В.А. Улучшение хлебопекарного качества муки / В.А. Моргун. – М.: Урожай, 1991. – 135 с.

129. Ambroziak, Z. Technological process of production of rye and mixed bread-past and future / Z. Ambroziak // Resume 9^e Congr. Int. cereals et pain (Paris, 1–5 juin 1992): Resume Sass techniques [Ind. Cereal.. – 1992. – № 77. – P. 28–29.

130. Lehrack, U. Möglichkeit der Beeinflussung der Verarbeitungsqualität von auswuchsgeschädigtem Roggen und Weizen / U. Lehrack, E. Gebhardt // Baker und Konditor, 1988. – v. 36. – № 3. – P. 92–93.

131. Javanainen, P. Utilization of sprout damaged wheat in bread baking / P. Javanainen, Y.-Y. Linko, P. Linko // Kemia-Kemi. – 1988. – v. 15. – № 10. – С. 1045–1046.

132. Seibel, W. Influence of flour from sprout-damaged rye on the quality of rye and rye-mixed bread / W. Seibel, J.-M. Brummer // Cereal Food World. – 1983. – v. 28. – № 9. – P. 503–505.

133. Данилеско, С.В. Производство сухарей с применением ЭК выпечки / С.В. Данилеско // Хлебопекарная и кондитерская промышленность, 1985. – № 12. – С. 13–14.

134. Эффективность комбинированного энергоподвода при производстве сдобных сухарей / Н.В. Лабутина [и др.] // Хлебопекарная и кондитерская промышленность, 1984. – № 11. – С. 12–14.

135. Ильинский, Н.А. Производство сухарных изделий / Н.А. Ильинский, Т.Н. Ильинская. – М.: Легкая и пищевая промышленность. – 1982. – 208 с.

136. Данилеско, С.В. Установка с электроконтактным энергоподводом для хлебопекарного производства / С.В. Данилеско // Хлебопекарная и кондитерская промышленность, 1986. – № 1. – С. 17–19.

137. Данилеско, С.В. Производство сухарей с применением электроконтактной выпечки / С.В. Данилеско // Хлебопекарная и кондитерская промышленность. – 1985. – № 12. – С. 13–14.

138. Джабраилов, А.Д. Комбинированная выпечка (ЭК-СВЧ) сдобных сухарей / А.Д. Джабраилов, И.М. Леонтьева // Тез. докл. 6 всес. научн.-техн. конф. «Электрофизические методы обработки пищевых продуктов и с.- х. сырья». – М., 1989. – С. 232–233.

139. Brummer, J.M. Dough and bread / J.M. Brummer, R. Guinet // Resume 9^e Cong. Int. cereals et pain (Paris, 1–5 juin 1992): Resume Sess techniques. Ind. Cereal. – 1992. – № 77. – P. 46–47.

140. Piazza, L. Moisture _edistribution throughout the loaf during bread stalin / L. Piazza, P. Masi // Resume 9^e Cong. Int. cereals et pain (Paris, 1–5 juin 1992): Resume Sess techniques [Ind. Cereal. – 1992. – № 77. – P. 47–48.

141. Пучкова, Л.И. Состояние воды в мякише хлеба и его компонентах / Л.И. Пучкова, Л.Л. Сугрובה, И.Р. Архангельский // Хлебопекарная и кондитерская промышленность. – 1980. – № 10. – С. 31–32.

142. Горячева, А.Ф. Сохранение свежести хлеба / А.Ф. Горячева, Р.В. Кузьминский. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 240 с.

143. Persabd, J.N. Dynamic rheological properties of breadcrumb. I. Effects of storage time, temperature and position in the loaf / J.N. Persabd, J.M. Faubion, J.G. Ponte // Cereal Chem. – 1990. – v. 67. – № 1. – P. 92–96.

144. Marfin, M.L. A mechanism of bread firming. I. Role of starch swelling / M.L. Marfin, K.J. Zeleznak, R.C. Hosney // Cereal Chem. – 1991. – v. 68. – № 5. – P. 498–503.

145. Marfin, M.L. A mechanism of bread firming. II. Role of starch hydrolyzing enzymes / M.L. Marfin, R.C. Hosney // Cereal Chem. – 1991. – v. 68. – № 5. – P. 602–605.

146. Lehmann, G. Bestimmung des Alterungsverlaufes bzw. Frische von Weizenbrot / G. Lehmann, W. Meise) Lebensmittelchem und gericht. Chem. – 1998. – v. 42. – № 1. – P. 20–21.

147. Bindrich, U. Vibrationsrheometrische Erfassung rheologischer Zustandsänderungen bei der Alterung von Brot / U. Bindrich, H.D. Tschuschner // Baker und Konditor. – 1987. – v. 35. – № 6. – P. 166–169.

148. Defatted and reconstituted wheat flour. VI. Response to Shortening addition and lipid removal in flours that vary in bread making quality / O.K. Chung [et al.] // Cereal Chemistry. – 1980. – v. 57. – № 2. – p. 111–117.

149. Procjena organoleptičkih karakteristika. Kruha u jugoslavije / M. Filajdis [et al.] // Zito hleb. – 1980. – v. 7. – № 3–4. – P. 21–25.

150. Garti, N. Evolution of food emulsifiers in the bread baking industry / N. Garti, C. Linder, E.I. Pitnus // Baker Digest. – 1980. – v. 54. – № 5. – P. 24–26.

151. Natural levels of nutrients in commercially milled. Wheat flours.1. Description of samples and proximate analysis / K. Kulp [et al.] // Cereal Chemistry. – 1980. – № 1. – P. 54–58.

152. Zononi, B. Effect of moisture and temperature on the Specific heat of Bread / B. Zononi, M. Petronio // *Ital. J. Food Sci.* – 1991. – №3. – P. 239–242.
153. Freeman, Thomas P. Microstructure of wheat starch: from kernel to bread / Thomas P. Freeman, David R. Shelton // *Food Technol.* – 1991. – № 3. – P. 162–168.
154. Amend, T. Mikroskopisuchungen von Mehl. Wasser Systemen / T. Amend, H.–D. Belitz // *Getreide Mehl und Brot.* – 1989. – № 10. – P. 19–20.
155. Czuchajowska, Z. Water activity and moisture content of dough and bread / Z. Czuchajowska, Y. Pomeranz, H.C. Jeffers // *Cereal Chemistry.* – 1989. – № 2. – P. 128–132.
156. Люшинская, И.И. Замедление черствения пшеничного хлеба / И.И. Люшинская, Г.Д. Касаткина // *Изв. вузов. Пищ. технол.* – 1986. – № 5. – С. 49–51.
157. Вербий, В.П. Влияние некоторых белковых добавок на степень черствения хлеба / В.П. Вербий, А.П. Демчук, Н.А. Чумаченко // *Товароведение.* – Киев, 1984. – № 17. – С. 47–49.
158. Jankiewicz, M. The effect of soluble pentans isolated for rye grain on staling of bread / M. Jankiewicz, J. Michniewicz // *Food Chem.* – 1987. – V. – 25. – № 4. – P. 241–249.
159. Санина, Т.В. Пути эффективного использования сахаросодержащих и жировых продуктов в хлебопекарной промышленности: обзор. информ. / Т.В. Санина, А.В. Зубченко. – М.: ЦНИИТЭИ хлебопродуктов, 1990. – 35 с.
160. Пучкова, Л.И. Жиры в хлебопечении: обзор. информ. / Л.И. Пучкова. – М.: ЦНИИТЭИ Пищепром, 1976. – 23 с.
161. Киреева, Л.И. Жировые композиты в хлебопечении / Л.И. Киреева, И.В. Матвеева, Т.А. Юдина // *Хлебопечение России*, 1997. – № 2. – С. 16–19.
162. Antistaling-conditioning agent in producing bakery products. Пат. 4684526, США. МКИ А 21 D 2/08; А 23 J 7/00, НКИ 426/19 / Knightly W. Заявл. 21.12.84. № 685155, опубл. 4.08.87
163. Boyle, Patricia J. Antistaling enzyme for baked goods / Patricia J. Boyle, Ronald E. Hebeda // *Food Technol.* – 1990. – v. 44. – № 6. – С. 129–130.
164. Поландова, Р.Д. Применение новых ферментных препаратов в хлебопекарном производстве: обзор. информ. / Р.Д. Поландова, И.В. Матвеева. – М.: ЦНИИТЭИ Хлебопродуктов, 1991. – 35 с.

165. Скорикова, А.И. Взаимосвязь между сохранением свежести хлеба и наличием в нем крупнодисперсных зернопродуктов / А.И. Скорикова // Сб. докл. всес. науч.-техн. конф. «Осн. направления науч.-техн. прогресса в мукомольной промышленности» (Москва, 20–24 мая 1990). – М., 1991. – С. 36–42.

166. Сохранение свежести хлебобулочных изделий: экспресс информ. / Белорус. НИИ НТИТЭИ. – Минск, 1981. – 10 с. Серия: пищевая промышленность.

167. Влияние на закваска от *Lactobacillus plantarum* върху стареенето на хляба / Ф. Ахмед, Г. Караджов, А. Вангелов, П. Груев // Науч. тр. висш. инст. хранит. и вкус. пром. – Пловдив, 1986. – вып. 33. – № 22. – С. 25–33.

168. Богатырева, Т.Г. Новое в производстве пшеничного хлеба на заквасках / Т.Г. Богатырева, Р.Д. Поландова. – М.: ЦНИИТЭИ хлебопродуктов, 1995. – С. 3–4.

169. Morgenstern, G.V. Kleinbacke / G.V. Morgenstern // Brot und Backwaren, 1986. – v. 34. – № 3. – P. 44–46.

170. Khan, N. Studies on bread preservation for summer season / N. Khan, R. Zaman, A.F.M. Ehteshamuddin // Pakistan J. Sci. and Ind. Res. – 1989. – v. 32. – № 12. – P. 772–774.

171. Knorr, D. Effect of carbon dioxide modified atmosphere on the compressibility of stored baked goods / D. Knorr, R.I. Tomlins // J. Food Sci., 1985. – v. 50. – № 4. – P. 1174–1173.

172. Vora, H.M. Effect of varying concentrations of ethyl alcohol and carbon dioxide on the shelf life of bread / H.M. Vora, J.S. Sidhi // Chem. Mikrobiol., 1987. – v. 11. – № 2. – P. 56–59.

173. Lingle, R. CAP for U.S. bakery products: to be, or not to be? / R. Lingle // Prep. Foods, 1988. – v. 157. – № 3. – P. 91–93.

