

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ВОРОНЕЖСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

На правах рукописи

Рыжов Виталий Викторович



НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЦЕССА СБИВАНИЯ
ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ХЛЕБА ИЗ ПШЕНИЧНОЙ МУКИ

Специальность 05.18.12-«Процессы и аппараты пищевых производств»

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
профессор Магомедов Г.О.

Воронеж - 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОГЛАВЛЕНИЕ	2
ВВЕДЕНИЕ	5
Глава 1. Обзор литературных источников	9
1.1. Анализ существующих тестомесильных машин для приготовления хлебопекарного теста.....	9
1.2. Анализ способов производства хлебобулочных изделий.....	16
1.3. Научные и практические основы формирования структуры сбивного теста.....	21
1.3.1. Механизм образования структуры сбивного теста.....	38
1.4. Теория подобия.....	40
1.5. Основные типы конструкций печей, их классификация.....	41
1.6. Тепловое излучение.....	44
1.7. Цель и задачи исследования.....	47
Глава 2. Объекты и методы исследований	48
2.1. Экспериментальная установка с горизонтально расположенным месильным органом и методика проведения эксперимента.....	48
2.1.1. Влияние продолжительности сбивания на качество сбивного полуфабриката.....	48
2.1.2. Влияние давления сжатого воздуха на качество сбивного полуфабриката.....	49
2.1.3. Влияние частоты вращения месильного органа на качество полуфабриката.....	50
2.1.4. Влияние формы месильного органа на энергетические характеристики сбивания и качество бездрожжевого полуфабриката.....	52

2.1.5. Недостатки установки с горизонтально расположенным месильным органом.....	56
2.2. Экспериментальная установка с вертикально расположенным месильным органом и методика проведения эксперимента.....	57
2.2.1. Влияние давления сжатого воздуха на качество сбивного полуфабриката.....	58
2.2.2. Влияние частоты вращения месильного органа на качество сбивного полуфабриката.....	58
2.2.3. Сравнение образцов теста и хлеба, полученных на разных установках при одинаковых условиях сбивания.....	60
2.2.4. Влияние расположения месильной камеры на качество полуфабриката.....	62
2.3. Установка для приготовления хлебопекарного теста механическим способом разрыхления в промышленных условиях.....	63
2.3.1. Влияние заполнения месильной камеры промышленной сбивальной машины на качество сбивного полуфабриката	65
2.3.2. Моделирование и оптимизация параметров замеса сбивного полуфабриката.....	66
Глава 3. Интенсификация процесса перемешивания.....	71
3.1. Применение твердой фазы воды в процессе перемешивания бездрожжевого теста.....	72
3.3. Модель перемешивания бездрожжевого теста.....	74
3.3. Модель насыщения бездрожжевого теста воздухом.....	93

Глава 4. Исследование процесса выпечки сбивного теста и модернизация конструкции печи.....	98
4.1. Процессы, проходящие в сбивном тесте – хлебе при выпечке...	99
4.2. Внутренний тепло и массоперенос в процессе выпечки.....	101
4.3. Основы теплопередачи в печах.....	105
4.4. Выпечка сбивного хлеба в конвекционной кондитерской печи в штатном режиме, а так же с применением КУНов (кварцевые углеродные нагреватели).....	107
4.4.1. Особенности наладки печей с электрообогревом.....	107
4.4.2. Применение КУНов (кварцевых углеродных нагревателей) в промышленности и их устройство.....	109
4.4.3. Влияние КУНов на время выпечки и качество сбивного хлеба...	110
ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.....	115
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	116
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	130

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы.

Решение проблемы качества и безопасности пищевых продуктов зависит не только от изменения состава ингредиентов и сбалансированности структуры питания, но и от оборудования, обеспечивающего требуемые показатели. Особенно остро эта задача стоит в хлебопекарной отрасли при отработке инновационной технологии получения хлебобулочных изделий на основе сбивного теста.

Наиболее энергоемкими процессами при приготовлении сбивного полуфабриката являются процессы перемешивания и сбивания, которые в значительной мере отражают качество и себестоимость готовой продукции.

Разрешение основного технического противоречия между энергозатратами и производительностью при интенсивных замесах открывает реальные возможности в развитии этого процесса при строгих ограничениях, накладываемых на показатели качества готовых изделий.

Научные достижения в данной области подготовили условия для численно-аналитического моделирования этого процесса с возможностью использования полученных результатов при проектировании месильно-сбивальных машин нового поколения.

Существенный вклад в развитие технологии смешивания дисперсных систем, в том числе хлебопекарных и кондитерских внесены отечественными учеными Бакиным И.С., Иванец В.Н., Черных В.Я. Магомедовым Г.О., Пономаревой Е.И., и др. Однако для реализации научных достижений в области процессов смешивания и сбивания при производстве сбивного теста необходимо разработать экспериментальную и промышленную сбивальные установки и исследовать основные режимные параметры процессов и адаптировать их к машинной технологии сбивного хлеба. В настоящей работе приведены результаты исследований кинетики пенообразования системы мука-вода, как в лабораторных условиях, так и в промышленной машине, определены рациональные режимы

приготовления сбивного хлебопекарного теста, разработаны математические модели гомогенизации суспензии мука-вода и аэрации суспензии воздухом, исследовано влияния конструктивных элементов установок на качество сбивного полуфабриката и время его приготовления. Рассмотрены результаты применения дополнительных нагревательных элементов для выпечки сбивного хлеба.

Таким образом, разработка оборудования и технологий для приготовления сбивного бездрожжевого теста являются актуальными задачами.

Цель работы и задачи исследований. Целью работы является создание нового типа сбивальной машины и исследование ее режимов функционирования для определения рациональных технологических показателей теста.

В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи:

- 1) Анализ существующего оборудования для приготовления хлебопекарного теста;
- 2) Исследование кинетики процесса пенообразования системы «мука-вода»;
- 3) Определение рациональных режимов приготовления сбивного хлебопекарного теста;
- 4) Разработка математических моделей перемешивания бездрожжевого теста и насыщения теста воздухом;
- 5) Разработка и создание устройства для приготовления сбивного теста механическим способом разрыхления;
- 6) Исследование влияния конструктивных элементов установок на качество сбивного полуфабриката и определение времени его приготовления;
- 7) Применение дополнительных нагревательных элементов для выпечки сбивного хлеба.

Научная новизна работы.

Обоснована целесообразность получения хлебобулочных изделий в промышленных объемах путем механического разрыхления. Получено экспериментальное соотношение, учитывающее зависимость объемной массы теста и удельного объема хлеба от давления, частоты вращения месильного органа и продолжительности сбивания, обосновывающее получение рациональных режимов приготовления. Доказано, что наиболее эффективным устройством перемешивания сбиваемого теста является мешалка рамного типа с 4 элементами. На основе диффузионных представлений разработана математическая модель процесса перемешивания, позволяющая оценивать в динамике неоднородность перемешиваемого субстрата. Предложена математическая модель насыщения бездрожжевого теста воздухом, позволяющая прогнозировать степень насыщения сбивного теста воздухом. Для уменьшения времени приготовления сбивного теста с одновременным его охлаждением предложена технология добавления непереохлажденного льда с температурой не ниже -20°C .

Новизна технических решений подтверждена 3 патентами РФ №-2457681, 2462036, 2471351.

Теоретическая и практическая значимость.

Разработан действующий опытный образец сбивальной машины для приготовления сбивного хлебопекарного теста, защищенный патентом РФ № 2462036.

Предложена технология приготовления смеси рецептурных компонентов с использованием твердой фазы воды (Пат. РФ №-2471351).

Проведены промышленные апробации производства сбивных хлебобулочных изделий из смеси ржаной и пшеничной муки на ОАО «Хлебозавод № 7» г. Воронеж и ЗАО «Белогорье» г. Шебекино (акты производственных испытаний), подтвердившие положительные результаты исследований.

Научные положения, выносимые на защиту:

- Кинетика пенообразования в системе «мука-вода» в зависимости от различных технологических параметров.
- Регрессионная модель процесса приготовления сбивного теста.
- Математические модели перемешивания и сбивания бездрожжевого теста.
- Конструкция промышленной сбивальной машины.
- Способ перемешивания рецептурных компонентов с заменой части воды измельченным льдом.
- Выпечка сбивного хлеба с применением кварцевых углеродных нагревателей.

Апробация результатов исследований. Основные положения диссертационной работы были доложены и обсуждены в период с 2009 по 2012 гг. на отчетных научных конференциях Воронежского государственного университета инженерных технологий; Второй научно-технической конференции «Новое в технологии и технике пищевых производств» - (Воронеж, 2010), «Современное состояние и перспективы развития пищевой промышленности и общественного питания» (г. Челябинск, 2009); Международной научно-технической интернет-конференции «Энергосберегающие процессы и аппараты в пищевых и химических производствах (ЭПАХПП-2011)»; Межрегиональной научно-практической конференции «Современное хлебопекарное производство, перспективы его развития» (Екатеринбург, 2010); 49-ой отчетной научной конференции преподавателей и научных сотрудников ВГТА (Воронеж, 2010).

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Анализ существующих тестомесильных машин для приготовления хлебопекарного теста.

Для замеса хлебного теста применяются различные типы машин, которые в зависимости от вида муки, рецептурного состава и особенностей ассортимента оказывают различное механическое воздействие на тесто. Качество работы тестомесильных машин определяют органолептически и по показателям качества готовых изделий.

Как известно, тестомесильные машины разделяют на машины периодического и непрерывного действия. Первые бывают с месильными емкостями (дежами) стационарными и сменными (подкатными). Дежи бывают неподвижными, со свободным и принудительным вращением. В зависимости от интенсивности воздействия рабочего органа на обрабатываемое вещество и удельной работы, расходуемой на 1 г теста, тестомесильные машины разделяются на три группы:

обычные тихоходные, у которых рабочий процесс не сопровождается заметным нагревом теста, на замес расходуется 5-12 Дж/г;

быстроходные, или машины интенсивного замеса теста, рабочий процесс сопровождается нагревом теста на 5-7 °С, на замес расходуется 20-40 Дж/г;

супербыстроходные (суперинтенсивные) машины, замес сопровождается нагревом теста на 10-20 °С и требует устройства водяного охлаждения корпуса месильной камеры либо предварительного охлаждения воды, используемой для теста, на замес расходуется 30-45 Дж/г.

В зависимости от характера движения месильного органа различают машины с круговым, вращательным, планетарным, со сложным плоским и пространственным движением месильного органа.

По количеству конструктивно выделенных месильных камер, обеспечивающих необходимые параметры на различных стадиях замеса, различают одно, двух и многокамерные тестомесильные машины.

Тестомесильные машины периодического действия с подкатными дежами получили наиболее широкое распространение в виду своей универсальности. Основным недостатком такого типа тестомесильных машин является применение тяжелого ручного труда по перекатке деж.

Эти машины разделяют на следующие группы.

1. Тестомесильные машины с наклонной осью месильной лопасти и поступательным круговым движением последней. Частота качения месильного рычага не превышает 25 циклов в минуту и не может быть увеличена.

2. Тестомесильные машины с наклонной осью вращения месильной лопасти, выполненной в виде трубы с пространственной конфигурацией, описывающей при вращении двойной конус. Принятая конфигурация лопасти позволяет более рационально и с повышенной интенсивностью проводить замес теста.

3. Тестомесильные машины с месильной лопастью, рабочий конец которой совершает криволинейное плоской движение по замкнутой кривой. Основным их недостатком является большая амплитуда качения месильной лопасти, что и предопределяет тихоходность.

4. Тестомесильные машины с месильной лопастью, совершающей криволинейное пространственное движение по замкнутой кривой в виде эллипса. Принцип воздействия лопасти на тесто допускает существенную интенсификацию замеса.

5. Тестомесильные машины со спиралеобразной месильной лопастью, вращающейся вокруг вертикальной оси. Конструкция лопасти позволяет повысить скорость и интенсивность замеса. Для выкатывания дежи после замеса крышка с месильной лопастью выводится из дежи путем поворота на угол α или подъема месильной лопасти вместе с крышкой машины.

6. Тестомесильные машины с четырехпалой месильной лопастью, вращающейся вокруг вертикальной оси, и одной неподвижной вертикальной лопастью. При подкатывании дежи к машине ее крышка вместе с месильной и тормозной лопастями поворачивается на угол α . Эти машины отличаются высокой интенсивностью замеса.

7. Тестомесильные машины с горизонтальной цилиндрической или плоской лопастью, вращающейся вокруг вертикальной оси. Такие машины снабжаются подъемной дежой, которая в процессе замеса поднимается с помощью гидравлического или винтового подъемника и удерживается в крайнем верхнем положении. Эти машины позволяют вести интенсивный замес на больших скоростях с частотой вращения до 500 об/мин.

Тестомесильные машины периодического действия со стационарными дежами. Эти машины отличаются тем, что после замеса тесто выгружается из дежи в бродильную емкость или на транспортер. Машины характеризуются сравнительно большой мощностью привода и повышенной интенсивностью замеса. Делятся на следующие группы.

1. Тестомесильные машины с горизонтальными и наклонными под небольшим углом цилиндрическими месильными валами, вращающимися вокруг горизонтальной оси на разных расстояниях. К этой группе относятся тестомесильные машины устаревших конструкций.

2. Тестомесильные машины со спаренными Z-образными лопастями, вращающимися в разные стороны вокруг горизонтальной оси, снабжены стационарной поворотной емкостью. Применяются при замесе крутого теста: для баранок, пряников и др.

3. Тестомесильные машины с шарнирной Z-образной месильной лопастью, вращающейся вокруг горизонтальной оси и допускающей вращение концов лопасти с различной скоростью. Они позволяют вести интенсивный замес при сравнительно невысоких скоростях месильной лопасти, достигающей 90 об/мин.

4. Тестомесильные машины, у которых замес осуществляется с помощью многоугольного ротора и витка шнека, расположенных на дне цилиндрической вертикальной емкости, снабженной водяной рубашкой. Для усиления тормозного момента стенки цилиндра имеют специальные выступы. Такие машины могут производить высокоинтенсивный замес в герметичной емкости под вакуумом или при избыточном давлении. Однако не пригодны для приготовления сбивного бездрожжевого теста из-за невысокой скорости вращения месильного органа.

Тестомесильные машины непрерывного действия.

Тестомесильные машины непрерывного действия обычно имеют стационарную месильную емкость и расположенные в ней вращающиеся или совершающие круговое движение месильные лопасти. Интенсивность замеса здесь может быть повышена за счет применения тормозных лопастей или выступов, располагаемых на стенках месильной камеры. Иногда для этих целей применяют спаренные месильные камеры, в которых лопасти вращаются на встречу друг другу. Эти машины разделяют на следующие группы.

1. Однокамерные тестомесильные машины с горизонтальным валом и Т-образными месильными лопастями относятся к машинам со слабым механическим воздействием на тесто при замесе и ограниченной частотой вращения месильного вала, поскольку при повышении последней тесто залипает на валу и ухудшается перемешивание массы.

2. Одновальные тестомесильные машины с горизонтальным валом, на котором в начале месильной емкости размещены трапецеидальные плоские лопасти, а в конце винтовой шнек, заключенный в цилиндрический корпус. Это позволяет создавать в месильной камере две зоны с различным режимом работы: первая зона-смешивание, вторая-пластификация. Такие машины обеспечивают сравнительно высокую интенсивность замеса при частоте вращения месильного вала до 260 об/мин.

3. Одновальная тестомесильная машина с горизонтальным валом, на котором в начале размещен смесительный шнек с небольшой рабочей высотой пера, а затем радиальные цилиндрические лопатки. Для повышения интенсивности воздействия в корпусе месильной камеры закреплен ряд штифтов, их наличие позволяет повысить частоту вращения месильного вала и интенсивность замеса.

4. Одновальная тестомесильная машина с горизонтальным валом, в начале которого закреплен шнек, а затем дисковая диафрагма и четырехлопастный пластификатор. В этой машине различное воздействие на отдельных стадиях замеса достигается изменением конструкции элементов месильных органов, работающих при одинаковой частоте вращения.

5. Одновальная тестомесильная машина с горизонтальной осью вращения, на которой в цилиндрической камере размещен шнековый барабан с независимым приводом, в конической камере на валу закреплены месильные прямоугольные лопатки. Эта схема обеспечивает высокоинтенсивный замес и независимое регулирование интенсивности его отдельных стадий, выходной патрубок выполняет роль пластификатора теста.

6. Двухвальные тестомесильные машины с горизонтальными валами, на которых закреплены Т-образные месильные лопасти. Эти машины имеют многоступенчатый привод, их конструкция позволяет повысить интенсивность замеса, но на всех стадиях осуществляется однотипное и одинаковой интенсивности воздействие на тесто. Неудобны выгрузка и зачистка машины от теста.

7. Двухвальные тестомесильные машины с горизонтальными валами, вращающимися в разные стороны и закрепленными на них ленточными спиральными лопастями. Выходное отверстие машины снабжено регулируемой заслонкой, позволяющей регулировать степень заполнения камеры тестом, интенсивность замеса и его длительность. В этой схеме, как и

в предыдущей на всех стадиях замеса на тесто оказывается одинаковое воздействие.

8. Двухкамерные двухвальные тестомесильные машины, на валах которых закреплены винтообразные лопасти, обслуживающие зоны смешивания и замеса, имеющие индивидуальный привод, а зона пластификации оборудована двумя четырехугольными проминающими звездочками с индивидуальным приводом. Отличаются чрезмерно высоким нерегулируемым механическим воздействием на тесто в зоне пластификации.

9. Двухкамерные двухвальные тестомесильные машины, у которых имеется отдельная смесительная камера с индивидуальным приводом, а месильная камера с независимым регулируемым приводом включает две зоны замеса: месильную, снабженную шнеками, и зону пластификации, рабочим органом которой являются кулаки, интенсивно проминающие тесто. На выходе из месильной камеры установлена задвижка регулятора консистенции.

Тестомесильные машины суперинтенсивного замеса выделенные отдельной группой, они отличаются тем, что замес длится не более 20 с при очень высокой скорости ротора и значительных механических воздействиях на тесто. Весь процесс включает в себя только первую фазу замеса-механическое перемешивание компонентов – и обеспечивается одним видом рабочего органа.

Например, тестомесильная машина с трехлопастным ротором, вращающимся в цилиндрической рабочей камере с высокой частотой, достигающей 1450 об/мин. Здесь смешивание компонентов осуществляется в тонком слое на поверхности цилиндрической камеры под воздействием лопаток ротора и сопровождается чрезмерным нагревом массы. Машина требует очень интенсивного водяного охлаждения.

Кроме указанных выше типов смесителей и тестомесильных машин существует большое количество их разновидностей. Здесь приведены основные, хорошо зарекомендовавшие себя в хлебопекарной промышленности.

Классификация тестомесильных машин приведена на схеме (Рис.1)

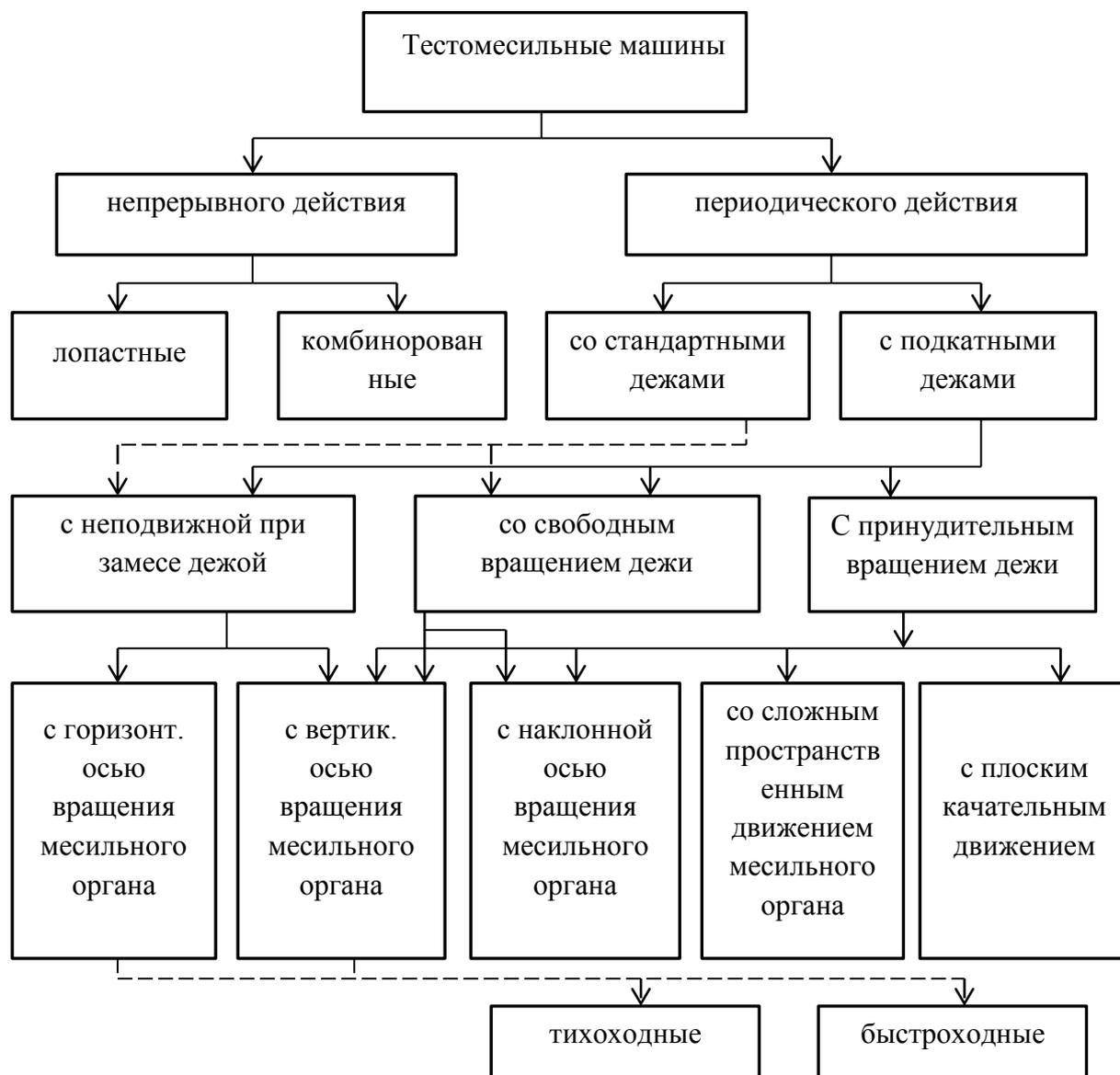


Рис. 1. Классификация тестомесильных машин

1.2 Анализ способов производства хлебобулочных изделий

В зависимости от наименования выпускаемых изделий, технических возможностей отдельно взятого предприятия, экономического эффекта и других условий производства при проектировании или в процессе работы предприятия выбирается тот или иной способ производства хлебобулочных изделий. За многовековую историю хлебопечения, их было придумано огромное количество, подавляющее большинство которых основаны на использовании дрожжей, для разрыхления теста.

Основными способами приготовления являются:

1. Безопарный – тесто готовят с повышенным расходом дрожжей (1,5-2,5% к общей массе муки). Разрыхление достигается за относительно короткий промежуток времени (2-3 ч).

2. Опарный – тесто готовят на жидкой или густой опаре как порционным, так и непрерывным способами в агрегатах различной конструкции.

3. Ускоренные способы – их сущность заключается в интенсификации микробиологических, коллоидных и биохимических процессов, происходящих при созревании теста [81]: на молочной сыворотке; на концентрированной молочной закваске; с добавлением органических кислот; на жидком диспергированном полуфабрикате; с добавлением яблочного пюре; с добавлением белково-жировой композиции; с добавлением чечевичной муки.

4. Способ приготовления хлеба, основанный на использовании быстрозамороженных полуфабрикатов; на густых ржанных заквасках; на жидких ржанных заквасках (с завариванием и без заваривания муки); с использованием подкислителей; приготовление хлеба на основе сбивных полуфабрикатов.

Важным фактором, обуславливающим хорошее качество хлеба, является состояние мякиша. Для того, чтобы готовое изделие имело хорошо

разрыхленную структуру, тонкостенную равномерную пористость, особое внимание следует уделить способу разрыхления. В хлебопекарном производстве существуют различные их виды: химический, механический, физический и биологический.

Химический способ заключается в разрыхлении теста газами, образующимися при разложении специальных веществ – химических разрыхлителей, добавленных при замесе. Этот способ находит применение в технологии мучных кондитерских изделий. В кондитерском тесте, где много жира и сахара, но мало влаги (16-22 %) невозможна жизнедеятельность дрожжевых клеток. Для разрыхления кондитерского теста в производстве печенья, пряников, кексов совместно применяют такие разрыхлители как диоксид аммония и двууглекислый натрий (пищевая сода).

Биологический способ разрыхления теста заключается в том, что дрожжи, внесенные в тесто, сбраживают сахара с образованием спирта и диоксида углерода который придает тесту пористую структуру. Для разрыхления биологическим способом требуется определенное время (1-6 ч), в течение которого оно созревает, то есть достигает свойств, обеспечивающих высокое качество изделия.

При биологическом способе разрыхления в тесте происходит ряд процессов, в том числе и ферментативные, микробиологические, в результате которых накапливаются продукты брожения, формирующие вкус и аромат изделия, состояние пористости и их объем. Изменения в структуре крахмала и белковых веществ при брожении теста (на стадиях брожения и расстойки) обуславливают получение пористого, эластичного мякиша. Хлеб приобретает привлекательный внешний вид, его усвояемость повышается.

При своих преимуществах, разрыхление теста биологическим способом имеет и недостатки: процесс брожения в тесте, особенно приготовленном обычным опарным способом, длителен (4-4,5 ч) и связан с потерей определенного количества сухих веществ муки, сбраживаемых бродильной микрофлорой; при значительных количествах жиров и сахара в

тесте, брожение в нем протекает весьма замедленно, а при известных концентрациях сахара и жиров практически невозможно [117].

В качестве биологического разрыхлителя используют прессованные, сушеные, дрожжевое молоко, сухие активные и сухие инстантные дрожжи. Наряду с прессованными дрожжами или вместо них широко применяют жидкие дрожжи, которые готовят непосредственно на хлебопекарных предприятиях.

В современном хлебопечении биологический способ разрыхления признан традиционным и является повсеместно распространенным [81].

Физический способ подразумевает непосредственное насыщение теста диоксидом углерода под давлением с применением с применением тестомесильной машины специальной конструкции. Этот способ применяется только для приготовления теста из пшеничной муки и не нашел широкого применения [117].

Механический способ разрыхления в производстве хлеба мало изучен, что дает большую возможность вести научные разработки в данном направлении [81].

В результате механического разрыхления теста под избыточным давлением воздуха получается пенообразная масса с определенными физико-химическими свойствами. Пена представляет собой дисперсную систему, состоящую из пузырьков воздуха, разделенных пленками дисперсионной среды. Характерной особенностью таких дисперсных систем является большая концентрация дисперсной фазы в жидкой дисперсионной среде, высокая дисперсность и сильно развитая межфазная поверхность [11].

При образовании пены механическим способом в раствор пенообразователя вовлекается воздух, сформировавшиеся пузырьки создают на поверхности жидкий пенный слой, толщина которого увеличивается в процессе диспергирования воздуха. В итоге – вся жидкая фаза превращается в пену. По мере того, как жидкость насыщается воздушными пузырьками,

толщина перегородок между ними уменьшается, форма пузырьков изменяется со сферической в многогранную.

Механизм образования пузырька пены заключается в формировании адсорбционного слоя на межфазной поверхности газообразного включения в жидкой среде, содержащей поверхностно-активное вещество.

Пены – термодинамически неустойчивые системы, так как имеют сильно развитую поверхность раздела фаз. По второму закону термодинамики система самопроизвольно стремится уменьшить запас свободной энергии. В связи с этим, процессы в пенах направлены на коалесценцию, связанную со слиянием отдельных пузырьков воздуха, сокращением поверхности раздела, а, следовательно, и с уменьшением поверхностной энергии. Устойчивое состояние системы соответствует полной коалесценции – расслоению системы с превращением в две объемные фазы: жидкость – воздух с минимальной поверхностью раздела [120].

Разрушение пены является следствием в основном трех одновременно протекающих процессов: синерезис пены, коалесценции пузырьков, укрупнение пузырьков вследствие диффузного переноса воздуха.

Для получения устойчивых пен, жидкая фаза должна содержать два компонента, один из которых обладает поверхностно – активными свойствами и способен адсорбироваться на межфазной поверхности.

На протекание процесса пенообразования оказывает влияние множество факторов: температура и вязкость теста, рН среды, поверхностное натяжение растворов, рецептурный состав, продолжительность перемешивания и сбивания, конструкция месильного органа и частота его вращения при перемешивании и сбивании, давление сжатого воздуха.

Белковые растворы проявляют максимальную пенообразующую способность в изоэлектрической точке. Поскольку белок обычно является более сильной кислотой, чем основание, то для достижения изоэлектрической точки в его растворе должно содержаться некоторое количество кислоты, подавляющее избыточную ионизацию кислотных групп.

В этой точке белок имеет наименьшую растворимость, белковые растворы обладают минимальной устойчивостью и наименьшим осмотическим давлением. Так как число взаимодействующих основных и кислотных групп в молекуле одинаково, то гибкая молекула белка в этом состоянии свертывается в клубок.

Установлено, что наибольшее снижение поверхностного натяжения соответствует раствору белка в изоэлектрическом состоянии. С уменьшением поверхностного натяжения пенообразующая способность увеличивается.

Продолжительность сбивания массы зависит от конструкции машины, частоты вращения вала, давления сжатого воздуха и других параметров. С увеличением времени сбивания объем массы возрастает, повышается ее дисперсность. Но продолжительность обработки имеет свой предел, выше которого качество пены ухудшается – ухудшается объем пены, что связано с утончением оболочек воздушных пузырьков и их разрушением [117].

Из изложенного выше видно, что для получения хлебобулочных изделий с мякишем, имеющим тонкостенную, равномерную пористость, возможно использование различных способов разрыхления теста.

Для хлебобулочных изделий основным является разрыхление теста путем брожения. Главным преимуществом данного метода является возможность получения хлеба не только хорошо разрыхленного, но и обладающего специфическим приятным вкусом и ароматом. В образовании вкуса и аромата существенную роль играют основные и побочные продукты спиртового и молочнокислого брожения теста и вещества, получающиеся при их взаимодействии.

Разрыхление химическим, физическим и механическими способами также может привести к получению хорошо разрыхленного хлеба. Однако такой хлеб не будет иметь вкуса и аромата, свойственного хлебу, выпеченному по одной из традиционных технологий [117].

1.3 Научные и практические основы формирования структуры сбивного теста.

Под процессом пенообразования понимают интенсивное перемешивание полуфабриката с одновременным насыщением его воздухом. Пена представляет собой дисперсную систему, состоящую из пузырьков газа, разделенных пленками дисперсионной среды. Характерной особенностью таких дисперсных систем является большая концентрация дисперсной фазы в жидкой дисперсионной среде, высокая дисперсность и сильно развитая межфазная поверхность [38, 127].

Существуют различные принципы получения пенообразных масс. В промышленности широко применяется диспергационный метод получения пен. При интенсивном перемешивании жидкости, в которой присутствует пенообразователь, захватывается воздух и дробится на мелкие частички. При диспергировании часть работы расходуется на увеличение свободной поверхностной энергии системы:

$$\Delta E = \Delta s \sigma, \quad (1.1)$$

где ΔE – изменение свободной энергии; Δs – изменение величины поверхности раздела; σ – поверхностное натяжение на границе раздела фаз газ-жидкость.

С уменьшением поверхностного натяжения жидкости пенообразующая способность увеличивается, так как для получения одинакового объема пены требуется затратить меньше работы.

При продолжительном перемешивании концентрация воздушных пузырьков в жидкости увеличивается, повышается их дисперсность, растет объем пены.

Пены являются термодинамически неустойчивыми системами, так как имеют сильно развитую поверхность раздела фаз. По второму закону термодинамики система самопроизвольно стремится уменьшить запас свободной энергии. В связи с этим процессы в пенах направлены на ее

коалесценцию, связанную со слиянием отдельных воздушных пузырьков, сокращением поверхности раздела, а следовательно, и с уменьшением поверхностной энергии. Устойчивое состояние системы соответствует полной коалесценции, т. е. расслоению системы с превращением в две объемные фазы жидкость и газ минимальной поверхностью раздела.

Для придания устойчивости диспергированным пузырькам в жидкости, окружающей пузырьки воздуха, необходимо присутствие пенообразователя, к которым относятся поверхностно-активные вещества (ПАВ). Молекулы ПАВ независимо от их концентрации в жидкости устремляются на границу раздела фаз, адсорбируются определенным образом. В результате на поверхности пузырьков возникает пленка с упругими свойствами, разделяющая отдельные пузырьки.