174. Lingle, R. Modified atmosphere packaging extends shelf life in bakery products / R. Lingle // Food Eng. – 1988. – v. 60. – № 11. – P. 43–44.

175. Piergiovanni, L. Riduzione dell'ossigeno residuo nel confezionamento in atmosfera modificata die prodotti da forno lievitati / L. Piergiovanni, P. Favo, L. Tinelli // Ind. Alim. (Ital.). – 1996. – v. 35. – № 353. – P. 1167–1171.

176. Sparacowski, W. Longer shelf life and freshness without artificial preservatives / W. Sparacowski // Food Market and Technol. – 1993. – № 1. – P. 44–46.

177. Naumann, G. Betriebserfahrungen mit der Mikrowellenpasteurisierung / G. Naumann // Getreide Mehl und Brot. – 1986. V. 40. – № 12. – P. 367–371.

178. Moor, J. A sutoipari termekek sterilizese / J. Moor, M. Szill // Sutoipar. – 1991. – № 3. – P. 13–14.

179. Технология хлеба, обеспечивающая обеззараживание муки от споровых микроорганизмов / Т.А. Гречуха [и др.] // Тез. докл. всес. науч. конф. «Пути повышения качества зерна и зернопродуктов, улучшения ассортимента крупы, муки и хлеба». – М, 1989. – С. 107–108.

180. Verfahren zur Keimreduktion in Mehl enthaltenden Halbfertigprodukten: Патент 4037499 ФРГ, МКИ⁵ А 21 D 4/00 / Juchem F.-J. Заяв. 26.11.90, опубл. 27.05.92.

181. Влияние сверхвысокочастотного метода обработки на качественные показатели хлебобулочных изделий. / Е.М. Меркулов [и др.]. – Краснодар, 1990. – 7 с. Деп. в ЦНИИТЭИ Хлебопродуктов 15.11.90. № 1205. – хб. 90.

182. Gannadios, A. Edible films and coatings from soymilk and soy protein / A. Gannadios, C.L. Weller // Cereal Food World. – 1991. – № 12. – P. 1004–1009.

183. Лабораторный практикум по общей технологии пищевых производств / под ред. Ковальской Л.П. – М.: Агропромиздат, 1991. – 336 с.

184. Сборник технологических инструкций для производства хлебобулочных изделий. – М.: Прейскурантиздат, 1989. – 494 с.

185. Стародубцева, А.И. Практикум по хранению зерна / А.И. Стародубцева, В.С. Сергунов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1987. – 192 с.

186. Ройтер, И.М. Новые методы контроля хлебопекарного производства / И.М. Ройтер, А.П. Демчук, В.И. Дробот. – Киев: «Техника», 1977. – 135 с.

187. Шишкин, М.Ф. Основы метрологии, стандартизации и контроля качества / М.Ф. Шишкин. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 218 с.

188. Пучкова, Л.И. Органолептическая оценка качества хлебобулочных изделий: обзор. информ. / Пучкова Л.И., Еникеева Н.Г., Смирнова Н.Н. – М.: ЦНИИТЭИ Минхлебопродуктов, 1987. – 32 с.

189. Пучкова, Л.И. Лабораторный практикум по технологии хлебопекарного производства / Л.И. Пучкова. – 3-е изд. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 232 с.

190. Методические рекомендации по изучению безвредности и пищевой ценности продуктов животноводства, полученных с использованием кормовых добавок микробиологического происхождения / В.А. Шатерников [и др.]. – М., 1981. – 18 с.

191. Пустыльник, Е.Н. Статистические методы анализа и обработки наблюдений / Е.Н. Пустыльник. – М.: Наука, 1968. – 288 с.

192. Грачев, Ю.П. Математические методы планирования экспериментов / Ю.П. Грачев. – М.: Пищевая промышленность, 1979. – 200 с.

193. Касперович, В.Л. Методические указания по обработке экспериментальных данных в УИРС и НИРС с использованием программируемых микрокалькуляторов для студентов спец. 1001 / В.Л. Касперович, Г.Г. Романюк. – Оренбург: Оренбургский политехнический институт, 1987. – 25 с.

Приложение А

(обязательное)

Таблица А.1 – Влияние способа выпечки на скорость гидролиза углеводов мякиша пшеничного хлеба

Продолжительность гидролиза мякиша хлеба	Интенсивность образования глюкозы (% на СВ/ч) при гидролизе мякиша хлеба, выпеченного способом			
	радиационно-конвективным	токами сверхвысокой частоты	электро-контактного прогрева	инфра-красным излучением
0,5	2,52	0,82	0,09	2,80
1,0	4,48	3,10	2,25	4,40
1,5	5,46	4,26	3,40	5,30
2,0	5,80	4,80	4,00	5,80
2,5	5,80	4,92	4,50	6,00
3,0	5,80	5,08	5,40	6,26
3,5	6,04	5,50	7,20	7,90
Гликемический индекс хлеба, % на СВ	30,6	22,8	22,4	23,8

Приложение Б (обязательное)

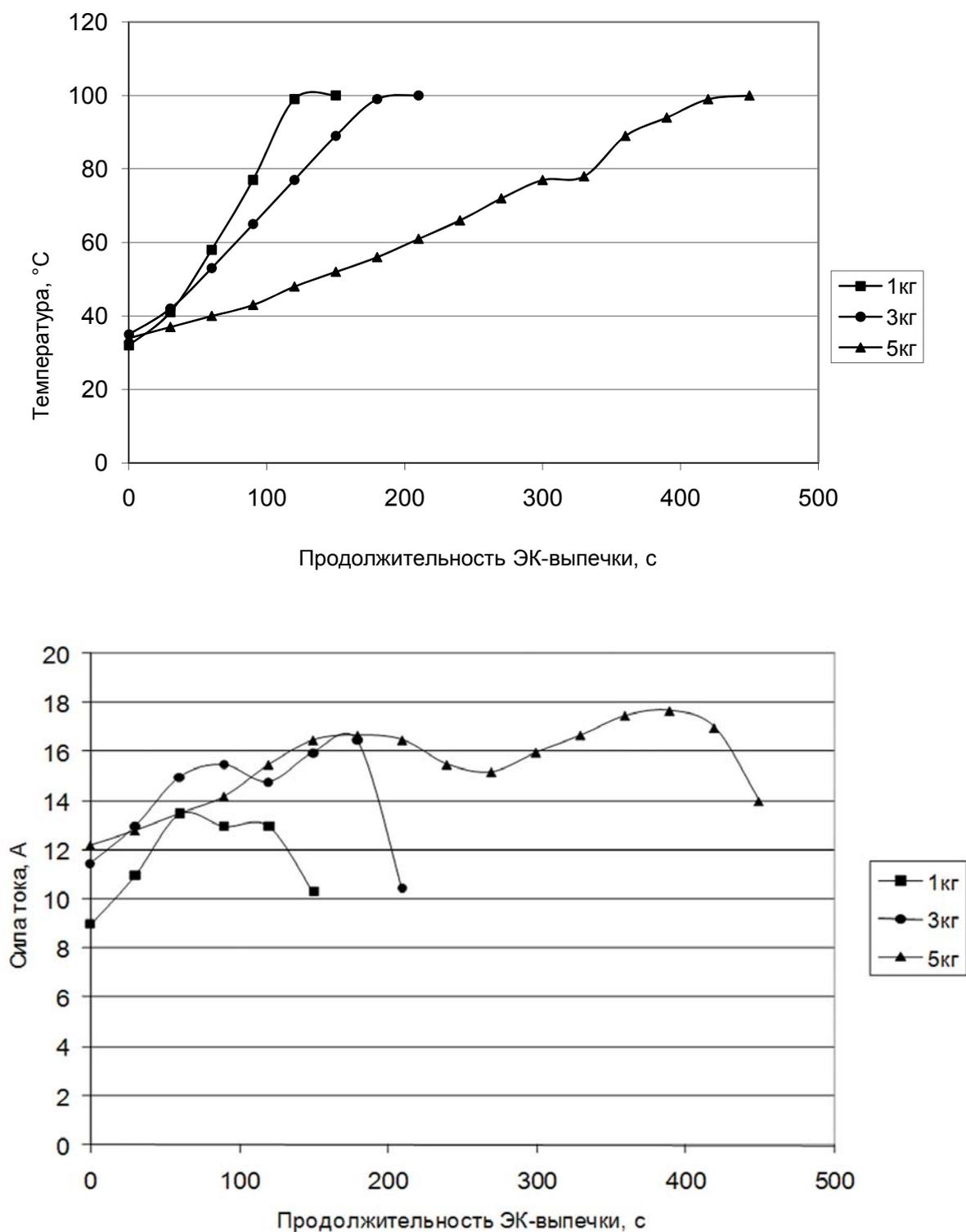


Рисунок Б.1 – Кинетика изменения силы тока и температуры теста-хлеба при ЭК-выпечке образцов различной массы

Приложение В (обязательное)