В результате адсорбции молекул ПАВ на границе раздела фаз значительно снижается поверхностное натяжение. Его величина зависит от плотности упаковки молекул в адсорбционном слое, природы и химического состава ПАВ.

Эффективность перемешивания зависит от емкости сосуда, его формы и размеров, числа и расположения мешалок, их размеров, формы и наклона, числа лопастей, скорости вращения. При большом насыщении пены воздухом пузырьки теряют сферическую форму и превращаются в многогранники. Получается пространственная структура, которая возникает самопроизвольно. В ней на каждом ребре многогранника сходятся три тонкие пленки, образуя угол в 120° . Эта пена характеризуется минимальной поверхностной энергией, а, следовательно, она наиболее устойчива. В такой системе броуновское движение ограничено, она приобретает некоторые свойства твердого тела (например, пена обладает определенной упругостью), в то же время сохраняет ряд свойств, присущих компонентам пены [113, 127].

Практика научных исследований свойств пен, а так же разработка эффективных методов получения и применения пен заданного состава и

свойств в пищевой промышленности требуют знания основных технологических факторов, формирующих их качество. При получении пен применяют различные технологические приемы, которые в общем случае можно разделить на три группы [38].

К первой группе относятся факторы, связанные с наличием пенообразователя, в качестве которого могут выступать коллоидные ПАВ или высокомолекулярные соединения. Среди высокомолекулярных соединений лучшими пенообразователями являются полиэлектролиты, например, белки.

Важную роль играет концентрация пенообразователя, причем для коллоидных ПАВ максимальная пенообразующая способность достигается в определенном интервале концентраций. В случае высокомолекулярных пенообразователей с увеличением концентрации возрастает и пенообразующая способность.

Вторая группа факторов связана со свойствами дисперсионной среды (жидкости). Её характеристики обусловлены вязкостью (чем больше вязкость жидкости, тем устойчивее пена), водородным показателем (рН) среды и наличием в жидкости низкомолекулярных электролитов. Активная кислотность и низкомолекулярные электролиты характеризуют свойства дисперсионной среды лишь формально, но фактически определяют состояния и свойства пенообразователя.

С ростом температуры качество пен в большинстве случаев ухудшается, поскольку увеличивается десорбция молекул пенообразователя, повышается испарение жидкости из пленок пен и повышается их вязкость. Однако для некоторых пен, полученных на основе высокомолекулярных соединений, термическая обработка приводит к переходу жидкости дисперсионной среды в твердообразную. При этом образуется твердая абсолютно устойчивая пена. Такая модель баллы изучена на основе бисквитных полуфабрикатов. В них в качестве пенообразующей основы

используется яичный меланж, в который для получения вязкости вносят муку, крахмал и другие компоненты в виде порошков.

С другой стороны, механическое воздействие нельзя рассматривать только как фактор, влияющий на качество полученной пены. Например, один из способов интенсифицировать получение пенных продуктов – повышение интенсивности взаимодействия газа и жидкости за счет увеличения скорости рабочего органа сбивального аппарата (оптимальное заполнение рабочей камеры не более 50-60%). Образование пенной дисперсной системы в пенном аппарате зависит так же от физико-химических свойств компонентов, поскольку механические воздействия могут вызвать значительные изменения свойств пенообразователя.

Таким образом, определение влияния различных технологических факторов и пути их реализации при получении качественных пенообразных масс представляет важную задачу современного этапа развития пищевой промышленности на основе новейших достижений коллоидной химии.

Свойства некоторых видов пищевых продуктов образовывать стабильные пены высокой степени взбитости широко используется в промышленности для создания продуктов питания с пенной структурой.

Назначение пен определяется их свойствами, которые формируются под влиянием различных технологических факторов. Устойчивость пен также определяется наличием специальных условий, а так же использование в качестве стабилизирующих веществ студнеобразователей или загустителей. Механизм их действия связан с изменением одного из факторов устойчивости пен (кинетического, термодинамического или структурно-механического).

При выборе стабилизатора необходимо учитывать, что он либо должен увеличивать значение расклинивающего давления в каналах пены, либо значительно повышать в них вязкость, практически ограничивая движение жидкости по каналам. Этого можно достигнуть, зная состав и

свойства стабилизатора (температуру действия, интервал рН, оптимальные концентрации и т. д.).

Важным критерием, характеризующим пену, является время ее «жизни». Однако его достаточно сложно свести к конкретному значению времени τ (часы, минуты), что обусловлено большим количеством пенообразователей и различных технологических факторов, влияющих на эту величину. Для однородных по составу пенообразных масс целесообразно определять значение устойчивости за фиксированное время τ , которое, как правило, меньше времени жизни пены, а так же периода ее полураспада.

Пена состоит из газовых пузырьков, разделенных пленками жидкой фазы. В местах контакта трех пленок возникают каналы Гиббса-Плато. В узлах каналов образуется вогнутая поверхность, под которой давление понижено на величину капиллярного давления P_σ , равного $\sigma(1/r_1+1/r_2)$, где r_1 и r_2 – главные радиусы кривизны окружающего пленку мениска.

Объем и форма каналов Гиббса-Плато зависят от кратности пены: с увеличением кратности форма пузырьков изменяется от шаровидной до формы пятигранника, при $n < 40$ – пузырьки имеют цилиндрическую форму. Пленка находится в равновесии с окружающим ее каналом, когда капиллярное давление P_σ равно (по абсолютной величине) расклинивающему давлению P .

Пленки пены испытывают избыточное давление ΔP_σ , которое существует в различных пузырьках:

$$\Delta P_\sigma = P_\sigma - P_o = 2/3\sigma\varepsilon, \quad (1,2)$$

где P_σ – среднее (по объёму) давление в пузырьках пены; P_o – давление окружающей среды.

Дисперсность пены, которая может быть охарактеризована средним размером пузырьков, распределением их по размерам или поверхностью раздела «раствор-газ» в единице объема пены, является важнейшей характеристикой, определяющей многие свойства и процессы, протекающие в ней, а так же технологические свойства пены. Для оценки дисперсности

измеряют средний радиус пузырька, эквивалентный по объему сферы, условный диаметр и удельную поверхность раздела жидкость-газ. Кинетика изменения дисперсности отражает скорость внутреннего разрушения структуры пены в результате коалесценции.

Одновременно с перетеканием жидкости в каналы, когда давление в нижних слоях пены превысит внешнее давление, начинается вытекание жидкости пены, т. е. синерезис.

Выделяют следующие принципы регулирования физико-химических свойств пены, которые позволяют повысить ее качество и устойчивость:

- использование способа пенообразования, дающего максимально однородную по кратности пену (смешение потоков газа и раствора в трубе или на сетках, взбивание жидкости механическими устройствами);

- получение пены с максимально высокой степенью дисперсности и минимальной полидисперсностью, что достигается понижением поверхностного натяжения и гомогенизацией пены;

- получение пены по возможности в виде очень тонких слоев с минимальным равновесным давлением в каналах;

- использование композиции ПАВ и специальных стабилизирующих систем, способствующих максимальной стабилизации адсорбционных слоев и вязкостных характеристик;

- снижение скорости диффузионного переноса газа и связанного с ним укрепления пузырьков, что достигается введением добавок, понижающих скорость растворения, десорбции и молекулярной диффузии газа, использование в качестве дисперсной фазы газа с малой растворимостью и скоростью диффузии [39].

Применение механического способа разрыхления теста для хлебобулочных изделий позволяет получить пенообразную массу. При интенсивном сбивании рецептурных компонентов под давлением воздуха захватывается и дробится на мелкие частички, при продолжительном

сбивании – дисперсность воздушных пузырьков увеличивается, а вязкость массы повышается.

Постепенно образуется густая пена, представляющая собой двухфазную систему газ-жидкость. Дисперсной фазой является воздух, а дисперсионной-многокомпонентный раствор, состоящий из растворимых органических веществ муки (белки, декстрины, соли и др.) и водорастворимых рецептурных компонентов теста. Для получения стабильной, устойчивой пены с минимальной объемной массой необходимо изучение влияния различных технологических факторов.

Важную роль в технологии хлеба выполняют белки и крахмал муки. Многокомпонентные фракции белка представляют собой альбумин, глобулин, глиадин и глютеин зерна, различаемые по принципу растворимости, их соотношение в различных зерновых культурах может существенно колебаться.

В зерне белки неравномерно распределяются между его морфологическими частями. Основное их количество (65-75%) содержится в эндосперме, меньшее – в алейроновом слое (до 15,5%) и зародыше (до 22%). Белки зародыша и алейронового слоя представлены в основном альбуминами и глобулинами, белки эндосперма – альбуминами, глобулинами, проламинами и глютелинами. Большую часть белка эндосперма злаковых культур (до 80%) составляют запасные белки: спирторастворимые проламины щелочерастворимые глютелины.

Гидрофильными свойствами, подобно белкам, обладает крахмал зерновых культур. В технологии хлебобулочных изделий, благодаря его физико-химическим свойствам, происходит формирование мякиша хлеба за счет образования геля при набухании крахмала.

При соприкосновении частиц муки с водой вначале свободный промежуточный белок осмотически связывает воду, затем происходит связывание воды белком, окружающим, отдельно лежащие крахмальные зерна и белком более крупных частиц муки – неразрушенных клеток

эндосперма или их группы. Крахмальные зерна в основном связывают воду адсорбционно, причем целые зерна могут связывать до 44% воды, а поврежденные, которых около 15-20%-поглощают до 200% воды [7].

В процессе перемешивания рецептурных компонентов происходит набухание коллоидов, которое протекает в две стадии – первоначально молекулы адсорбируются на поверхности частичек муки за счет активных гидрофильных групп коллоидов, при этом процесс гидратации сопровождается выделением теплоты.

Вторая стадия набухания – это осмотическое связывание воды, протекает в результате теплового движения гибких цепей белка, так как между макромолекулами белка и крахмала образуются зазоры, в которые проникает молекула воды.

Скорости набухания и растворения белков крахмала муки зависят от многих факторов. Установлено, что оптимальная температура максимального набухания клейковинных белков, составляет 30°C. С увеличением температуры набухаемость белков снижается. Крахмальные зерна максимально набухают при 50°C.

После набухания альбуминовая и глобулиновая фракции белков пшеничной муки растворяются и переходят в раствор. Проламиновая и глютелиновая фракции набухают, при этом связывают воды в 2,0 и 2,5 раза больше их массы.

На поверхности белковой глобулы расположены различные гидрофильные группы, притягивающие к себе дипольные молекулы воды, что способствует связыванию значительного ее количества. По одной молекуле воды притягивают амидная (-CO-NH) и аминная (-NH₂) группы, карбоксильная (COOH) группа притягивает четыре молекулы.

Гидратная оболочка белковой глобулы гетерогенна. Атомные группировки содержат полярные группы, которые образуют полярные связи с водой; заряженные группы, способствующие сильному сжатию воды и

гидрофобные группы. Все это способствует агрегативной устойчивости белков в растворе.

Молекулы белка в тесте из пшеничной муки представляют собой положительно заряженные частицы дисперсной фазы. Ионизирующие группы белковой глобулы способствуют ее раскрытию и образованию множества новых коагуляционных контактов между отдельными участками разветвленной белковой глобулы. При этом из разрозненных белковых мицелл образуются длинные нити и пленки, что способствует формированию трехмерного структурного каркаса [104].

Процессы растворения и набухания интенсивно протекают при сбивании под давлением, объем массы, за счет насыщения воздухом и связывания воды проламиновой и глобулиновой фракций, резко увеличивается. Кроме того, при интенсивном перемешивании в муке содержание водорастворимого белка увеличивается в два раза. Все это обеспечивает образование прочной, устойчивой пенообразной массы теста.

В результате диссоциации заряженных групп в водном растворе поверхность белковой молекулы приобретает избыточный электрический заряд, в гидратной оболочке возникает двойной электрический слой. Электростатические силы отталкивания зависят от величины потенциала этого слоя [101].

Атомные группировки белковой молекулы резко различаются по характеру взаимодействия с молекулами воды в растворе. Водородные связи с водой образуют полярные группы, сильное электрострикционное сжатие воды в гидратной оболочке вызывают заряженные группы, по-другому на молекулы воды влияют гидрофобные группы белковой молекулы. Следовательно, гидратная оболочка глобулы гетерогенна и она способствует агрегативной устойчивости белков в растворе.

В кислой среде набухшие молекулы белка представляют собой положительно заряженные частицы дисперсной фазы с определенным потенциалом φ_0 . Соответственно в гидратной оболочке, покрывающей

молекулу возникает двойной электрический слой толщиной $1/X$, где X - величина, обратная толщине двойного электрического слоя. Электростатические силы отталкивания зависят от величины потенциала φ_c двойного электрического слоя. Поэтому в водном растворе при столкновении происходит отталкивание набухших макромолекул.

Близко к гидрофильной поверхности белковых мицелл образуются граничные слои воды толщиной 7-10 нм с особой структурой и свойствами. При сближении белковых молекул слои воды разрушаются, что способствует структурному отталкиванию набухших макромолекул белка.

Следовательно, кроме дисперсионных сил натяжения, которые действуют между различными молекулами, в пленках воды, покрывающих белковые молекулы, возникают электростатические и структурные силы отталкивания. Их влияние зависит от расстояния h , величины заряда поверхностей пленки φ_c , полярности жидкости и адсорбции растворенных в них веществ.

Согласно теории термодинамики тонких пленок и дисперсных систем ДЛФО особое состояние тонких прослоек в дисперсных системах обусловлено изменением потенциальной энергии межмолекулярного взаимодействия в пленках и деформации диффузных электрических слоев [40].

На поверхности набухших белковых мицелл находятся полярные группы. В таких лиофильных коллоидных системах состояние молекул в мицеллах, близко к их состоянию в монослоях на границе раздела фаз с водой. За счет водородных связей на леофильных поверхностях образуются слои жидкости с измененной структурой. Такие системы термодинамически устойчивы. Сближению набухших белковых мицелл препятствуют ориентация молекул в пограничных слоях жидкости, повышение вязкости, упругости, сопротивления сдвигу. При сближении частиц происходит перекрытие граничных слоев, что приводит к появлению структурной

составляющей расклинивающего давления, которая отвечает за устойчивость гидрофильных коллоидов [41].

Влияние поверхностных сил в жидких пленках на гидрофильных поверхностях выражается изотермой расклинивающего давления $\Pi(h)$.

Активная устойчивость набухших белковых мицелл при перемешивании и сбивании теста зависит от трех составляющих расклинивающего давления в пленках воды, покрывающих белковые мицеллы:

$$\Pi(h) = \Pi_m(h) + \Pi_{эл}(h) + \Pi_s(h), \quad (1.3)$$

где $\Pi_m(h)$ – молекулярная составляющая; $\Pi_{эл}(h)$ – электростатическая составляющая; $\Pi_s(h)$ – структурная составляющая.

При $h \rightarrow 0$ и $h \rightarrow \infty$ преобладают силы молекулярного притяжения.

В зависимости от расстояния h молекулярные силы Π_m изменяются по уравнению:

$$\Pi_m(h) = -\frac{A}{12\pi h^2}, \quad (1.4)$$

где A – константа Гаммакера [41].

На промежуточных расстояниях, при достаточно больших значениях φ_0 и $1/\chi$, преобладают силы электростатического отталкивания $\Pi_{эл}$, величина которых выражается уравнением:

$$\Pi_{эл} = Ve^{-kh}, \quad (1.5)$$

где V – постоянная, зависящая от величин φ_0 , φ_c и χ .

Значение величины структурных сил Π_s выражается уравнением:

$$\Pi_s = Ke^{-\kappa l}, \quad (1.6)$$

где K и l – константы.

Для того, чтобы произошло агрегирование набухших макромолекул, они должны сблизиться на расстояние h_0 , при котором между молекулами действуют большие силы притяжения. Это может происходить при броуновском движении молекул или под действием внешних сил. Основная

масса воды в тесте осмотически и адсорбционно связана с коллоидами муки, небольшая ее часть 15-18% остается в свободном состоянии [7]. Поэтому в такой системе броуновское движение набухших белковых молекул ограничено и не обладает достаточной энергией для преодоления электростатических и структурных сил отталкивания. Следовательно, скорость коагуляции в таких системах практически равно нулю.

При перемешивании компонентов теста происходит частое сближение и разъединение набухших белковых молекул, преодоление ими энергетического барьера при сближении до расстояния h_2 . При дальнейшем утончении гидратных оболочек ($h < h_2$) за счет трения белковых мицелл друг о друга, стенки и лопасти машины расклинивающее давление резко уменьшается до отрицательных значений. При $d\Pi/dh=0$ происходит самопроизвольный разрыв толстых β -пленок, скачкообразное уменьшение их толщины h_1 , соответствующий граничному слою водных пленок на поверхности белковых молекул.

При замесе теста толщина гидратных оболочек постепенно уменьшается и может достигнуть равновесной для β -пленок толщины h_1 , при которой расклинивающее давление в пленке равно внешнему (капиллярному) давлению $\Pi = P_\sigma$. В этой области ход изотермы определяется электростатической составляющей расклинивающего давления, в этом случае $\Pi_{эл} \gg \Pi_m$ и $\Pi_{эл} \gg \Pi_s$.

При дальнейшем утончении гидратных оболочек $h < h_1$ расклинивающее давление резко уменьшается до отрицательных значений, при $d\Pi/dh=0$ происходит прорыв β -пленок, скачкообразное уменьшение их толщины до h_0 , соответствующей образованию α -пленок [38].

При утончении гидратной оболочки на поверхности белковых молекул до толщины h_0 поверхностные силы в пленке способствуют притяжению белковых молекул и перекрытию граничных слоев жидкой фазы, что приводит к возникновению сил отталкивания. Дальнейшее

разрушение и утончение гидратных оболочек сопровождается ослаблением структурных сил.

Совместное действие молекулярных, электростатических и структурных сил приводит к замене знака суммарного расклинивающего давления и пересечению изотермой Π_h оси толщин при $h=h_0$. При утончении гидратных оболочек на поверхности белковых молекул до толщины h_0 (α -пленки) все поверхностные силы в пленках воды способствуют притяжению частиц дисперсной фазы и их агрегированию.

Следовательно, чем продолжительнее перемешивание и интенсивнее сбивание компонентов теста, тем быстрее достигается тот критический рубеж дегидратации белковых молекул, за которым наступает процесс коагуляции, так как механическое воздействие становится достаточным для преодоления ими энергетического барьера и сил структурного отталкивания.

При интенсивной механической обработке – сбивании рецептурных компонентов, до тех пор, пока не наступило перекрытие межфазных зон в тонких прослойках между частицами дисперсной фазы, давление в них равно давлению той дисперсионной среды, частью которой является пленка. При сближении частиц дисперсной фазы и перекрытии межфазных зон, гидростатическое давление в тонкой прослойке изменяется. Для уравнивания изменившегося давления в тонкой прослойке, необходимо создать дополнительное давление на поверхности прослойки или понизить давление в объемной фазе, часть которой является прослойки [38].

В состоянии термодинамического равновесия прослойки и фаз, ее окружающих, расклинивающее давление $\Pi(h)$:

$$\Pi(h)=P_1-P_0, \quad (1.7)$$

где P_1 – давление на поверхности прослойки; P_0 – давление в объемной массе, служащей продолжением прослойки.

При дальнейшем утончении пленки достигают равновесной толщины, при которой расклинивающее давление (Π) равно внешнему капиллярному

давлению (P_σ): $\Pi = P_\sigma$. Они образуются в виде черных пятен (черные пленки) в исходной более толстой неравновесной пленке.

Разность давлений $\Pi_{\text{макс}} - P_\sigma$ является барьером, который препятствует переходу к пленкам меньшей толщины. Если в пленке преобладают электростатические силы, то при сближении пузырьков происходит их отталкивание.

Между белковыми молекулами при образовании коагуляционной сетки находится тонкая и равновесная прослойка жидкой дисперсионной среды, которая препятствует дальнейшему сближению белковых молекул.

Интенсивное сбивание теста в атмосфере воздуха под давлением способствует окислению сульфгидрильных групп кислородом с образованием дисульфидных связей, что упрочняет структуру белка и соответственно пенообразной массы. В процессе сбивания продолжается сцепление (коагуляция) частиц дисперсной фазы при их столкновении. Основное влияние на агрегирование набухших белковых молекул оказывают электростатические и структурные силы.

При механическом воздействии на коагуляционные процессы влияет фактор агрегативной устойчивости, связанный со структурой и свойствами граничных гидратных прослоек у поверхности набухших белковых макромолекул. Сбивание массы теста приводит к разрушению и утончению гидратных прослоек у поверхности макромолекул. С увеличением продолжительности механического воздействия и интенсификации сбивания происходит ослабление структурного отталкивания, что способствует дегидратации белковых макромолекул, их коагуляции, так как все это способствует преодолению ими электростатического барьера.

Итак, в результате перемешивания и сбивания пшеничной муки, воды и других рецептурных компонентов проламиновая и глютелиновая фракции образуют белковый клейковинный каркас, состоящий из тонких пленок. В результате интенсивного совместного диспергирования пенообразующего раствора (раствор альбуминовой и глобулиновой фракций) и воздуха

образуется пенообразная масса теста. При этом пленки гидратированного белка охватывают всю поверхность крахмальных зерен и других включений.

В пшеничной муке содержатся ферменты, которые проявляют свою активность при перемешивании рецептурных компонентов и при их сбивании, что соответственно влияет на устойчивость пены. Под действием протеолитических ферментов происходит частичная дезагрегация клейковинных белков–протеолиз. В результате гидролиза белковых веществ образуются полипептиды, пептиды, аминокислоты, которые также участвуют в процессе пенообразования.

Аминокислотные ферменты дезагрегируют крахмал в тесте. Вследствие этого увеличивается доля веществ, переходящих в жидкую дисперсионную среду пены. С другой стороны, кислород при насыщении теста воздухом окисляет SH-группы протеолитических ферментов, что способствует снижению их активности.

При этом действии липоксигеназы на жирные кислоты, образуются продукты окисления, которые окисляют-SH-группы белка, и тем самым способствуют укреплению клейковинного каркаса и устойчивости пены.

Доля липидов в пшеничной муке достигает 2%, из них 20-30% соединены с белками (липопротеиды), углеводами (гликолипиды) и фосфоорганическими соединениями (фосфолипиды). В процессе перемешивания и сбивании теста доля связанных липидов резко возрастает до 60%, что также способствует пенообразованию.

При замесе и сбивании полуфабриката водорастворимые пентозаны (слизи) муки почти полностью пептизируются, переходят в раствор и активно участвуют в процессе образования пены.

Целлюлоза и гемицеллюлоза связывают значительную долю воды за счет их капиллярной структуры. Механическое разрыхление теста позволяет увеличить содержание воды в полуфабрикate, поэтому конкурентной борьбы за воду не происходит, соответственно поглощение ее целлюлозой не будет

препятствовать набуханию белков и затруднять образование клейковинного остова в пленках дисперсионной среды [38, 104, 113].

Таким образом, процесс пенообразования теста из пшеничной муки при механическом разрыхлении под давлением довольно сложен. Механизм образования пузырьков пены заключается в формировании адсорбционного слоя на межфазной поверхности газообразного (воздушного) включения в жидкой среде. Дисперсной фазой такого пенообразного теста является воздух, а дисперсионной средой – раствор альбуминовой и глобулиновой фракций, водорастворимых пентозанов, набухшие белки проламиновой и глютелиновой фракций, целлюлоза и гемицеллюлоза, дезагрегированный крахмал, связанные липиды.

Насыщение воздухом массы и совместное влияние многочисленных физико-химических, механических, коллоидных и других процессов в тесте способствует увеличению объема массы и образованию густой пышной пены с мелкой, тонкостенной и равномерной структурой.

Тесто, полученное механическим путем разрыхления или биологическим способом, является сложной системой, состояние которой зависит от состояния основных структурных компонентов – белков, крахмала, а так же, процессов, протекающих под действием ферментов, содержания воды, температуры, свойств сырья и других причин. В зависимости от этого для теста характерны такие реологические свойства, как вязкость, упругость, эластичность, пластичность, релаксация.

Зная реологические свойства теста, можно заранее определить усилия перемещения и формования теста, а так же способность тестовых заготовок сохранять форму, объем и выбирать оптимальные технологические режимы, прогрессивную технологию, обеспечивающие высокое качество изделий [10.11].

Особенности вязко-упруго-пластичных свойств теста как структурированной системы проявляются в его реологии. Она определяет

деформацию и течение этой системы и влияет на контакт упруго - пластических тел с поверхностью и их адгезию.

Исследование и контроль структурно-механических свойств теста позволяет установить взаимосвязь количественных и качественных характеристик изделий. Деструкция и структурирование полуфабриката – два основных сложных физико-химических процесса, формирующих пористость, объем хлеба.

К основным реологическим свойствам теста относятся вязкость, упругость и прочность. Наиболее важной величиной, которая определяет различное состояние веществ, является вязкость, которая выполняет роль структурно-механического барьера при образовании и разрушении пористой структуры. При невысокой вязкости образование газообразной фазы и пор в объеме теста происходит с минимальной затратой энергии. При этом получается высокий объемный выход теста. Однако вследствие низкой вязкости стенки пор легко разрушаются избыточным давлением газообразных продуктов. Это сопровождается коалесценцией мелких пор, образованием крупной пористости теста и мякиша хлеба, уменьшением его объемного выхода [84].

Избыточная вязкость препятствует развитию пор и объема хлебобулочных изделий в результате пластических деформаций течения его структуры. Объемный выход хлеба из такого теста низкий.

Механические свойства твердых тел и жидкостей характеризуются способностью сохранения и изменения формы (деформирование). Их деформации после снятия внешних сил могут быть обратимыми (упругими) или остаточными (пластичными). Мгновенно-упругие деформации возникают в результате действия основных, первичных химических связей атомов в молекуле соединения. Предельные размеры таких деформаций обычно невелики, так как силы взаимного притяжения-отталкивания атомов этих связей действуют на достаточно малых расстояниях [84].

Изложенные соображения о влиянии реологических свойств теста на объем и форму хлебобулочных изделий приводят к тому, что они должны иметь некоторые оптимальные величины.

В производстве хлеба, приготовленного биологическим или механическим способом разрыхления, структурно-механические характеристики теста изменяются вследствие протекания ряда процессов. Поэтому их следует изучать и контролировать в зависимости от конкретных условий производства.

Основным методом исследования технологических процессов, для которых сложно определить экспериментально их основные характеристики в производственных условиях является моделирование. Построение математических моделей хлебопекарного производства сводится к получению комплексных закономерностей между входными параметрами, определяющими технологические режимы и характеристики процессов и предсказывающими их результаты.

Качество хлебобулочных изделий зависит от ряда факторов – сорта муки, количества и качества клейковины, рецептуры и влажности теста, способа приготовления теста и др. Учесть долю каждого отдельного фактора в формировании качества изделий трудно, поэтому необходимо выбирать обобщающий критерий, по которому можно прогнозировать свойства изделий и определять пути их регулирования.

1.3.1 Механизм образования структуры сбивного теста.

Сбивные бездрожжевые полуфабрикаты получали путем механического разрыхления под давлением в экспериментальной лабораторной установке, разработанной на кафедре технологии хлебопекарного, макаронного и кондитерского производств Воронежской государственной технологической академии (рис 2.). Она состоит из следующих основных узлов: 1- сбивальная камера; 2- электродвигатель

асинхронный (тип АИР80В6У2ГОСТ 163-74); 3- пульт управления; 4- компрессор; 5- ресивер; 6- разгрузочное отверстие.

Установка работает следующим образом. Рецептурные компоненты теста подаются через загрузочное отверстие в месильный корпус тестомесильной машины периодического действия, в котором установлен месильный орган в виде венчика, приводимый в движение электродвигателем посредством вариатора скорости.

По окончании загрузки месильный корпус тестомесильной машины герметично закрывают крышкой и замешивают тесто в течение 3-5 мин при частоте вращения месильного органа 5 с^{-1} . Затем в камеру через штуцер под избыточным давлением в месильный корпус вводится атмосферный воздух под давлением 0,3-0,4 МПа, а полуфабрикат продолжает сбиваться 3-10 мин при частоте вращения месильного органа $9,2\text{ с}^{-1}$ и одновременно разрыхляться.

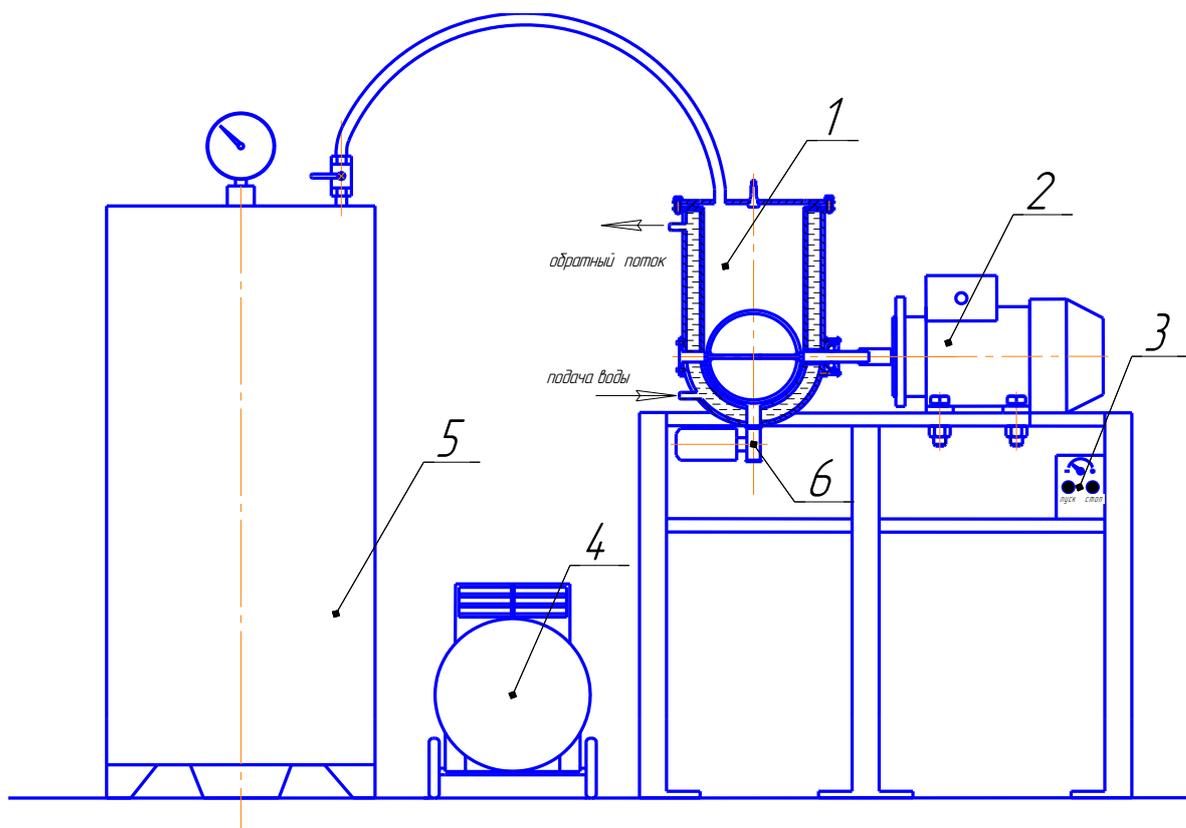


Рис 2. Экспериментальная лабораторная установка

Во время замеса теста производится непрерывная подача термостатируемой воды (20-25°C) в рубашку тестомесильной машины. При этом происходит сбивание рецептурных компонентов и насыщение тестовой массы воздухом.

Приготовленное таким образом тесто представляет собой пенообразную массу со стабильными физико-химическими характеристиками. По завершении процесса сбивания формуют тестовые заготовки массой 0,2-0,3 кг под давлением 0,4 МПа через разгрузочное отверстие тестомесильной машины.

Основными преимуществами данной установки являются: широкий диапазон параметров сбивания (частота вращения месильного органа, величина давления подаваемого атмосферного воздуха, температура водяной рубашки), плавность их регулирования, возможность получения сбивных масс различного состава и влажности, простота монтажа, конструкции и обслуживания.

1.4 Теория подобия

Практические проблемы процессов перемешивания редко удается разрешить аналитически потому, что их механизм носит сложный характер. В этих случаях проблему решают опытным путем на модели процесса. Чтобы этот опыт провести с наименьшей затратой средств и одновременно получить максимальную пользу, его следует правильно запланировать.

Проведение опыта требует выполнения следующих этапов.