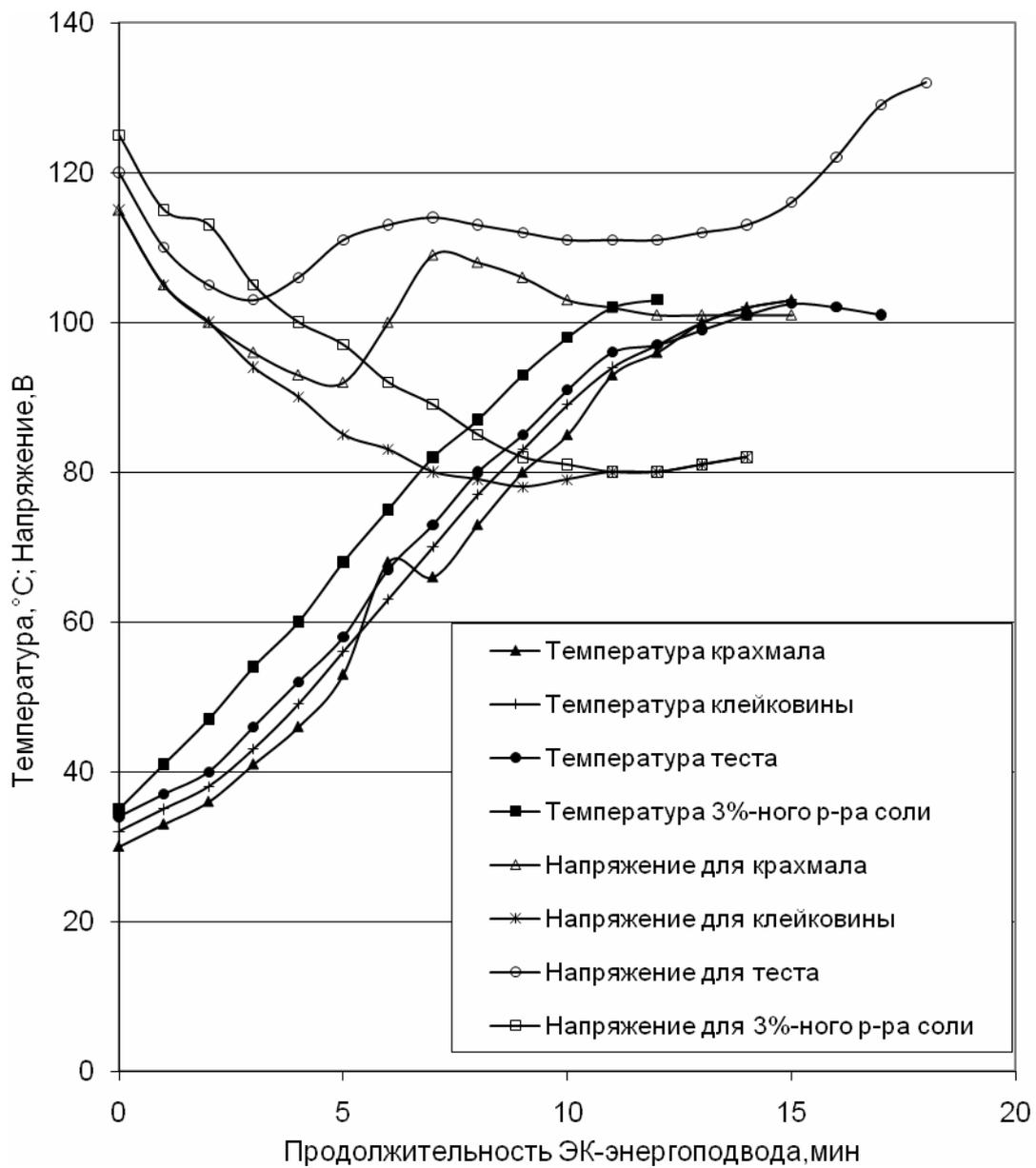


Рисунок В.1 – Зависимость напряжения и температуры теста и основных его компонентов от продолжительности ЭК-нагрева

Приложение Г (обязательное)

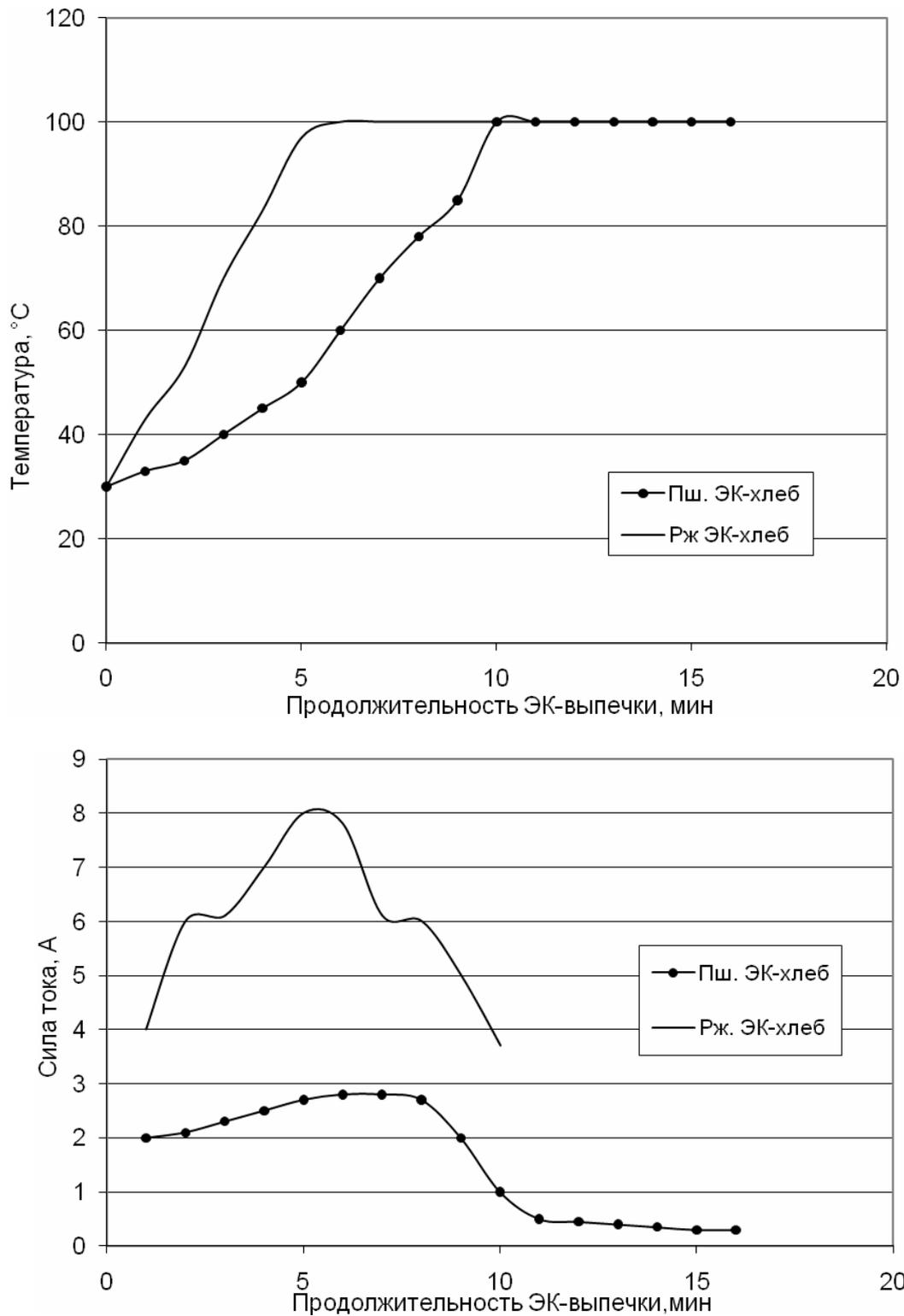


Рисунок Г.1 – Изменение температуры теста-хлеба и силы тока в процессе ЭК-выпечки пшеничного и ржаного хлеба

Приложение Д (обязательное)

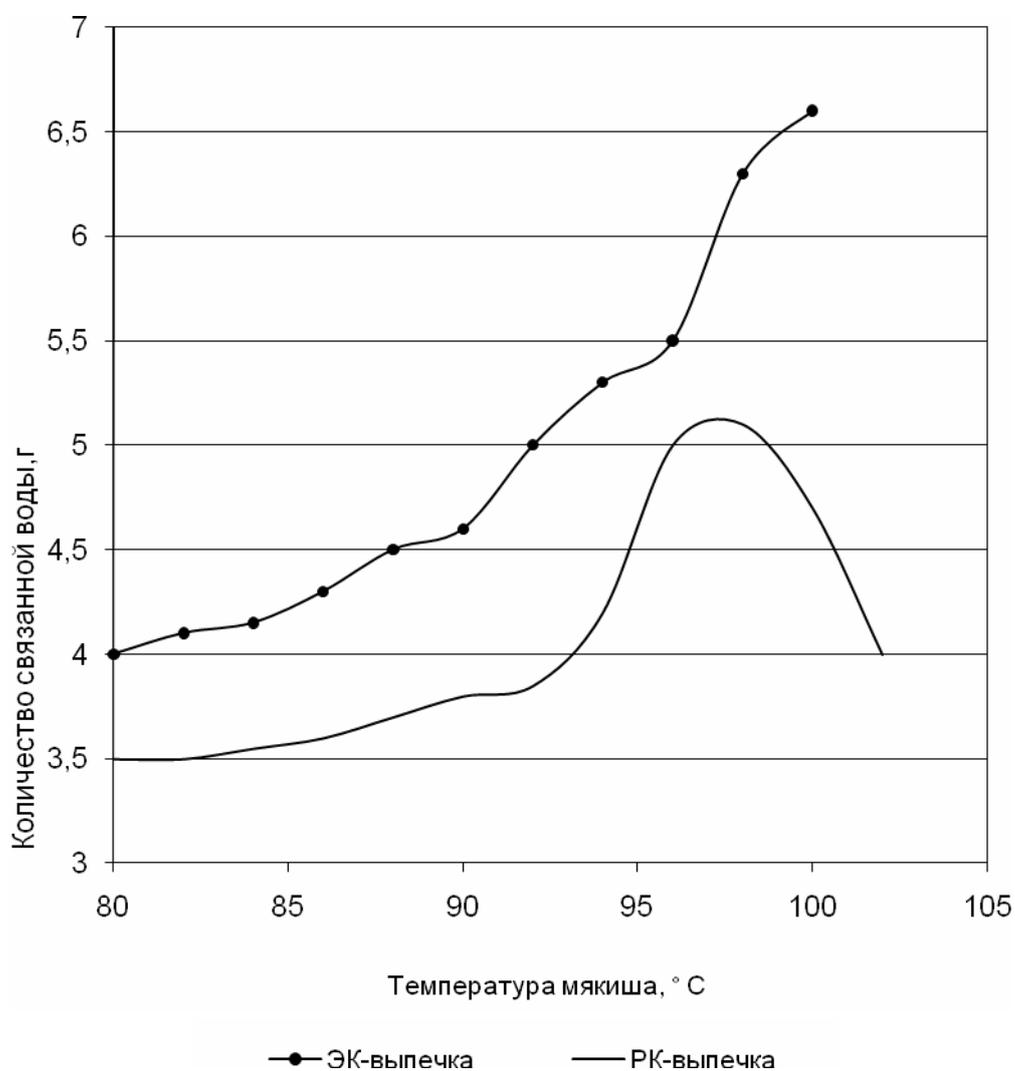


Рисунок Д.1 – Изменение количества воды, связываемой коллоидами теста-хлеба, при прогреве его в процессе ЭК-выпечки

Приложение Е (обязательное)