1. Проектирование и построение опытной установки.
2. Выполнение замеров.
3. Обобщение полученных результатов измерений и определение того, для каких действительных процессов полученные формулы могут быть использованы.

Каждый из перечисленных выше этапов содержит вопросы:

а) как выполнить модель процесса (аппаратура и рабочие среды), чтобы полученные результаты исследований могли быть перенесены на действительные процессы;

б) какие величины измерять, чтобы при минимальном количестве измерений получить исчерпывающую информацию о течении процесса;

в) как обобщить результаты измерений, и какими будут пределы применимости полученных формул.

Ответы на эти вопросы дает теория подобия [6, 9, 40].

1.5 Основные типы конструкций печей, их классификация

В хлебопекарной и кондитерской промышленности в настоящее время находится в эксплуатации большое количество разнообразных типов печей, как отечественных конструкций, так и импортных. Объясняется это большим разнообразием местных условий, широким ассортиментом вырабатываемых изделий, различным энергообеспечением печей (электроэнергия, различные виды топлива) и рядом других факторов.

Помимо печей, серийно изготавливаемых на специализированных машиностроительных заводах, в промышленности широко распространены печи, реконструированные по предложению тех или иных проектных организаций или отдельных специалистов. Реконструкция может преследовать разные цели. Она может быть направлена на повышение производительности печи, на изменение ассортимента вырабатываемых изделий, повышение их качества и пр.

Не смотря на то, что в настоящее время потребности промышленности в хлебопекарных и кондитерских печах в основном удовлетворяются за счет выпуска новых, современных печей, все же на предприятиях еще имеется некоторое количество ранее

спроектированных печей. Эти печи, хотя и уступают по некоторым показателям современным образцам, часто имеют ряд преимуществ, которые делают вполне обоснованным и даже необходимым изучение печей данного типа, ибо при этом появляется возможность использовать при проектировании тот или иной удачный узел, заимствованный из старой печи.

Наряду с такими критериями оценки достоинств печи, как качество вырабатываемой на ней продукции, простота обслуживания, степень автоматизации и некоторые другие, важную роль играют и технико-экономические показатели ее работы: удельные энергозатраты на выпечку, стоимость печи, металлоемкость и т. п. Все это также следует учитывать в процессе разработки новых типов и реконструкции действующих печных агрегатов.

Сегодня хлебопекарное оборудование представлено большим ассортиментом печей. Выбор хлебопекарной печи зависит, в первую очередь, от вида выпекаемых изделий. Для этого стоит разобраться в классификации печей, которые существуют на рынке хлебопекарного оборудования.

Хлебопекарные печи по виду конструкции делятся на следующие виды:

1. Конвекционные печи. В таких печах воздух распределяется равномерно по всей площади камеры при помощи циркуляционного вентилятора. В них также действует система пароувлажнения, а пекарная камера освещается световыми приборами. Такие печи позволяют контролировать процесс выпечки визуально, так как их дверцы изготовлены из двойного стекла.

Конвекционные печи достаточно компактны и достаточно просты в использовании, поэтому отлично подходят небольшим производственным предприятиям. В конвекционных печах можно выпекать

изделия из замороженного теста, батоны, отдельные виды кондитерских изделий.

2. Подовые печи. Обычно состоят из нескольких ярусов (от 1-го до 4-х).

В под такой печи загружаются противни определенного размера. Если под керамический, то выпекать изделия из теста можно непосредственно на его поверхности, без использования противня.

В некоторых подовых печах применяют масло в качестве промежуточного теплоносителя (циклотермические подовые печи).

3. Ротационные печи. Ротационные печи оснащены электронной программируемой панелью управления. В них горячий воздух от ТЭНов сдувается вентиляторами. В пекарную камеру можно загружать одну или несколько стеллажных тележек, которые держатся на платформенном или крючковом креплениях. В процессе выпечки стеллажная тележка постоянно вращается, то есть совершает ротацию.

Отдельные виды ротационных печей оснащены встроенным парогенератором, обеспечивающим непрерывную подачу пара в камеру в процесс выпечки. Это позволяет добиться глянцевой поверхности выпекаемых изделий.

4. Комбинированные печи. Объединяют в себе подовую печь и конвекционную, поэтому в ней можно выпекать и кондитерские, и хлебобулочные изделия. Такие печи оснащены расстоечной камерой.

Комбинированные печи идеально подойдут для пекарни, в ассортимент которой входят кондитерские и хлебобулочные изделия собственного производства.

5. Туннельные печи. Часто используются на достаточно крупных производствах, так как предназначены для непрерывной выпечки всех видов изделий из теста. Хлебобулочные изделия укладываются на металлические пластины, при этом за счет изменения скорости движения пластин регулируется время выпечки.

1.6 Тепловое излучение

Тепловое излучение является одной из разновидностей переноса энергии. Отличительной особенностью теплового излучения является то, что оно присуще всякому телу.

Каждое тело может излучать тепло во внешнюю среду и тогда, когда температура тела равна температуре внешнего пространства. Поэтому тепловому излучению непременно сопутствует поглощение излучения, падающего на тело извне.

В условиях теплового равновесия оба эффекта компенсируют один другой. Если излучающие одно на другое тела имеют разные температуры, то энергия переносится от тел, имеющих более высокую температуру, к телам с более низкой температурой, т. е. происходит передача тепла излучением.

Носителем теплового излучения являются электромагнитные волны, поэтому излучение можно характеризовать волновыми понятиями, т. е. частотой колебаний ν и длиной волны λ , связанных формулой

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad (1)$$

где c – скорость распространения электромагнитных волн.

Тепло передается излучением в инфракрасной области спектра. Видимая область спектра охватывает волны длиной 0,4-0,76 мкм, инфракрасная область – 0,76-400 мкм. Инфракрасная область спектра состоит из ближней инфракрасной области с длиной волн 0,76-15 мкм, средней инфракрасной области-15-100 мкм и далекой инфракрасной области-100-400 мкм.

При имеющих место в технике температурах тепловое излучение приходится на инфракрасную часть спектра с длиной волн 0,76-15 мкм, т. е. оно находится в ближней инфракрасной области.

Ниже приведена длина волн для различных видов излучения.

Гамма лучи - 0,000001-0,001 мкм,
Лучи рентгена - 0,001-0,02 мкм,
Ультрафиолетовые лучи - 0,02-0,4 мкм,
Видимые (световые) лучи – 0,4-0,76 мкм,
Инфракрасные тепловые лучи – 0,76-400 мкм,
Электромагнитные волны – 400 и выше.

Лучистая энергия, падающая на тело, частично им поглощается и пропускается, а остаток энергии отражается. Сумма коэффициентов

$$A + R + D = 1 \quad (2)$$

где A – коэффициент поглощения – отношение поглощенной энергии к падающей;

R – коэффициент отражения – отношение отраженной энергии к падающей;

D – коэффициент пропускания – отношение пропущенной энергии к падающей.

Если $A=0$, $R=0$ и $D=1$, то среда называется абсолютно прозрачной. Сухой и чистый воздух практически абсолютно прозрачен для теплового излучения.

Если приемником теплового излучения является твердое тело, то коэффициент пропускания $D=0$ (непрозрачное тело), и тогда $A + R = 1$.

Если $R = 1$ и $A = D = 0$, то поверхность тела полностью отражает всю падающую на него энергию. При этом, если отражение правильное, т. е. подчиняется законам геометрической оптики (угол отражения равен углу падения луча), оно называется зеркальным. Зеркальное отражение имеет место на гладких полированных поверхностях. Если поверхность не блестящая и не гладкая, а матовая и шероховатая, то отражение получается диффузным, т. е. отраженные лучи разлагаются на множество лучей по разным направлениям; такие тела называют белыми. Абсолютно белые

поверхности должны диффузно полностью отражать все падающие на них лучи.

При $R = D = 0$ и $A = 1$ вся падающая энергия поглощается приемником излучения и тело называется абсолютно черным. Абсолютно черных, зеркальных или белых тел в природе нет, однако и в теории и на практике они оказываются полезными абстракциями. Есть тела, приближающиеся к ним по свойствам. Например, темные шероховатые поверхности или твердые тела, покрытые слоем нефтяной сажи, приближаются к черным телам. Светлые гладкие или шероховатые поверхности имеют свойства, близкие к свойствам зеркальных или белых тел. Значения A , R и D зависят от природы тел, их температуры и длины волны излучения. Например, белые тела хорошо отражают лишь видимые световые лучи и плохо отражают тепловые лучи.

В качестве электрических генераторов коротковолнового инфракрасного излучения применяют два типа устройств: инфракрасные зеркальные лампы накаливания и трубчатые инфракрасные галогенные кварцевые излучатели.

В последнее время более широкое распространение, по сравнению с зеркальными инфракрасными лампами, для нагрева хлебопекарных печей получают так называемые трубчатые инфракрасные излучатели с оболочкой из кварцевого стекла. Кварцевые нагреватели являются более совершенными по сравнению с зеркальными лампами и имеют ряд существенных, сравнительно с ними, преимуществ. Так, используемое в них кварцевое стекло обладает высокой термостойкостью – температура его размягчения превышает 1700°C , а так же хорошей проницаемостью в широком диапазоне длин волн – от ультрафиолетовых до инфракрасных лучей с длиной волны 4 мкм.

1.7 Цель и задачи исследования

На основании представленного информационного материала, сформулирована цель диссертационной работы: идентификация рациональных режимов процессов сбивания бездрожжевого теста и выпечки сбивного хлеба.

Для достижения цели решались следующие задачи:

-исследование влияния конструктивных элементов установок на качество сбивного полуфабриката и время его приготовления;

-исследование кинетики процесса пенообразования бездрожжевого теста;

-определение рациональных режимов приготовления сбивного хлебопекарного теста;

-разработка математических моделей перемешивания бездрожжевого теста и насыщения сбивного теста воздухом;

-разработка и создание устройства для приготовления сбивного теста механическим способом разрыхления;

-исследование кинетики процесса выпечки сбивного хлеба с применением дополнительных нагревательных элементов.

Глава 2. Объекты и методы исследований

При механическом разрыхлении теста важным является выбор оптимальных параметров замеса сбивного теста. Целью исследования является выбор режима приготовления теста из пшеничной муки 1-го сорта, определение оптимальных значений давления подаваемого атмосферного воздуха в камеру, частоты вращения вала сбивальной машины, продолжительности сбивания полуфабриката. Установить влияние конструкции месильного органа на качество полуфабриката и энергетические характеристики замеса, а так же обосновать выбор расположения месильного органа в камере и расположение самой камеры. Выявить преимущества и недостатки рассматриваемых установок.

В работе применяли муку пшеничную первого сорта, воду питьевую, и лимонную кислоту (0,2 % к 100 г муки). Тесто готовили с массовой долей влаги 54 % в камерах экспериментальных сбивальных установок. Смешивание рецептурных компонентов осуществляли в течение 10 мин при частоте вращения месильного органа 5 с^{-1} .

2.1 Экспериментальная установка с горизонтально расположенным месильным органом и методика проведения эксперимента

2.1.1 Влияние продолжительности сбивания на качество сбивного полуфабриката

Формирование качества сбивных хлебобулочных изделий зависит от целого ряда факторов-сорта муки, количества и качества клейковины, рецептуры и влажности теста, способа приготовления и др. Учесть долю каждого отдельного фактора в формировании качества изделий сложно, поэтому необходимо выбрать обобщающий критерий, с помощью которого можно

прогнозировать свойства изделий и определять пути их регулирования. Таким критерием может являться продолжительность сбивания.

Можно утверждать, что влияние именно этого параметра в значительной мере сказывается на качестве сбивных полуфабрикатов, а так же на качестве готовых изделий.

Однако следует учитывать и тот факт, что, при сколь угодно длительном сбивании теста при атмосферном давлении, получить пенообразную структуру высокого качества не представляется возможным. Объемная масса полуфабриката, приготовленного при вышеописанных условиях, составляет не менее $0,74 \text{ г/см}^3$, чего не достаточно для выпечки качественных сбивных хлебобулочных изделий.

Поэтому, рассматривать отдельно такой важный параметр, как продолжительность сбивания не целесообразно.

2.1.2 Влияние давления сжатого воздуха на качество сбивного полуфабриката

При сбивании компонентов теста под давлением сжатого воздуха происходит интенсивное насыщение полуфабриката кислородом воздуха. При этом улучшаются структурно-механические свойства теста, уменьшается его объемная масса.

Давление воздуха заставляет увеличиваться в размерах образующиеся пузырьки и одновременно происходит дробление их на более мелкие. За счет этого количество пузырьков увеличивается, при этом тесто приобретает более пористую структуру. По мере сбивания воздух направляется в уже имеющиеся пузырьки, проникая в них, увеличивает давление. Пузырьки расширяются до тех пор, пока давление внутри и снаружи его не выровняется. При этом происходит расширение в объеме, т. е. разрыхление теста.

Исследования проходили следующим образом: по окончании перемешивания в камеру сбивальной установки (рис.2) под избыточным

давлением вводили атмосферный воздух и сбивали полуфабрикат при частоте вращения $8,3 \text{ с}^{-1}$ в течение 20 мин.

Экспериментальные данные зависимости объемной массы и кинетики процесса от продолжительности сбивания, полученные при разном атмосферном давлении в месильной камере (рис. 2.1, рис. 2.2), позволили получить серию кривых для сбивного теста.

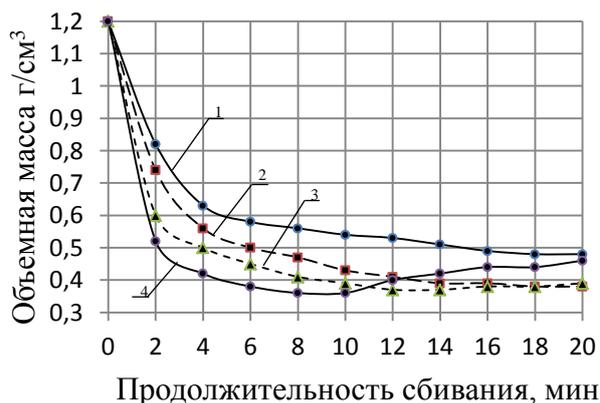


Рис. 2.1 Динамическая зависимость объемной массы теста от продолжительности сбивания при избыточном давлении воздуха, МПа: 1-0,1; 2-0,2; 3-0,3; 4-0,4.

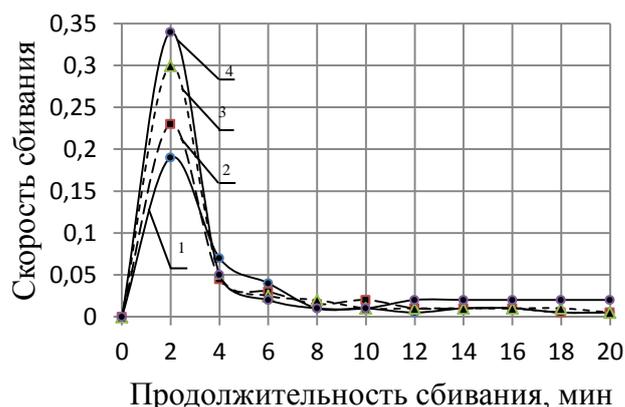


Рис. 2.2 Кинетическая зависимость объемной массы теста от продолжительности сбивания при избыточном давлении воздуха, МПа: 1-0,1; 2-0,2; 3-0,3; 4-0,4.

Установлено, что минимальное значение объемной массы, ($0,36 \text{ г/см}^3$) было получено в двух случаях: при 0,3 и 0,4 МПа на 18 и 8 мин. соответственно.

На основании вышеизложенных данных, можно сделать вывод, что для получения минимального значения объемной массы теста $0,36 \text{ г/см}^3$ давление в камере тестомесильной машины должно быть не менее 0,4 МПа. В противном случае процесс сбивания будет длительным, что нецелесообразно.

2.1.3 Влияние частоты вращения месильного органа на качество полуфабриката

Одной из важных задач, стоящей перед хлебопеками является интенсификация процесса приготовления теста, которая в свою очередь зависит

от ряда факторов, одним из которых является частота вращения месильного органа. На длительность процесса приготовления сбивного теста вышеуказанный параметр оказывает существенное влияние, поэтому, исследования в этом направлении являются весьма важными.

Исследования проходили аналогично пункту 2.1.2. Экспериментальные данные зависимости объемной массы и кинетики процесса от частоты вращения месильного органа, полученные в ходе эксперимента, позволили получить серию кривых (рис. 2.3 рис. 2.4), указывающих на достаточно существенное влияние частоты вращения месильного органа на качество сбивного полуфабриката и скорость сбивания.

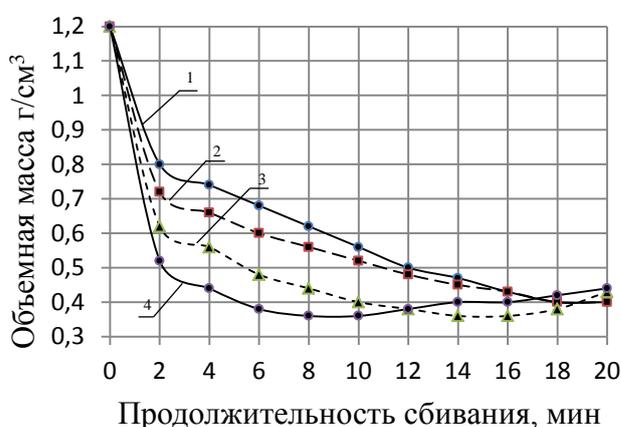


Рис. 2.4 Кинетическая зависимость объемной массы теста от интенсивности сбивания, об/мин: 1-200, 2-300, 3-400, 4-500.

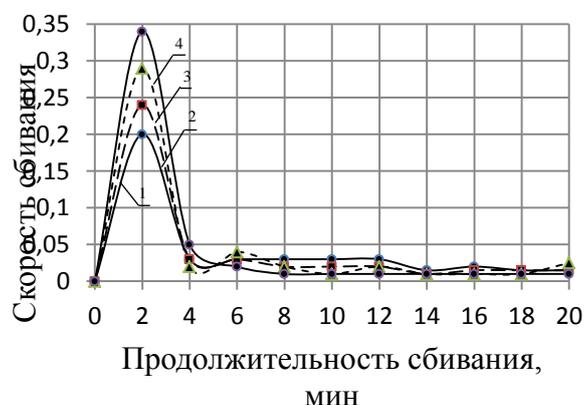


Рис. 2.3 Динамическая зависимость объемной массы теста от интенсивности сбивания, об/мин: 1-200, 2-300, 3-400, 4-500.

Результаты исследований, характера изменения показателей качества полуфабриката, и кинетики сбивания позволили сделать вывод о том, что интенсификация процесса приготовления сбивного теста в значительной степени зависит от частоты вращения месильного органа. При этом нужно учитывать и тот факт, что по достижению наименьшего значения объемной массы теста, процесс сбивания следует прекратить, в противном случае объемная масса будет увеличиваться.

2.1.4 Влияние формы месильного органа на энергетические характеристики сбивания и качество бездрожжевого полуфабриката

При механическом разрыхлении хлебопекарного теста качество сбивного полуфабриката зависит от ряда факторов: температуры, влажности теста, давления сжатого воздуха в месильном корпусе тестомесильной машины, температуры воды в рубашке охлаждения, конструкции и частоты вращения месильной лопасти. Одним из важных факторов является форма месильного органа.

Поэтому задачей настоящих исследований явилось изучение влияния формы месильного органа на энергетические характеристики сбивания и качество сбивного бездрожжевого хлебопекарного полуфабриката.

Тесто влажностью 54 % готовили из муки пшеничной первого сорта, лимонной кислоты, воды питьевой на установке периодического действия, затем сбивали под давлением 0,4 МПа [1]. По завершении процесса сбивания тестовые заготовки формовали массой 0,2 кг и выпекали при температуре 260 °С в течение 30 мин.

Исследовали две формы месильных органов: форма N 1-четыре полукольца, приваренные относительно друг друга под углом 90°, к бобышкам, расположенным на одной оси; форма N 2 - два полукольца, приваренные напротив друг друга под углом 180° к бобышкам, расположенным на одной оси (рис. 1).

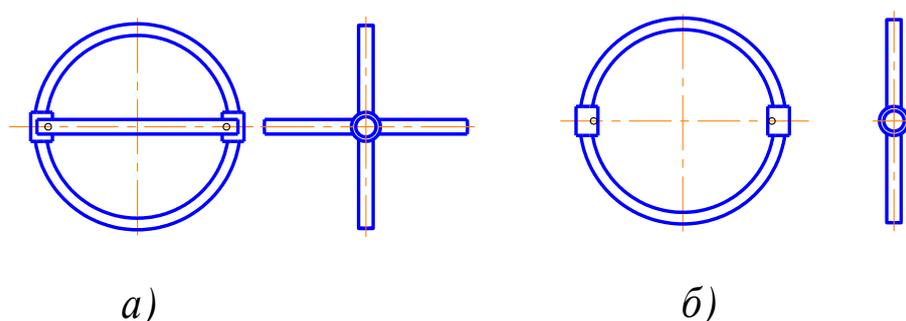


Рис. 2.5. Формы месильных органов: а - N 1; б - N 2

В процессе сбивания теста определяли энергетические характеристики сбивания в зависимости от формы месильного органа [2].

Величину удельной мощности на валу тестомесильной машины $N_{уд}$, (Вт/г) рассчитывали:

$$N_{уд} = (N_{потр} - N_{хх}) / M_T, \quad (2.1)$$

где $N_{потр}$ – потребляемая во время сбивания мощность, Вт; $N_{хх}$ – мощность, потребляемая при холостом ходе экспериментальной установки, Вт; M_T – масса теста, находящегося в рабочей камере, г.

Удельную работу, затраченную на замес 1 г теста $A_{уд}$, (Дж/г) рассчитывали по следующей формуле:

$$A_{уд} = \int_0^{\tau} N_{уд} \cdot d\tau, \quad (2.2)$$

где $d\tau$ продолжительность сбивания, мин.

Качество полуфабриката оценивали по его объёмной массе ρ , (г/см³), которую определяли волюмометрическим методом и рассчитывали по формуле:

$$\rho = (M_1 - M_2) / (M_3 \cdot 1000), \quad (2.3)$$

где M_1 -масса бюксы с тестом, г; M_2 -масса пустой бюксы, г; M_3 -масса бюксы с дистиллированной водой, численно равная объёму бюксы в см³.

Исследование энергетических характеристик приготовления теста с помощью месильных органов разной формы выявило, что при сбивании теста органом формы N 1 наблюдались наименьшие значения удельной мощности и величины энергии, затраченной на замес после 3 минут сбивания (рис. 2.6, рис. 2.7).

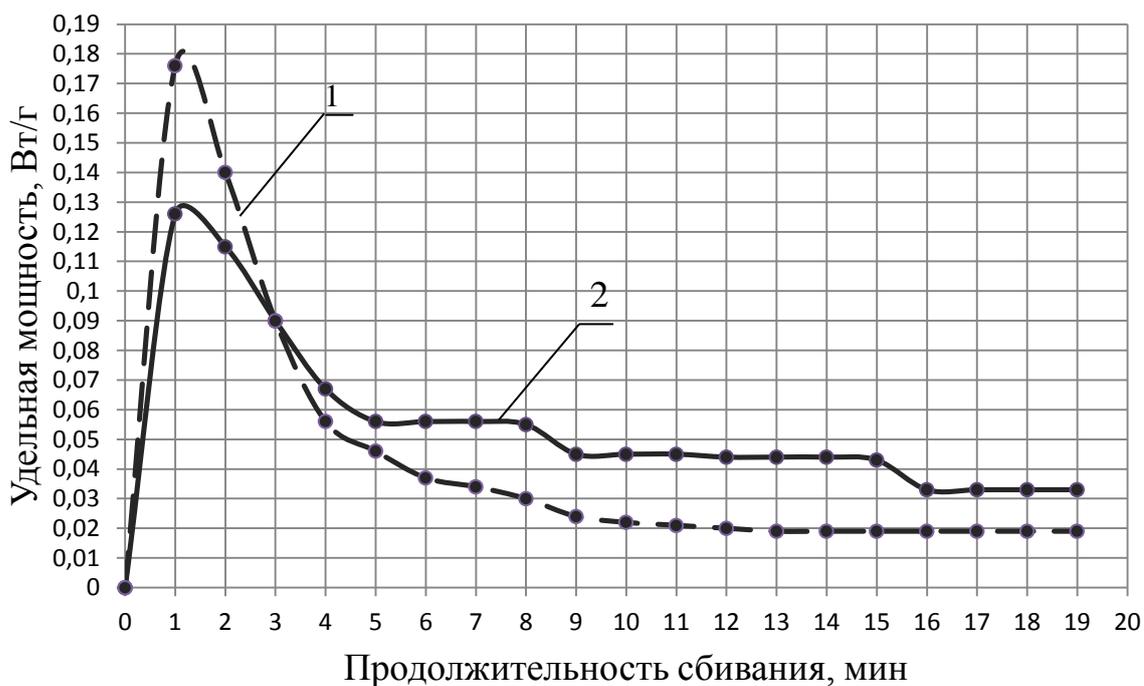


Рис. 2.6. Зависимость удельной мощности от продолжительности сбивания разными месильными органами: 1- форма N 1; 2 - форма N 2

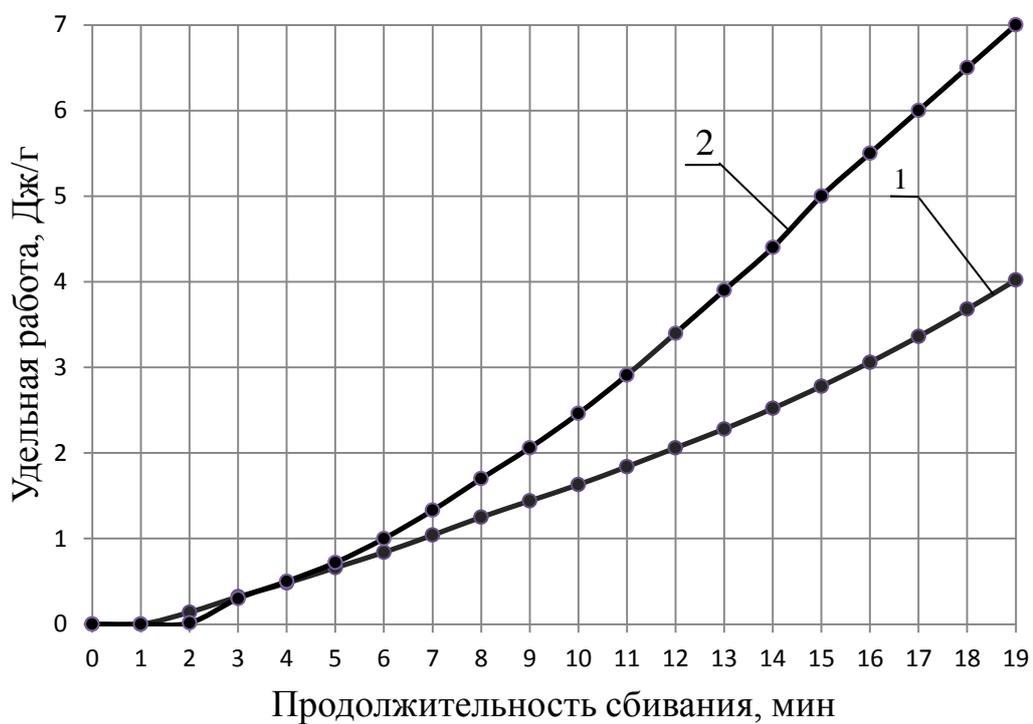


Рис. 2.7. Зависимость удельной работы от продолжительности сбивания разными месильными органами: 1- форма N 1; 2 - форма N 2

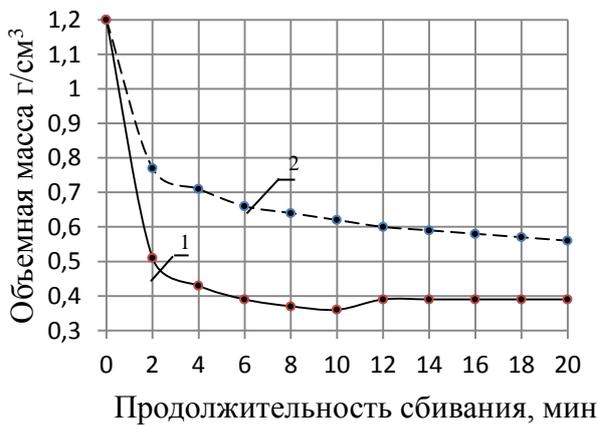


Рис. 2.8 Динамическая зависимость объемной массы теста от конструкции перемешивающих устройств: 1-форма N-1; 2 форма N-2.

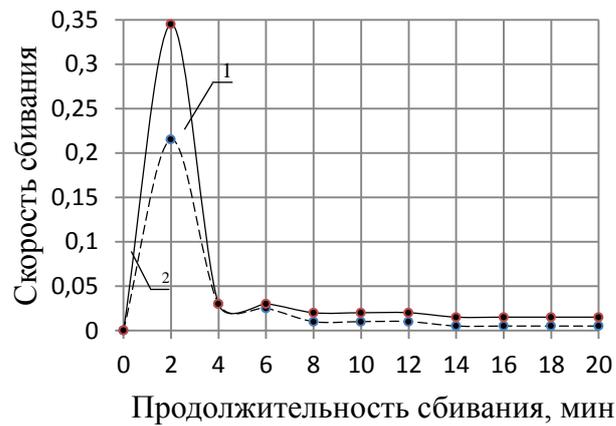


Рис. 2.9 Кинетическая зависимость скорости сбивания от конструкции перемешивающих устройств: 1-форма N-1; 2 форма N-2.

Выявлено, что при использовании месильного органа формы N 1 значения удельной мощности и удельной работы меньше, чем при сбивании месильным органом формы N 2. Очевидно, месильный орган формы N 1 способствует более интенсивному разрушению клейковинного каркаса, увеличению доли водорастворимых веществ, активно участвующих в процессе образования пены.

Исследование объёмной массы теста и кинетики процесса сбивания в зависимости от формы месильного органа (рис. 2.8, рис.2,9) при следующих режимах частота вращения органа 400 об/мин, давление сжатого воздуха в камере тестомесильной машины 0,4 МПа, продолжительность сбивания 20 мин показало, что наименьшей объёмной массой характеризовался образец теста, полученный с использованием органа формы N 1. Минимальное значение исследуемого параметра 0,36 г/см³ наблюдалось через 10 минут сбивания.

Таким образом, в ходе эксперимента выявлено, что форма месильного органа сбивальной установки, предназначенной для получения хлебопекарного теста механическим способом разрыхления, влияет на энергетические характеристики сбивания и качество полуфабриката.

Установлено, что месильный орган в виде четырёх полуколец, приваренных относительно друг друга под углом 90° , к бобышкам, расположенным на одной оси (форма N 1), позволяет снизить величину энергии, затрачиваемой на сбивание. При этом определены значения удельной работы 1,63 Дж/г и удельной мощности 0,022 Вт/г, обеспечивающие минимальную объёмную массу теста $0,36 \text{ г/см}^3$.

2.1.5 Недостатки установки с горизонтально расположенным месильным органом

Как уже отмечалось ранее в главе 1, вышеописанная установка обладает рядом преимуществ перед тестомесами, готовящими тесто традиционным способом. Однако, для разработки машин, способных приготовить сбивное тесто в промышленных условиях необходимо учесть недостатки конструкции данной установки, к которым можно отнести сложность изготовления днища камеры в виде полусферы, а так же крепление крышки к камере осуществляется несколькими гайками, на завинчивание и отвинчивание которых требуется время. А так же, опоры месильного органа, вваренные в корпус месильной камеры, проходят через рубашку охлаждения, препятствуя тем самым потоку охлаждающей жидкости, что снижает эффективность отвода тепла от теста.

Однако, основным недостатком данной конструкции является, то что для наиболее эффективного получения сбивного полуфабриката с заданными физико-химическими и структурно-механическими свойствами необходимо, чтобы объем, занимаемый рецептурными компонентами, либо не превышал высоту месильного органа, либо, если и превысил ее, то на незначительную высоту, в противном случае, время перемешивания компонентов, а так же время приготовления полуфабриката в целом увеличивается, из-за того, что месильный орган не может воздействовать на все компоненты.

Данная конструкция имеет еще один существенный недостаток, а именно: по окончании процесса сбивания камеру необходимо максимально

разгрузить, что оказалось невозможным, потому что, выгружая полуфабрикат продувкой сжатого воздуха, в камере остается большая его часть, а это недопустимо.

Из вышесказанного следует, что месильный орган сбивальной машины должен располагаться вертикально и, проходя через камеру воздействовать на все рецептурные компоненты одновременно.