Таблица Е.1 – Шкала органолептической оценки качества бескоркового хлеба

Показатели качества хлеба	Коэффициент весоности показателя	Численное значение уровней качества, баллы	Характеристики уровней качества хлеба
1	2	3	4
Внешний вид	3	5	<p>Форма правильная, соответствующая хлебной форме, в которой производится выпечка, с куполообразной верхней поверхностью. Поверхность изделия гладкая, без единичных трещин и подрывов. Допускается незначительная шероховатость боковых поверхностей. Пористость равномерная, поры мелкие, тонкостенные.</p>
		4	<p>Форма правильная с несколько выпуклой верхней поверхностью. Поверхность изделия гладкая, единичные мелкие пузыри, едва заметные мелкие трещины и подрывы. Незначительная шероховатость боковых поверхностей. Пористость достаточно равномерная, поры мелкие и средние или только средние, тонкостенные.</p>
		3	<p>Форма правильная, с плоской верхней поверхностью. Поверхность пузырчатая, шероховатая, заметные, но не крупные трещины и подрывы, едва заметные рубцы. Пористость неравномерная, поры различной величины и средней толщины.</p>
		2	<p>Форма неправильная с плоской верхней поверхностью. Поверхность заметно пузырчатая, бугорчатая, крупные трещины и подрывы, едва заметные рубцы, морщинистая. Поры очень мелкие, недоразвитые, толстостенные, незначительное количество плотных, беспористых участков, незначительные пустоты</p>
		1	<p>Форма мятая, разорванная верхняя поверхность. Значительное количество плотных (беспористых) участков.</p>

Продолжение таблицы Е.1

1	2	3	4
Консистенция	4	5	Мягкий, нежный, эластичный мякиш. Мякиш сочный, хорошо разжевываемый.
		4	Мякиш мягкий, эластичный. Мякиш достаточно нежный, слегка суховатый, хорошо разжевывается.
		3	Удовлетворительно мягкий (немного уплотненный), эластичный мякиш. При разжевывании немного грубый, суховатый, слегка комкуется.
		2	Заметно уплотненный, но эластичный или мягкий, заметно заминающийся мякиш. При разжевывании заметно грубый, сухой, крошится или слегка мажется, заметно комкуется.
		1	Сильно заминающийся, влажный на ощупь, липкий мякиш. При разжевывании сильно комкуется, мажется, клейкий, ощущается хруст от минеральных примесей.
Вкус	10	5	Вкус хорошо пропеченного хлеба из хорошо выброженного теста, выраженный хлебный.
		4	Выраженный хлебный.
		3	«Пустой», слабовыраженный хлебный.
		2	Пресноватый, слегка кислый, слегка тестовый, хлебный не выражен.
		1	Совершенно пресный, дрожжевой, резкокислый, пересоленный, горький, не хлебный, посторонний, неприятный.
Запах	3	5	Аромат хорошо пропеченного хлеба из хорошо выброженного теста, выраженный хлебный.
		4	Хлебный выраженный.
		3	Хлебный слабо выражен, дрожжевой, кислый, тестовый.
		2	«Пустой», спиртовой, не выраженный хлебный, слегка посторонний, но приемлемый.
		1	Запах невыброженного теста, сильнокислый, плесневый, затхлый, посторонний, неприятный.

Приложение Ж (обязательное)

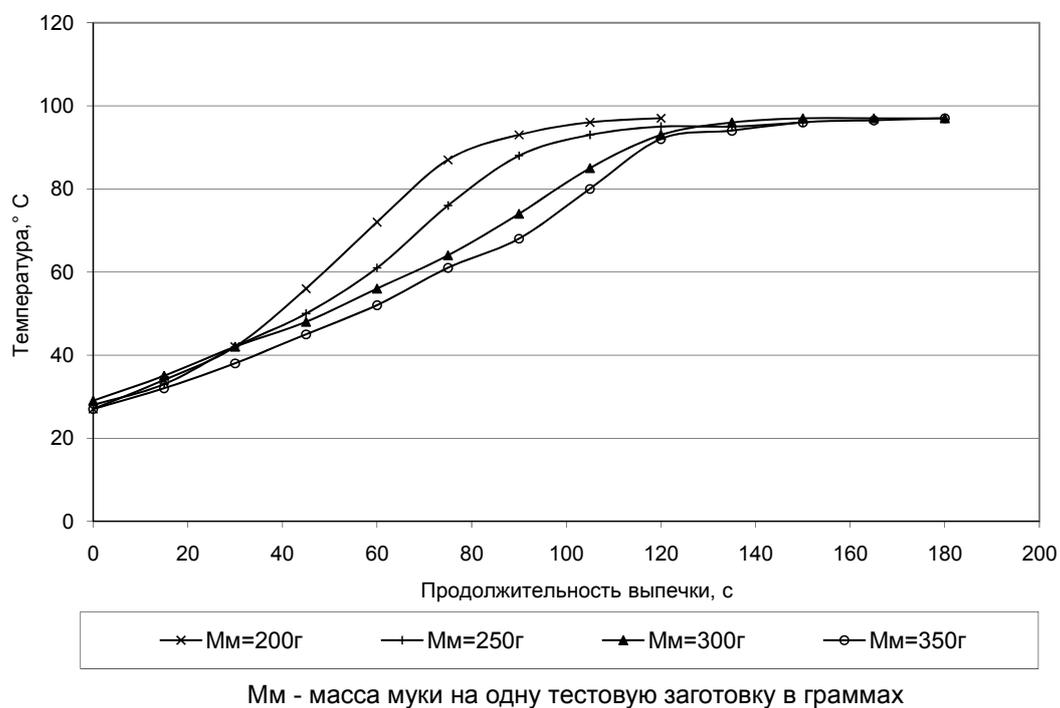
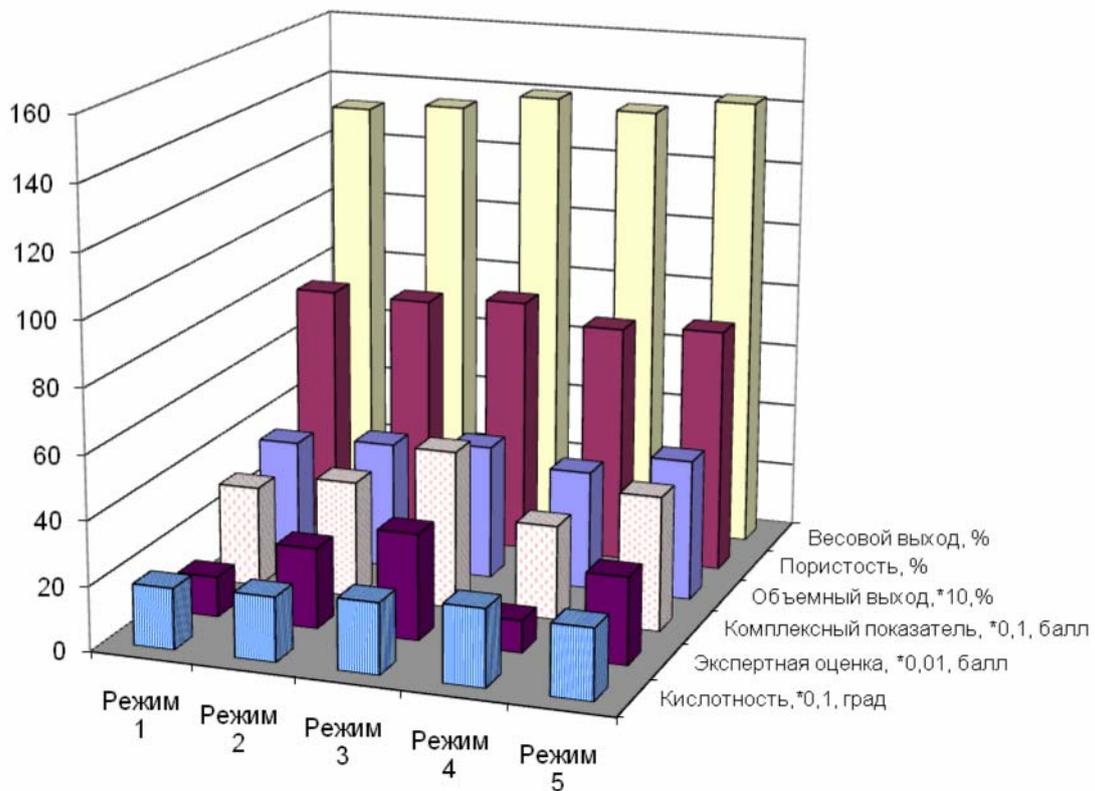


Рисунок Ж.1 – Кинетика изменения температуры при подводимом напряжении 380 В и различной величине тестовой заготовки

Приложение И (обязательное)



Режимы подачи напряжения на электроды:

- 1 – через 5 с в течение 5 с;
- 2 – через 10 с в течение 10 с;
- 3 – постоянный;
- 4 – через 60 с в течение 60 с;
- 5 – через 15 с в течение 30 с;

Рисунок И.1 – Влияние пульсирующего напряжения на показатели качества ЭК-хлеба

Приложение К (обязательное)

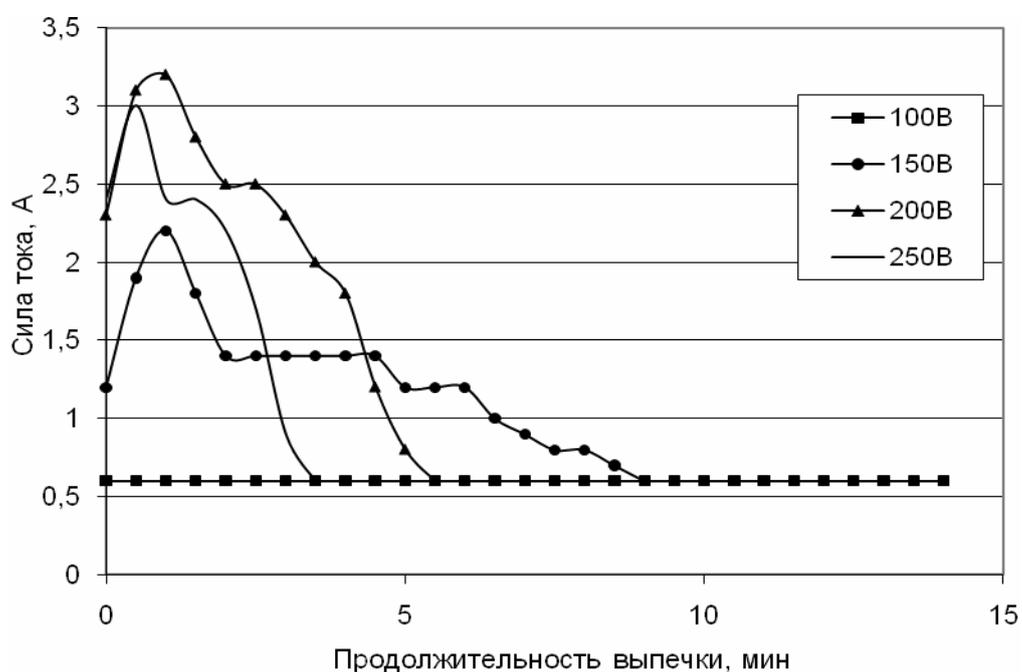


Рисунок К.1 – Кинетика изменения силы тока тестовой заготовки с массовой долей соли 0,65 %, выпекаемой ЭК-способом при различном напряжении

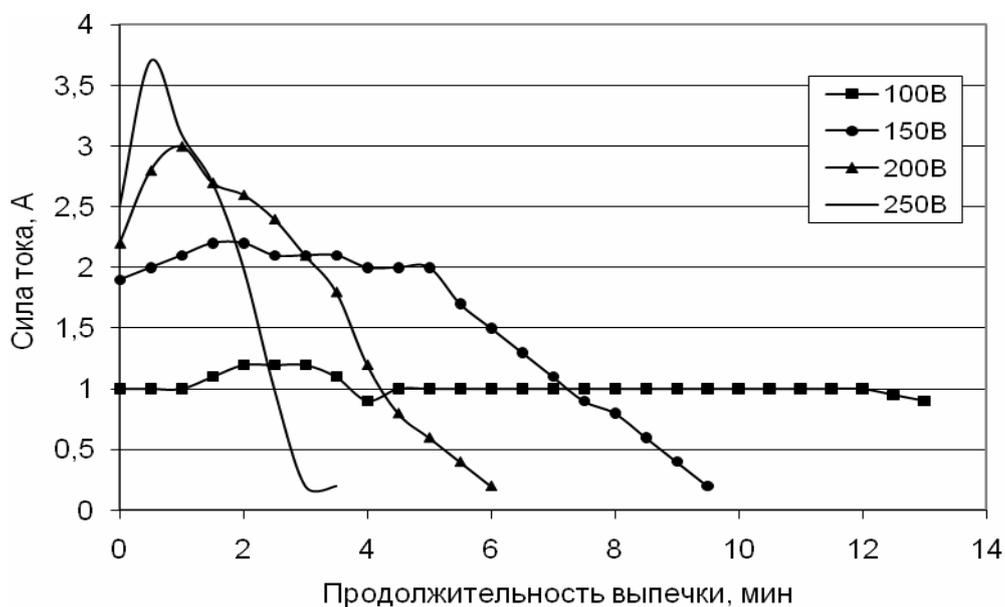


Рисунок К.2 – Кинетика изменения силы тока тестовой заготовки с массовой долей соли 0,65 %, выпекаемой ЭК-способом в вакууме при различном напряжении

Приложение Л (обязательное)

**Кинетика изменения силы тока при различном напряжении
ЭК-выпечки в вакууме и без вакуума для тестовых заготовок
с массовой долей соли 1,3 %**

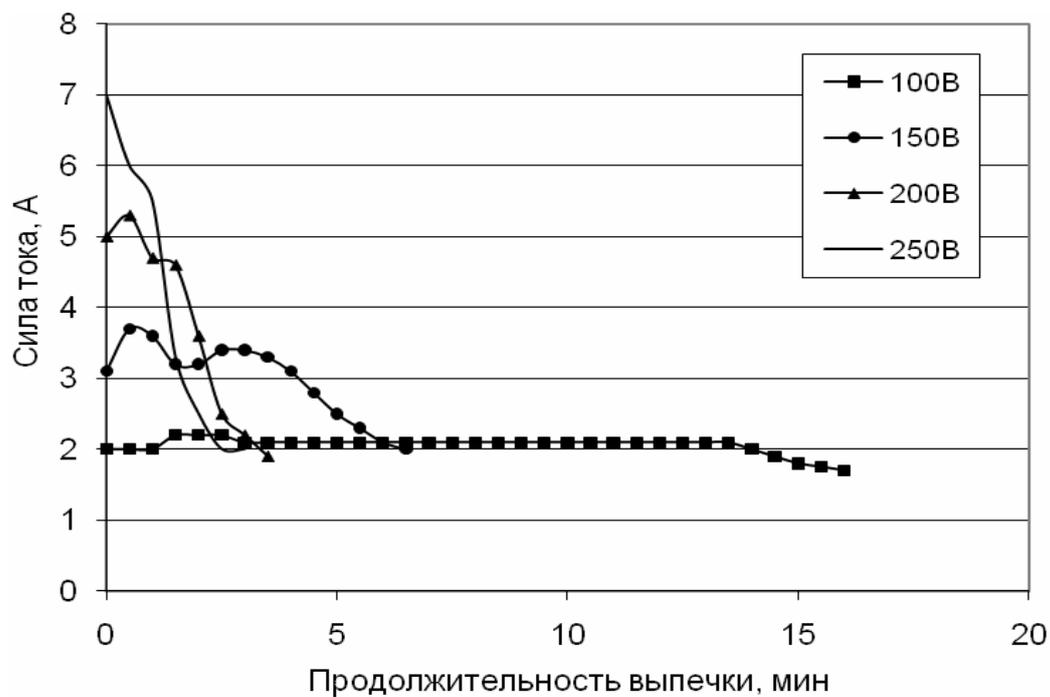


Рисунок Л.1 – Кинетика изменения силы тока тестовой заготовки с массовой долей соли 1,3 %, выпекаемой ЭК-способом при различном напряжении

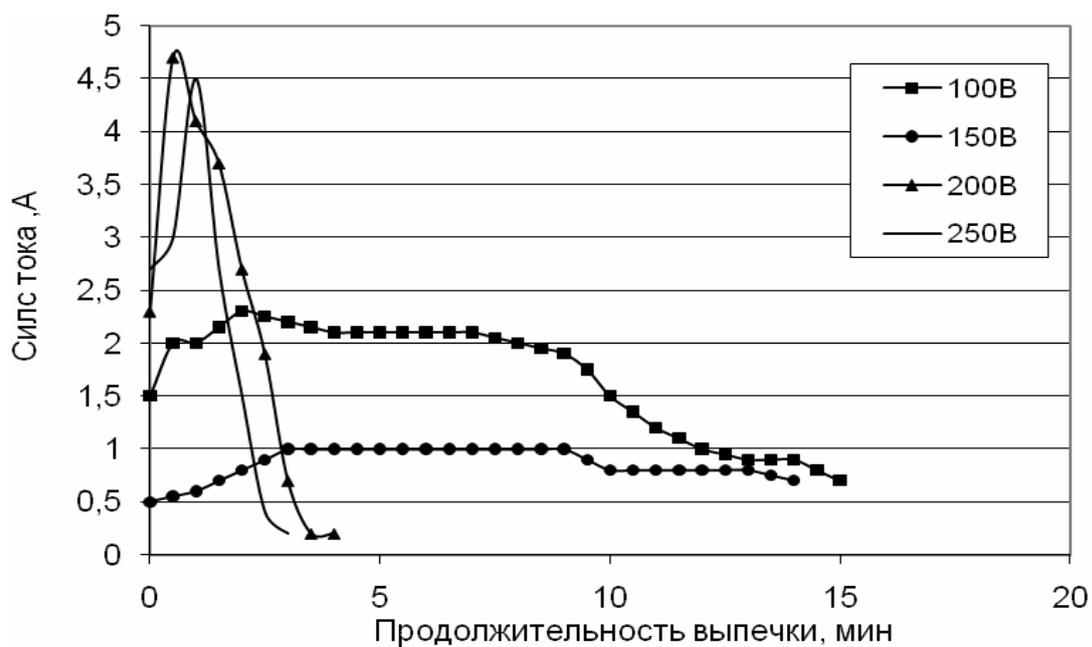


Рисунок Л.2 – Кинетика изменения силы тока тестовой заготовки с массовой долей соли 1,3 %, выпекаемой ЭК-способом в вакууме при различном напряжении

Приложение М (обязательное)

Показатели качества бескоркового хлеба и кинетика изменения силы тока при различных режимах ЭК-выпечки с вакуумированием после разогрева тестовых заготовок

Результаты, представленные в данном приложении, иллюстрируют эксперименты, направленные на определение роли характера вакуумирования пекарной камеры на процесс ЭК-выпечки и показатели качества бескоркового хлеба. Представлены результаты исследования варианта вакуумирования при постоянном откачивании воздуха после разогрева тестовой заготовки. При этом тестовую заготовку выпекали в течение определенного времени (от 0 до 60 с). После чего воздух из пекарной камеры откачивался до степени разрежения 40 кПа. Затем выпечку продолжали до момента готовности хлеба.

На рисунках М.1 и М.2 представлены результаты экспериментов при следующих режимах ЭК-выпечки в вакууме:

– режим 1 – тестовую заготовку помещали в вакуум-камеру, воздух разрежали до 40 кПа, после чего проводили ЭК-выпечку до момента готовности хлеба;

– режим 2, 3, 4, 5, 6 – тестовую заготовку выпекали в течение 10, 20, 30, 40, 60 с соответственно, после чего воздух из пекарной камеры откачивали до степени разрежения 40 кПа, затем выпечку продолжали до момента готовности хлеба.