2.2 Экспериментальная установка с вертикально расположенным месильным органом и методика проведения эксперимента

Перечисленные выше факты стали причиной создания установки с вертикально расположенной месильной лопастью (рис. 2.10).

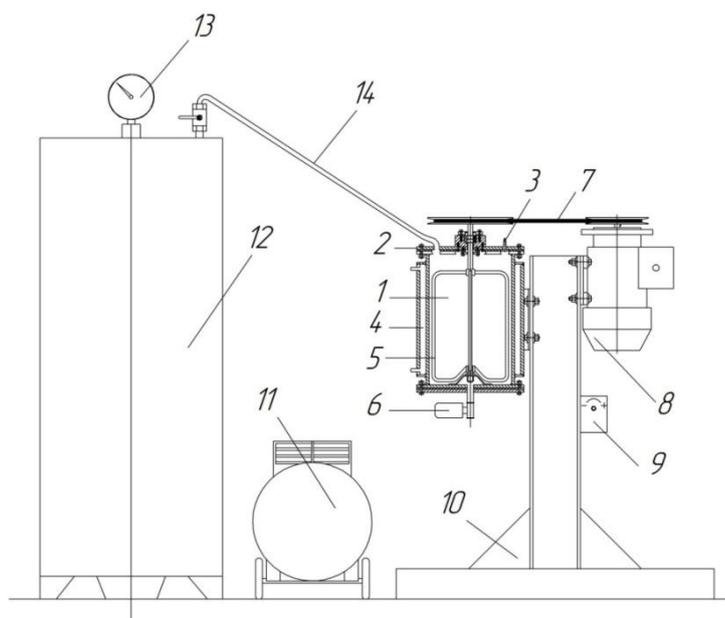


Рис. 2.10. Установка для приготовления хлебопекарного теста механическим способом разрыхления с вертикально расположенным месильным органом

Установка состоит из следующих элементов: 1-месильная камера, 2-крышка, 3-золотник, 4-рубашка охлаждения, 5-месильный орган, 6-устройство для выгрузки готового продукта, 7-ременной передачи, 8-эл. двигателя, 9-частотного преобразователя, 10 станины, 11-компрессора, 12-ресивера, 13-манометра, 14-патрубка.

2.2.1 Влияние давления сжатого воздуха на качество сбивного полуфабриката

Проведенные опыты показали, что динамика изменения объемной массы теста в зависимости от давления сжатого воздуха в камере тестомесильной машины с вертикально расположенным месильным органом практически не отличается от динамики, описанной в пункте 2.1.2., поэтому рассматривать ее подробно не имеет смысла.

2.2.2 Влияние частоты вращения месильного органа на качество сбивного полуфабриката

Ряд кривых, полученных в пункте 2.1.3. свидетельствует о существенном влиянии на качество полуфабриката и время его приготовления частоты вращения месильного органа. Однако, в силу того, что при проведении экспериментов в рецептуру не добавлялась поваренная соль, мы не имеем возможности сделать однозначного заключения о значимости выше оговоренного параметра.

Известно, что рядом ученых выявлено влияние соли на углеводно-амилазный, белково-протеиназный комплексы муки. Причем, данные отдельных исследований довольно противоречивы. Практически все работы посвящены изучению влияния соли в дрожжевом тесте или тесте без дрожжей, полученном путем обычного перемешивания [7, 115, 131].

В присутствии соли осмотическое набухание клейковины протекает медленно и недостаточно глубоко, что обусловлено плотной и прочной структурой белка. Находящиеся в тесте водорастворимые фракции белка и повышение концентрации NaCl увеличивают осмотическое давление интермицеллярной жидкости препятствующей набуханию клейковины, то есть действуют дегидратирующе [104].

Следовательно, соль при интенсивном механическом перемешивании ингредиентов теста, влияет на гидратную оболочку как растворимых, так и нерастворимых в воде белковых фракций, а также на их изоэлектрические точки.

Поэтому необходимость исследования зависимости объемной массы теста от оборотов месильного органа с применением в рецептуре соли поваренной пищевой можно объяснить тем, что соль, негативно влияя на процесс пенообразования, является одним из важных вкусовых компонентов, который широко применяется в современном хлебопечении.

Учитывая, что при приготовлении сбивного теста особую роль играет скорость сдвига. Чем меньше скорость деформации, тем больше вероятность разорванным связям восстановиться и создать дополнительные препятствия дальнейшему вязкому течению одних слоев относительно других. Исходя из этого, было принято решение увеличить частоту вращения месильного органа.

Однако, следует учитывать, что число оборотов рабочего органа зависит от его конструкции, и при определенной критической скорости эффект интенсивного воздействия может не иметь места, отсюда следует, что при увеличении скорости рабочего органа до некоторого критического значения качество полуфабриката снижается.

Работа строилась следующим образом: по окончании перемешивания в камеру сбивальной установки (рис.2.10) под избыточным давлением вводили атмосферный воздух, за тем тесто с массовой долей влаги 54 % сбивали в камере экспериментальной сбивальной установки при разной частоте вращения в течение 10 мин.(рис. 2.11). В ходе эксперимента использовали муку пшеничную первого сорта, воду питьевую, соль поваренную пищевую (1,3% на 100г муки) и лимонную кислоту (0,2 % к 100 г муки). Смешивание рецептурных компонентов осуществляли в течение 10 мин при частоте вращения месильного органа 5 с^{-1} .

Установлено, что минимальное значение объемной массы $0,4 \text{ г/см}^3$ возможно получить при разной частоте вращения месильного органа (рис.2.11).

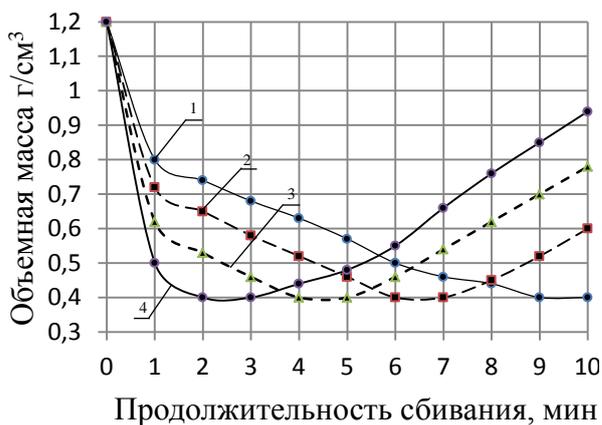


Рис. 2.11 Динамическая зависимость объемной массы теста от интенсивности сбивания, об/мин: 1-500, 2-600, 3-700, 4-800.

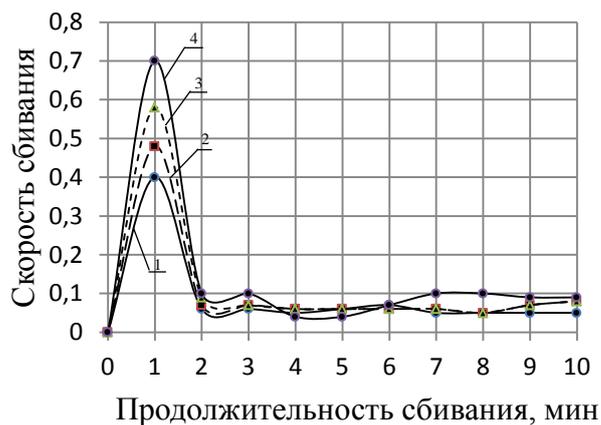


Рис. 2.12 Кинетическая зависимость объемной массы теста от интенсивности сбивания, об/мин: 1-500, 2-600,

Исходя из того, что одним из важных параметров при производстве сбивного теста, а так же других хлебобулочных изделий является время приготовления, то проанализировав ряд кривых, полученных при испытаниях можно с уверенностью утверждать, что частота вращения месильного органа сбивальной машины оказывает непосредственное влияние на вышеуказанный параметр, поэтому при разработке оборудования для приготовления хлебопекарного теста механическим способом разрыхления можно использовать полученные данные, потому как при 800 об/мин наименьшее значение объемной массы теста было получено уже после 2 минут сбивания.

2.2.3 Сравнение образцов теста и хлеба, полученных на разных установках при одинаковых условиях сбивания

Проведенные исследования показали, что обе испытываемые установки позволяют получить пенообразную структуру высокого качества, пригодную в дальнейшем для выпечки. Однако, для разработки промышленной машины предпочтительнее вертикальное расположение месильного органа, поэтому, было принято решение сравнить образцы теста и хлеба, полученные при одинаковых условиях сбивания. Для этого использовали муку пшеничную первого сора, соль поваренную

пищевую, кислоту лимонную, воду питьевую. Рецептурные компоненты перемешивали в течение 10 мин при частоте вращения мешалки 5 с^{-1} до получения однородной массы. Затем в камеру подавали сжатый воздух под давлением 0,4 МПа, и тесто влажностью 54% сбивали при частоте вращения месильного органа 11.6 с^{-1} . Через каждую минуту сбивания определяли объемную массу теста (таблица 2.1, 2.2), далее осуществляли формование тестовых заготовок и выпечку. В изделиях определяли удельный объем.

Таблица 2.1 - Показатели, полученные при работе на установке с вертикально расположенным месильным органом

Показатели.	Перемешивание	Продолжительность сбивания, мин									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Объемная масса, г/см^3	0,91	0,62	0,52	0,46	0,4	0,4	0,46	0,54	0,62	0,7	0,78
Температура, $^{\circ}\text{C}$	38	25	27	32	34	35	36	36	38	38	39
Удельный объем, $\text{см}^3/100$		200	214	234	282	270	263	257	250	245	238

Таблица 2.2 - Показатели, полученные при работе на установке с горизонтально расположенным месильным органом

Показатели.	Перемешивание	Продолжительность сбивания, мин									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Объемная масса, г/см^3	0,89	0,64	0,51	0,45	0,41	0,4	0,44	0,55	0,62	0,69	0,78
Температура, $^{\circ}\text{C}$	38	22	24	29	30	31	32	32	35	36	36
Удельный объем, $\text{см}^3/100$		205	215	235	282	272	265	256	251	244	238

Исследования показали, что вертикальное расположение месильного органа не сказывается негативно на качестве сбивного теста. Единственное различие между образцами заключается в том, что температура теста, приготовленного на установке с вертикально расположенным месильным органом несколько выше, это обусловлено тем, что дно камеры не охлаждается.

Очевидно, что при разработке промышленной машины необходимо учесть вышеизложенные факты, а именно то, что дно камеры также должно охлаждаться.

2.2.4 Влияние расположения месильной камеры на качество полуфабриката

Вследствие того, что мешалка проходит через всю камеру мы имеем возможность максимально разгрузить машину, что является основным ее преимуществом, перед установкой, рассмотренной в пункте 2.1., это дает повод предполагать, что промышленная установка будет иметь аналогичное расположение мешалки. В таком случае, месильную камеру необходимо повернуть на некоторый угол, для удобства загрузки рецептурных компонентов и выгрузки готового полуфабриката. В связи с этим, была изготовлена рама, позволяющая повернуть камеру на 60° (рис. 2.13).

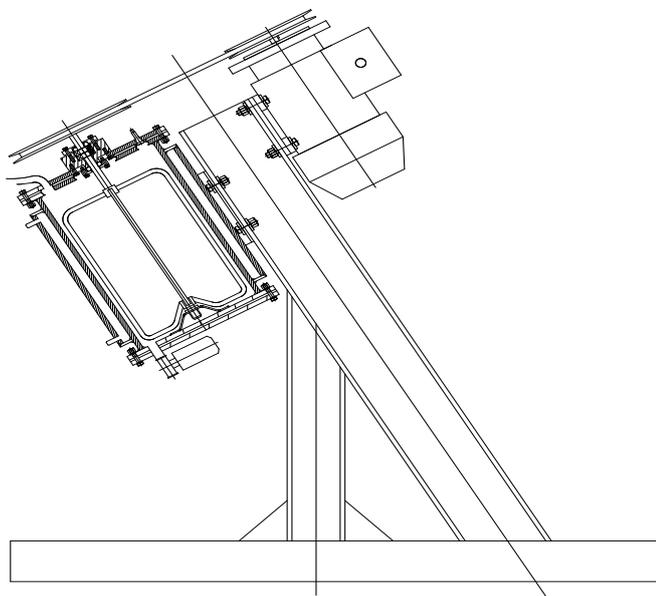


Рис. 2.13. Камера, расположенная под углом 60° .

Следовательно, задачей настоящих исследований явилось сравнение образцов теста полученных при работе с различным расположением камеры.

Для эксперимента использовали муку пшеничную первого сорта, воду питьевую, соль поваренную пищевую (1,3% на 100г муки) и лимонную кислоту (0,2 % к 100 г муки). Смешивание рецептурных компонентов осуществляли в течение 10 мин при частоте вращения месильного органа 5 с^{-1} . По окончании перемешивания в камеру подавали сжатый воздух под давлением 0,4 МПа. Частоту вращения месильного органа устанавливали $13,3 \text{ с}^{-1}$. Далее, через каждые 2 мин сбивания отбирали пробы теста, которые показали, что изменение положения камеры никоим образом не сказывается ни на качестве полуфабриката, ни на времени его приготовления (таблица 2.3).

Таблица 2.3 - Показатели, полученные при одинаковых условиях сбивания, с разным расположением камеры

N опыта	Наклон камеры	Продолжительность сбивания, мин.				
		2	4	6	8	10
		Объемная масса теста $\text{г}/\text{см}^3$				
1	90	0,4	0,43	0,55	0,76	0,94
2	60	0,4	0,44	0,54	0,76	0,95

Анализируя информацию, полученную в ходе экспериментов, можно с уверенностью констатировать, что изменение расположения камеры тестомесильной машины никоим образом не сказывается ни на качестве полуфабриката, ни на времени его приготовления.

2.3 Установка для приготовления хлебопекарного теста механическим способом разрыхления в промышленных условиях

Основываясь на проведенных исследованиях, был разработан и изготовлен промышленный образец машины для приготовления сбивного хлеба (рис. 2.14).

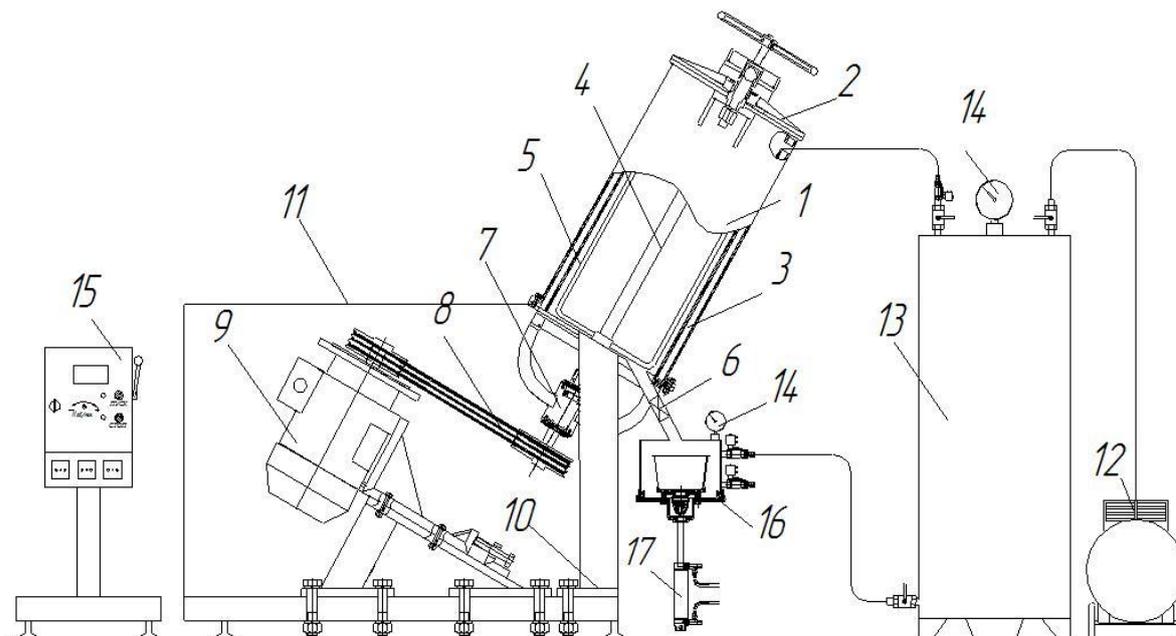
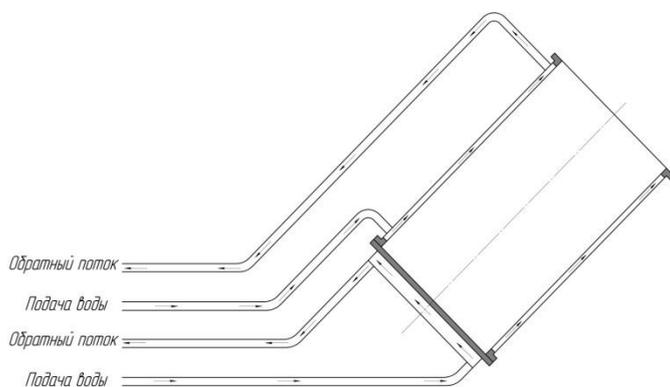


Рис. 2.14. Промышленная месильно-сбивальная машина для приготовления теста механическим способом разрыхления

Машина содержит: 1-месильную камеру с герметичной крышкой 2, 3-рубашку охлаждения, 4-вал с рабочим органом 5, 6-устройство для выгрузки готового продукта, 7-подшипниковый узел, эл. двигатель 9, приводящий в движение вал через ременную передачу-8. Камера с двигателем закреплены на станине-10, причем, ременная передача закрыта защитным кожухом 11. Компрессор 12, ресивер 13, манометр 14, пульт управления 15, узел для деления теста 16, пневмоцилиндр 17.