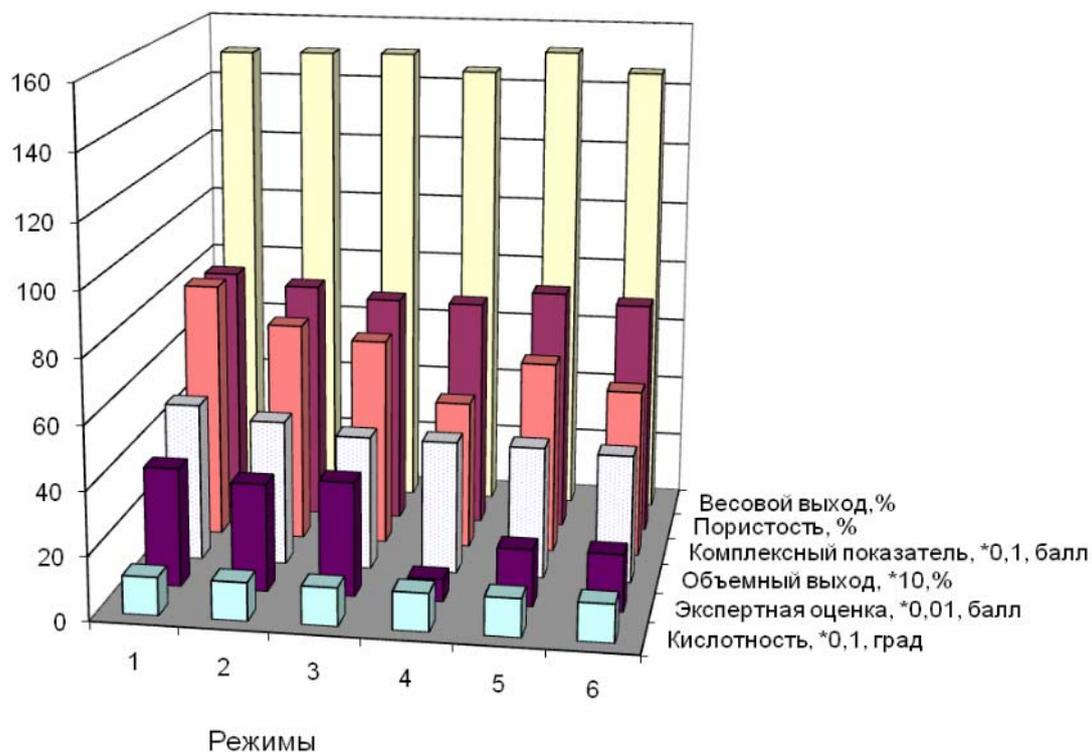


Рисунок М.1 – Показатели качества бескоркового ЭК-хлеба, выпекаемого при различных режимах с вакуумированием после разогрева тестовых заготовок

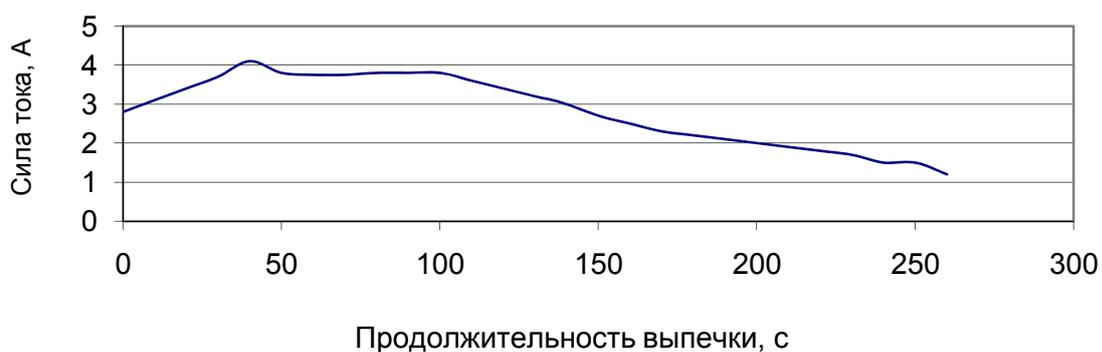


Рисунок М.2 – Кинетика изменения силы тока при режиме 1 ЭК-выпечки с вакуумированием после разогрева тестовых заготовок

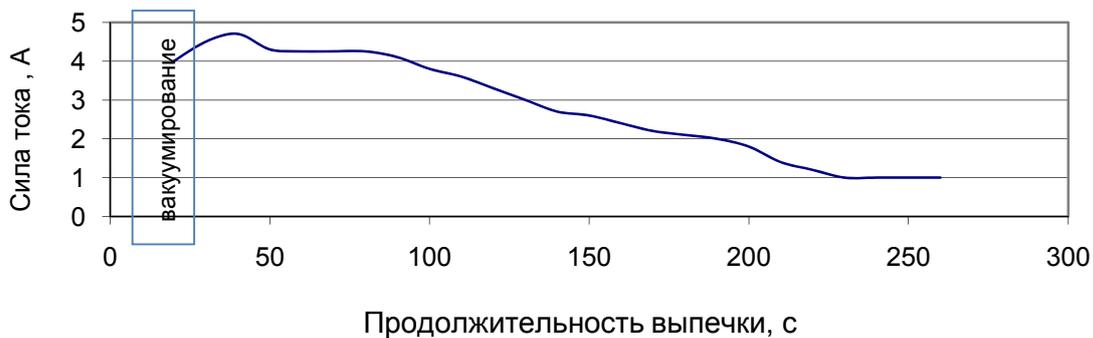


Рисунок М.3 – Кинетика изменения силы тока при режиме 2 ЭК-выпечки с вакуумированием после разогрева тестовых заготовок

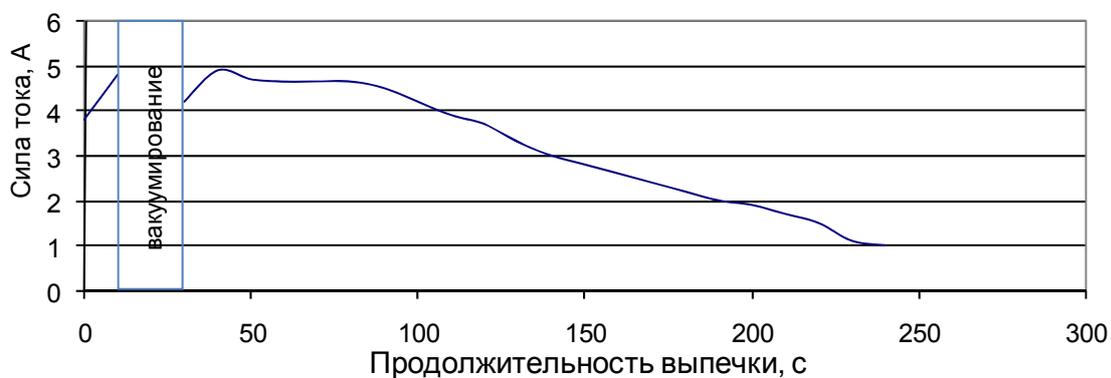


Рисунок М.4 – Кинетика изменения силы тока при режиме 3 ЭК-выпечки с вакуумированием после разогрева тестовых заготовок

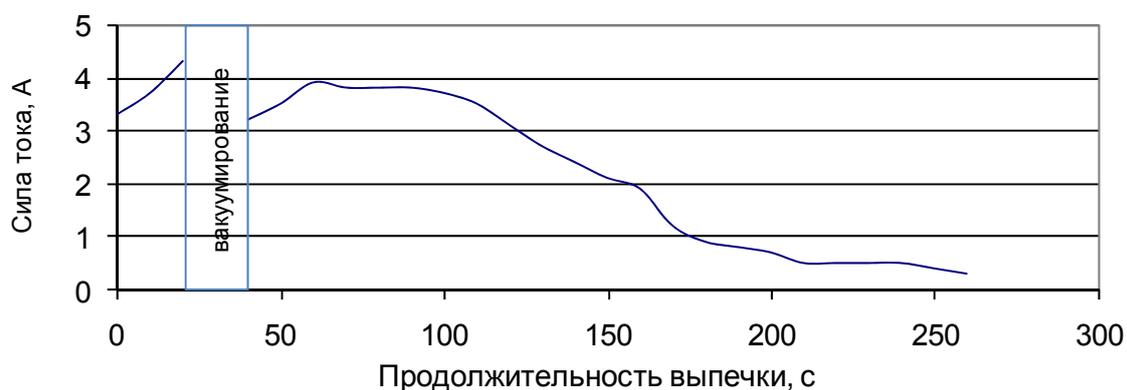


Рисунок М.5 – Кинетика изменения силы тока при режиме 4 ЭК-выпечки с вакуумированием после разогрева тестовых заготовок



Рисунок М.6 – Кинетика изменения силы тока при режиме 5 ЭК-выпечки с вакуумированием после разогрева тестовых заготовок

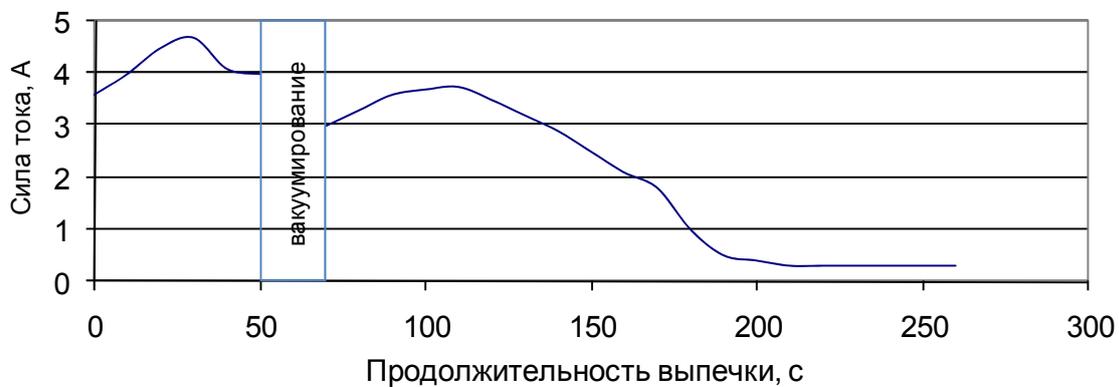


Рисунок М.7 – Кинетика изменения силы тока при режиме 6 ЭК-выпечки с вакуумированием после разогрева тестовых заготовок

Приложение Н (обязательное)

Показатели качества бескоркового хлеба и кинетика изменения силы тока при различных режимах ЭК-выпечки с вакуумированием до разогрева тестовых заготовок

Результаты, представленные в данном приложении, иллюстрируют эксперименты, направленные на определение роли характера вакуумирования пекарной камеры на процесс ЭК-выпечки и показатели качества бескоркового хлеба. Представлены результаты исследования варианта вакуумирования при разрежении воздуха пекарной камеры до предварительного разогрева тестовой заготовки. При этом расстояющуюся тестовую заготовку помещали в вакуум-камеру, воздух разрежали до 40 кПа, проводили ЭК-прогрев тестовой заготовки в течение определенного времени (от 0 до 60 с), после этого тестовая заготовка выдерживалась в течение 5 минут под вакуумом и затем допекалась до готовности. Контролем служил хлеб, выпеченный в условиях вакуумирования без предварительного разогрева тестовой заготовки.

На рисунках Н.1 и Н.2 представлены результаты экспериментов при следующих режимах ЭК-выпечки в вакууме:

- режим 1 – тестовую заготовку помещали в вакуум-камеру и проводили ЭК-выпечку;
- режим 2 – тестовую заготовку помещали в вакуум-камеру, воздух разрежали до 40 кПа, после чего проводили ЭК-выпечку до момента готовности хлеба;
- режим 3, 4, 5 – тестовую заготовку помещали в вакуум-камеру, воздух разрежали до 40 кПа, затем проводили ЭК-выпечку 60, 40, 35 с соответственно, далее выдерживали тестовую заготовку под вакуумом 5 мин, после чего выпечку продолжали до момента готовности хлеба

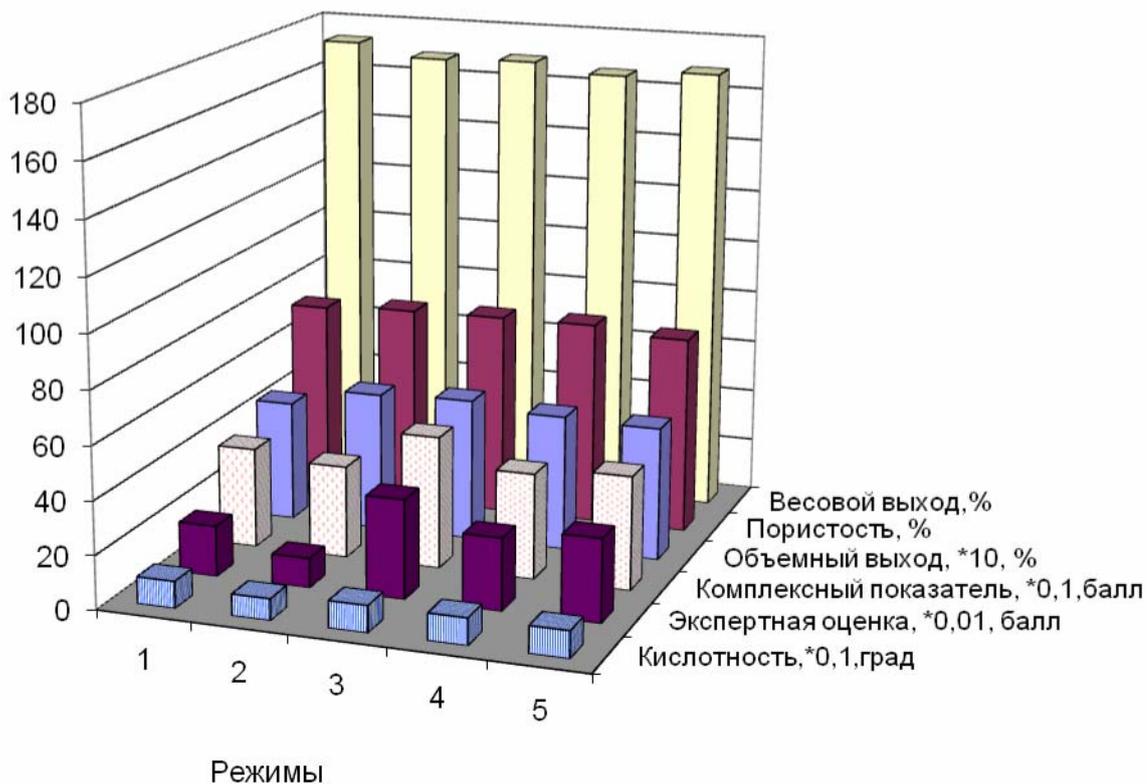


Рисунок Н.1 – Показатели качества бескоркового ЭК-хлеба, выпекаемого при различных режимах с вакуумированием до разогрева тестовых заготовок

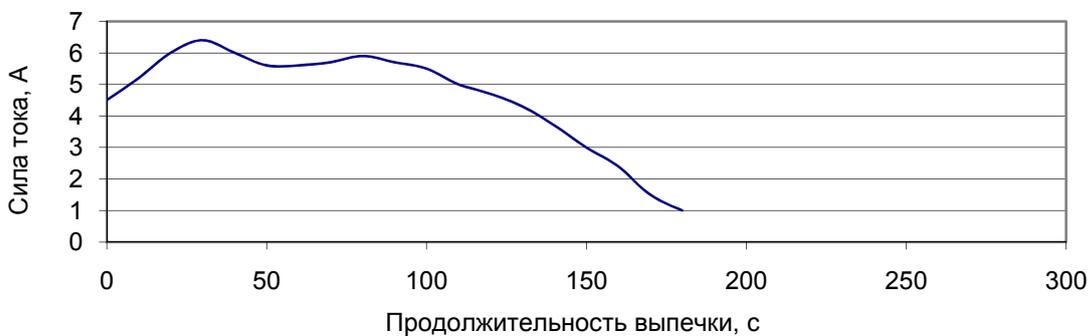


Рисунок Н.2 – Кинетика изменения силы тока при режиме 1 ЭК-выпечки с вакуумированием до разогрева тестовых заготовок

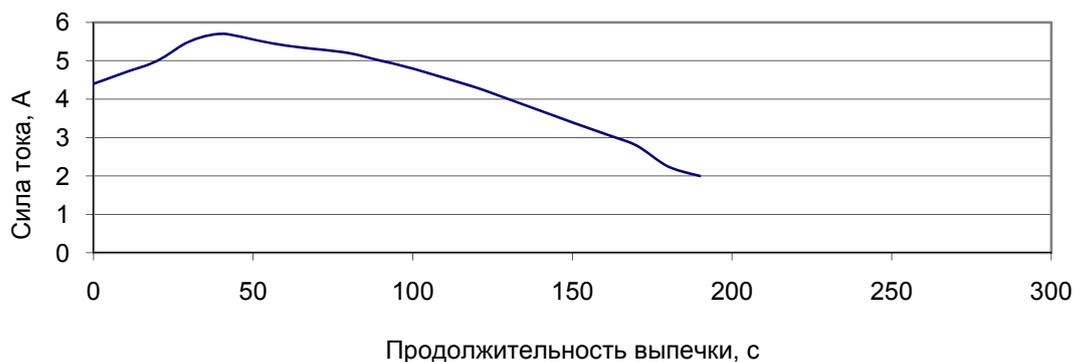


Рисунок Н.3 – Кинетика изменения силы тока при режиме 1 ЭК-выпечки с вакуумированием до разогрева тестовых заготовок

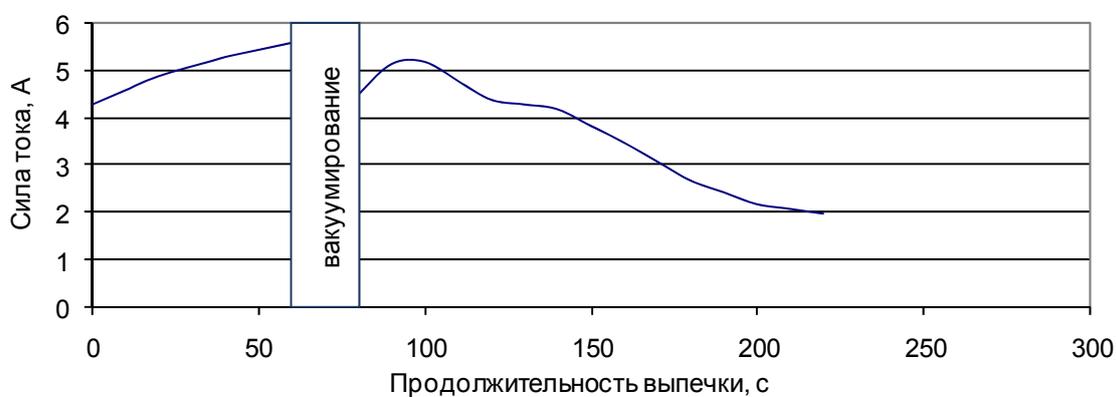


Рисунок Н.4 – Кинетика изменения силы тока при режиме 1 ЭК-выпечки с вакуумированием до разогрева тестовых заготовок

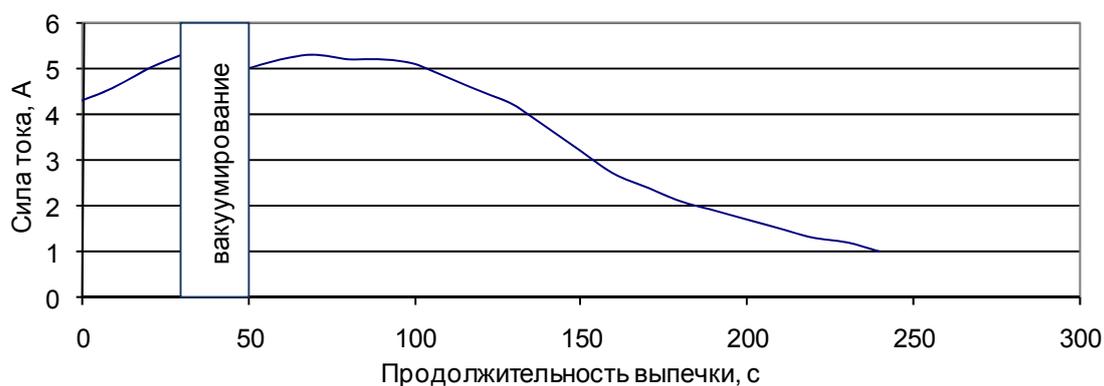


Рисунок Н.5 – Кинетика изменения силы тока при режиме 1 ЭК-выпечки с вакуумированием до разогрева тестовых заготовок



Рисунок Н.6 – Кинетика изменения силы тока при режиме 1 ЭК-выпечки с вакуумированием до разогрева тестовых заготовок

Приложение II

(обязательное)

Таблица П.1 - Качественная оценка взаимосвязи процессов, протекающих при ЭК-выпечке и параметров эффекта

Процессы, протекающие при ЭК-выпечке	Возмущающие параметры	Управляющие параметры	Наблюдаемые параметры	Управляемые параметры
1	2	3	4	5
Освобождение воды денатурированным белком	dw_B, dp_p, dt_T	U, p_B, w_B, p_p, t_T	СМС, $t_{ТХ}$, I, pH	П, ЭКО, ЭН
Набухание крахмала	dw_B, dp_p, dt_T	U, p_B, w_B, p_p, t_T	СМС, $t_{ТХ}$, I, pH	П, ЭКО, ЭН
Активность амилолитических ферментов	dw_B, dw_C, dw_D, dt_T	$U, p_B, w_B, w_C, w_D, t_T$	Активность амилаз, автолитическая активность, pH	Ов, П, К, В, W, ЭКО
Активность протеолитических ферментов (ПФ)	dw_B, dw_C, dw_D, dt_T	$U, p_B, w_B, w_C, w_D, t_T$	Суммарная активность ПФ	К, ЭКО
Снижение содержания крахмала	dw_B, dw_C, dw_D, dt_T	$U, p_B, w_B, w_C, w_D, t_T$	Содержание крахмала, декстринов, сахаров, СМС	Ов, П, К, В, W, ЭКО, ЭН
Образование углекислого газа	$dw_B, dw_C, dw_D, p_p, dt_T$	$U, p_B, w_B, w_C, w_D, p_p, t_T$	Интенсивность выделения CO_2	Ов, ЭКО, П, В, ЭН
Образование спирта, органических кислот и др.	$dw_B, dw_C, dw_D, dp_p, dt_T$	$U, p_B, w_B, w_C, w_D, p_p, t_T$	pH	К, ЭКО, П, В, Ов, ЭН
Увеличение количества водорастворимых веществ	$dw_B, dw_C, dw_D, dp_p, dt_T$	$U, p_B, d, w_B, w_C, w_D, p_p, t_T$	Количество водорастворимых веществ	W, В, ЭКО, ЭН
Образование клейковинного каркаса	dt_T	U, p_B, d, t_T	$t_{ТХ}$, СМС	Ов, П, В, ЭКО, ЭН

Продолжение таблицы П.1

1	2	3	4	5
Тепловое расширение пузырьков воздуха, углекислого газа и др.	dt_T, dp_p	U, p_B, d, t_T, p_p	$t_{ТХ}, I$	Ов, П, В, Эн
Жизнедеятельность молочнокислых бактерий	$dw_{д}, dw_{с}, dw_{в}, dp_p, dt_T$	$U, p_B, w_{д}, w_{с}, w_{в}, p_p, t_T$	Активность МКБ, размножение МКБ, рН	К, П, В, ЭкО, Ов
(МКБ) Жизнедеятельность дрожжей	$dw_{д}, dw_{с}, dw_{в}, dp_p, dt_T$	$U, p_B, w_{д}, w_{с}, w_{в}, p_p, t_T$	Подъемная сила, размножение дрожжей, рН	К, П, В, ЭкО, Эн

Пояснения к таблице П.1:

$dw_{в}, dw_{д}, dw_{с}$ – отклонения в массовой доле (воды, дрожжей, соли);

$w_{в}, w_{д}, w_{с}$ – массовая доля (воды, дрожжей, соли);

p_p, p_B – продолжительность (расстойки, выпечки);

dp_p – отклонение в продолжительности расстойки;

dt_T – отклонение в температуре теста;

$t_T, t_{ТЗ}, t_{ТХ}$ – температура (теста, тестовой заготовки, теста-хлеба);

U – объемное напряжение;

d – степень разрежения пекарной камеры;

П – пористость;

К – кислотность;

ЭкО – экспертная оценка;

Эн – энергоемкость;

В – весовой выход хлеба;

Ов – объемный выход;

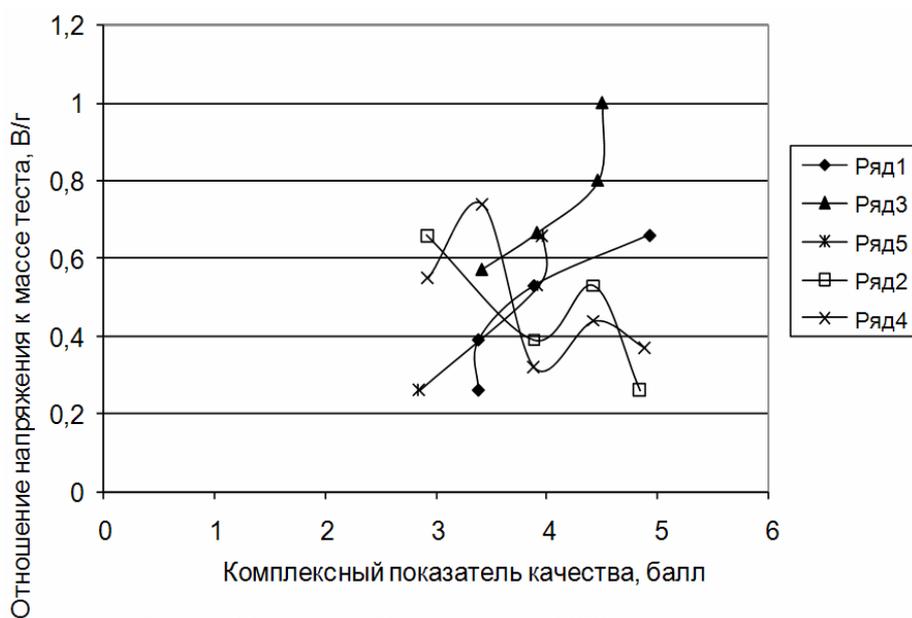
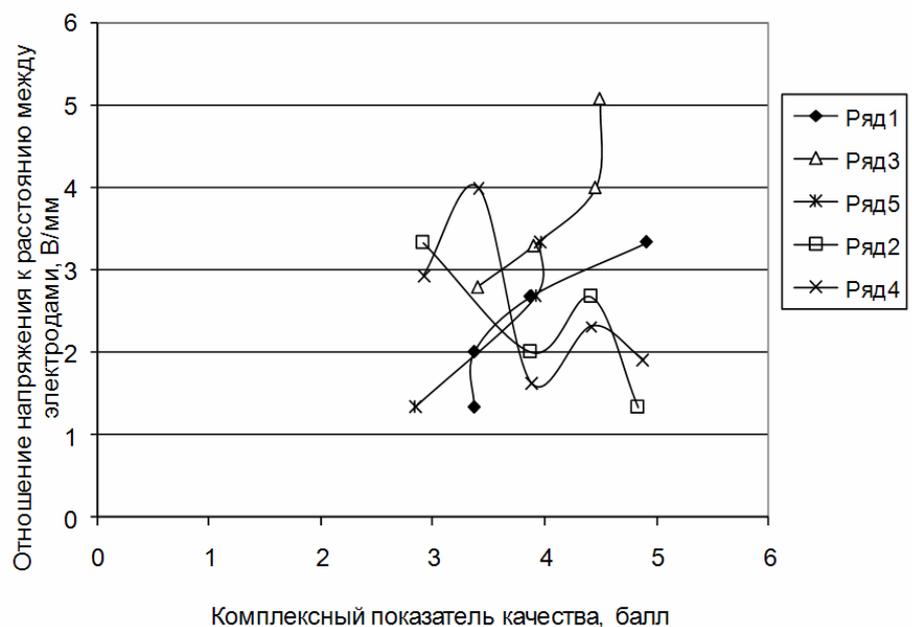
W – влажность хлеба;

I – сила тока,

СМС – структурно-механические свойства – реологические характеристики теста-хлеба

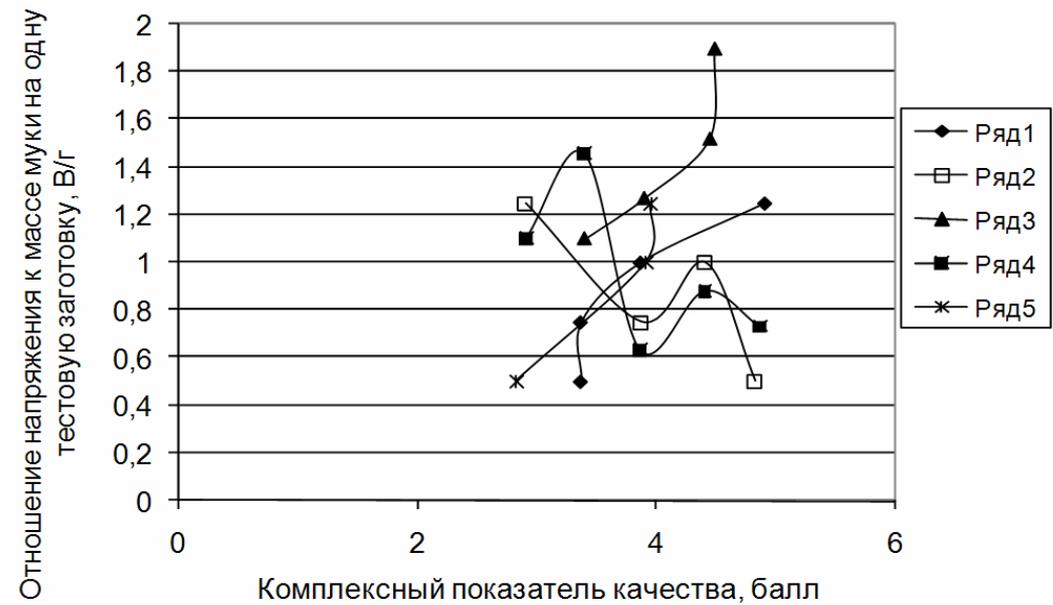
Приложение Р (обязательное)

Взаимосвязь комплексного показателя качества и различных параметров ЭК-выпечки



Ряд 1 - ЭК-выпечка(В) при $M_{\text{соли}}=0,65\%$ и различном напряжении(U); Ряд 2 - ЭКВ при $M_{\text{соли}}=1,3\%$ и различном U;
Ряд 3 - ЭКВ при U=380В и различном расстоянии между электродами(A); Ряд 4 - ЭКВ в вакууме при различном A;
Ряд 5 - ЭКВ в вакууме при различном U.

Рисунок Р.1 – Взаимосвязь комплексного показателя качества ЭК-хлеба и параметров, характеризующих отношение напряжения к расстоянию между электродами и отношение напряжения к массе теста



Ряд 1 - ЭК-выпечка(В) при $M_{\text{соли}}=0,65\%$ и различном напряжении(U); Ряд 2 - ЭКВ при $M_{\text{соли}}=1,3\%$ и различном U; Ряд 3 - ЭКВ при $U=380\text{В}$ и различном расстоянии между электродами(A); Ряд 4 - ЭКВ в вакууме при различном A; Ряд 5 - ЭКВ в вакууме при различном U.

Рисунок Р.2 – Взаимосвязь комплексного показателя качества ЭК-хлеба и параметров, характеризующих отношение напряжения к массе муки на одну тестовую заготовку и отношение напряжения к объему хлеба