Для удобства обслуживания, привод расположен снизу. Для



облегчения загрузки рецептурных компонентов и выгрузки готового продукта, камера расположена под углом 60° . Дно машины также охлаждается (рис.2.15).

Рис. 2.15-Рубашка охлаждения

2.3.1 Влияние заполнения месильной камеры промышленной сбивальной машины на качество сбивного полуфабриката

При изучении структурообразования теста на лабораторных установках было уделено внимание таким факторам как давление воздуха, частота вращения месильного органа, продолжительность сбивания полуфабриката, его влажность. Однако, при работе на промышленной установке стало очевидно, что на качество сбивного полуфабриката влияет количество теста, находящегося в камере.

Поэтому целью исследований явилось изучение влияния количества теста, в месильной камере на качество сбивного полуфабриката.

Тесто, влажностью 56% из муки пшеничной 1го сорта, соли поваренной пищевой, лимонной кислоты, воды питьевой замешивали на промышленной сбивной машине до получения однородной массы, а затем сбивали, при частоте вращения месильного органа 16 с^{-1} , под давлением сжатого воздуха 0,4 МПа в течение 14 мин. Через каждые 2 мин сбивания определяли объёмную массу теста.

Было проделано несколько опытов, причем, каждый раз количество теста в камере увеличивалось (таб. 2.4).

Таблица 2.4 - Значения объёмной массы теста при разном заполнении камеры сбивальной машины.

Заполн. камеры %	Объёмная масса теста, г/см ³ в процессе его сбивания, мин						
	2	4	6	8	10	12	14
20	0,5	0,48	0,45	0,42	0,4	0,43	0,47
30	0,5	0,48	0,45	0,42	0,4	0,43	0,47
40	0,52	0,5	0,48	0,45	0,42	0,4	0,43
50	0,55	0,53	0,5	0,47	0,45	0,42	0,44
60	0,61	0,58	0,53	0,5	0,5	0,53	0,58

Выявлено, что при заполнении месильной камеры, более чем на 40 %, получить минимальное значение объёмной массы теста не представляется возможным. Поэтому, при приготовлении сбивного теста в промышленных условиях, не рекомендуется заполнять месильную камеру сбивальной машины более чем на 40 %. В противном случае качество сбивного полуфабриката ухудшится.

Таким образом, в работе было определено влияние конструктивных особенностей установок на качество теста, что позволило разработать и рекомендовать для работы в производстве промышленную сбивальную машину для приготовления хлебопекарного теста механическим способом разрыхления, а также для приготовления мучных кондитерских изделий.

Машина характеризуется широким диапазоном параметров сбивания (частота вращения месильного органа, величина давления подаваемого атмосферного воздуха, температура водяной рубашки), плавностью их регулирования, возможностью получения сбивных масс различного состава и влажности, простотой монтажа, конструкции и обслуживания.

В ходе исследований, было установлено, что благодаря минимальному зазору между месильным органом и стенкой камеры, количество теста, оставшееся внутри машины после выгрузки не значительно, и не влияло на качество полуфабриката, полученного при следующем замесе, что позволяет не мыть установку перед каждым последующим замесом, снижая тем самым время, затрачиваемое на обслуживание камеры, что тоже значимо.

2.3.2 Моделирование и оптимизация параметров замеса сбивного полуфабриката

Замес теста при механическом разрыхлении является важной стадией, от которой зависят показатели качества сбивного полуфабриката и готового изделия, поэтому изучение влияния технологических параметров на протекание этих процессов является актуальным.

Целью исследований было изучение влияния параметров приготовления сбивного теста из пшеничной муки 1-го сорта на качество теста.

Для исследования взаимодействия различных факторов, определяющих физико-химические показатели теста, применяли математические методы планирования эксперимента [93, 51]. В качестве основных факторов выбраны параметры, влияющие на качество сбивного теста: x_1 – коэффициент заполнения камеры; x_2 – частота вращения перемешивающего устройства; x_3 – время сбивания (табл. 2.5).

Таблица 2.5 - Характеристики планирования

Условия планирования	Значения факторов, %		
	x_1	x_2	x_3
Основной уровень (0)	50	700	12
Интервал варьирования	10	50	4
Верхний уровень (+1)	60	750	16
Нижний уровень (-1)	40	650	8
Верхняя «звездная» точка (+1,682)	66,8	784	18,72
Нижняя «звездная» точка (-1,682)	33,2	616	5,28

Выходным параметром служил основной показатель качества теста : y_1 – объемная масса теста, г/см³, y_2 – производительность, кг/ч.

Выбор интервалов изменения факторов обуславливался технологическими характеристиками теста и качеством изделий, а так же конструктивными параметрами машины.

С целью сокращения продолжительности экспериментальных исследований и снижения затрат на их реализацию, было реализовано центральное композиционное ротатабельное планирование в соответствии с матрицей планирования (табл. 2.6).

Опыты проводили в двух кратной повторности. Для исключения влияния неконтролируемых параметров на результаты эксперимента порядок опытов рандомизировали посредством таблицы случайных чисел. В табл. 2.6 представлены средние арифметические значения функций отклика в двух параллельных опытах.

Таблица 2.6 - Матрица планирования и результаты эксперимента

№ опыта	Кодированные значения факторов			Натуральные значения факторов			Функция отклика	
	X_1	X_2	X_3	$x_1, \%$	$x_2, \text{мин}^{-1}$	$x_3, \text{мин}$	$y_1, \text{см}^3/100 \text{ г}$	$y_2, \text{кг/ч}$
1	-1	-1	-1	40	650	8	0,49	73,5
2	+1	-1	-1	60	650	8	0,65	146,2
3	-1	+1	-1	40	750	8	0,44	66
4	+1	+1	-1	60	750	8	0,58	130
5	-1	-1	+1	40	650	16	0,4	30
6	+1	-1	+1	60	650	16	0,54	60,7
7	-1	+1	+1	40	750	16	0,54	40,5
8	+1	+1	+1	60	750	16	0,6	67,5
9	-1,68	0	0	33,2	700	12	0,42	34,6
10	+1,68	0	0	66,8	700	12	0,6	107
11	0	-1,68	0	50	784	12	0,48	60
12	0	+1,68	0	50	616	12	0,48	60
13	0	0	-1,68	50	700	5,28	0,47	133
14	0	0	+1,68	50	700	8,72	0,47	37,7
15	0	0	0	50	700	12	0,48	60
16	0	0	0	50	700	12	0,5	62,5
17	0	0	0	50	700	12	0,48	60
18	0	0	0	50	700	12	0,49	61,2
19	0	0	0	50	700	12	0,46	57,5
20	0	0	0	50	700	12	0,48	60

Статистическая обработка экспериментальных данных заключалась в вычислении оценок регрессионных коэффициентов, проверке их значимости, оценке воспроизводимости опытов и установлении адекватности полученных регрессионных уравнений. При этом были использованы статистические критерии Стьюдента, Кохрена и Фишера (при доверительной вероятности 95 %).

Установлено, что оценки коэффициентов b_{123} являются статистически незначимыми и их можно исключить из рассмотрения. Уравнение регрессии, адекватно описывающие зависимости объемной массы теста y_1 от изучаемых факторов имеют вид уравнений второго порядка

$$y_1 = 0,48318 + 0,05375X_1 - 0,00875X_2 - 0,0005X_3 - 0,0125X_1X_3 + (2) \\ + 0,01034X_1^2 + 0,004091X_2^2 + 0,0278841X_3^2$$

$$y_2 = 60,0189 + 22,176X_1 - 0,469X_2 - 27,637X_3 - 1,55X_1X_2 - \\ + 9,875X_1X_3 + 5,125X_2X_3 + 3,486X_1^2 + 1,077X_2^2 + 10,059X_3^2 \quad (3)$$

где X_i – кодированные значения факторов, связанные с натуральными значениями x_i соотношениями:

$$X_1 = \frac{x_1 - 50}{10}; \quad X_2 = \frac{x_2 - 700}{50}; \quad X_3 = \frac{x_3 - 12}{4}. \quad (4)$$

Анализ коэффициентов при линейных членах уравнений показал, что на объемную массу теста (Y_1 г/см³) значительное влияние оказывает продолжительность сбивания и коэффициент заполнения.

В результате расчетов найдены оптимальные значения параметров: $x_1=40\%$, $x_2=13,3\text{c}^{-1}$, $x_3=8\text{мин}$, которые обеспечивают минимальное значение объемной массы теста.

Правильность выбора оптимального соотношения параметров процесса подтвердили серией параллельных экспериментов, которая показала сходимость результатов.

Графические зависимости полученных характеристик теста от исследуемых факторов представлены на рис. 2.16.

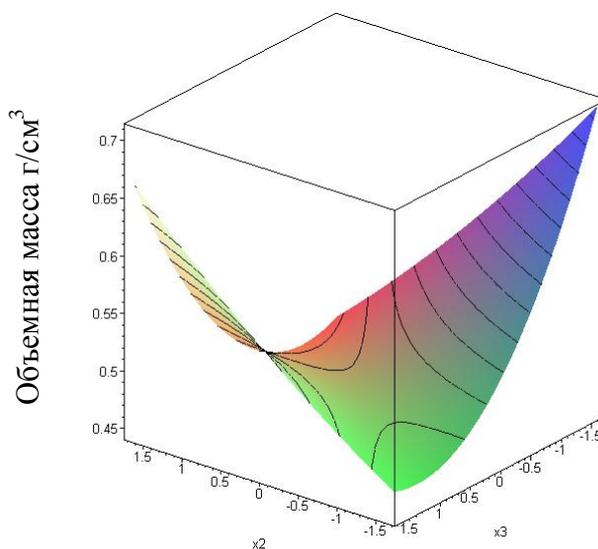


Рис. 2.16 Поверхность отклика объемной массы сбивного полуфабриката x_2 - частота вращения и x_3 - продолжительность сбивания (при частоте вращения $13,3 \text{ c}^{-1}$)

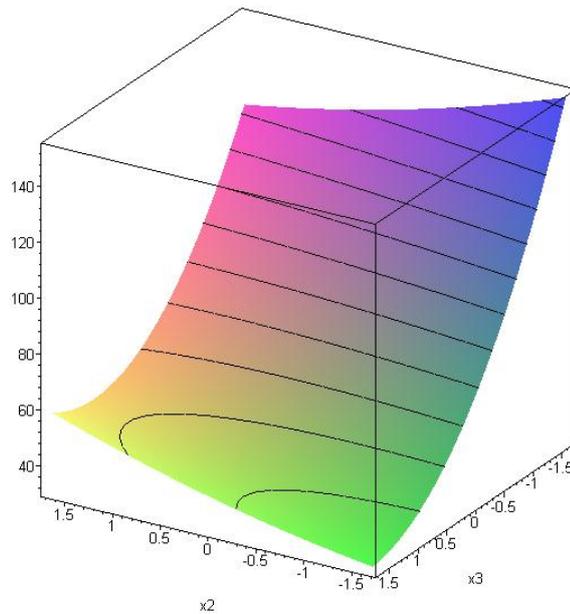


Рис. 2.17 Поверхность отклика производительности x_2 - частота вращения и x_3 - коэффициент заполнения

Таким образом, было установлено влияние параметров замеса (частота вращения, давление воздуха, продолжительность сбивания, коэффициент заполнения камеры) на качественные показатели сбивного теста. На основании уравнений определены оптимальные параметры замеса, которые могут быть рекомендованы при производстве сбивного теста требуемого качества.

Глава 3. Интенсификация процесса перемешивания

Перемешивание является очень распространенным процессом в хлебопекарной и смежных с ней отраслях промышленности, а так же в повседневной жизни. Оно может осуществляться в трубопроводе, через который протекает жидкость, в перекачивающем насосе, на тарелке ректификационной колонны и т. д., а так же в аппаратах с мешалками, предназначенных специально для этой цели. Перемешивание может протекать самопроизвольно, например за счет диффузии компонентов системы, или же принудительным путем вследствие повода к системе извне механической энергии, например с помощью мешалок.

Термин «перемешивание» означает соединение объемов различных веществ с целью изучения однородной смеси, например растворов, эмульсий, суспензий и т. п.

В данном случае рассматривается процесс перемешивания с применением механических мешалок (так называемое механическое перемешивание).

Механическое перемешивание производится с целью:

- а) создания однородных растворов, эмульсий и суспензий;
- б) интенсификации процессов теплообмена;
- в) интенсификации процессов массообмена.

Особенно многочисленна третья группа процессов, поскольку они могут протекать в различных неоднородных системах, таких как жидкость-жидкость или жидкость-твердое тело. В этих случаях интенсивность процесса может быть продиктована условиями создания двухфазной системы-эмульсии или суспензии.

Механическое перемешивание производится в аппаратах, носящих общее название аппаратов с мешалками. В частных случаях эти аппараты могут называться реактором, автоклавом или, более специально, нитратором, сульфатором и т. п.

3.1. Применение твердой фазы воды в процессе перемешивания бездрожжевого теста

Ключевыми параметрами, влияющими на качество сбивного хлеба, являются однородность теста и его температура по окончанию процесса перемешивания, которая не должна превышать 36°C. В противном случае, в ходе сбивания, температура тестовой массы может достигнуть критических значений 56-62°C, что приводит к денатурации белка. Вследствие чего получить хлебобулочные изделия требуемого качества не представляется возможным.

Поэтому, снижение температуры теста при перемешивании является актуальной задачей.

Для решения вышеуказанной задачи предложен способ производства сбивных бездрожжевых хлебобулочных изделий, характеризующийся тем, что тесто замешивают из муки пшеничной 1 или 2 сортов, соли поваренной пищевой, концентрата яблочного сока и воды до влажности теста 56%, причем 1/2 часть рецептурного количества воды заменяют льдом, при замесе теста сначала в месильную камеру заливают 1/2 часть воды от его рецептурного количества, вносят соль поваренную пищевую в количестве 1,3% от массы муки, концентрат яблочного сока в количестве 3% от массы муки, и перемешивают компоненты в течение 1-2 мин при частоте вращения месильного органа $0,4\text{c}^{-1}$, затем засыпают измельченный до 2-3 см³ лед, загружают муку и перемешивают все рецептурные компоненты до полного растворения льда в течение 4-5 мин, при частоте вращения месильного органа 4c^{-1} , затем камеру герметично закрывают крышкой, подают в нее сжатый воздух с давлением 0,4 МПа, устанавливают частоту вращения месильного органа 12c^{-1} и сбивают тесто в течение 8 мин, затем тесто выгружают под рабочим давлением, формируют из него тестовые заготовки массой 0,25 кг и выпекают при температуре 250 °C.

Таким образом, внесение в рецептуру твердой фазы воды позволило не только снизить температуру теста, но и уменьшить время его перемешивания, а так же снизить энергозатраты (таблица 3).

Таблица 3 - Значения температуры теста при перемешивании с применением твердой фазы воды

N опыта	N Об/мин	τ перемеш. мин.	Безо льда			τ перемеш. мин.	Со льдом		
			t перемеш. °С		Сила тока А		t перемеш. °С		Сила тока А
			t нач.	t кон.			t нач.	t кон.	
1	200	20	14	28,5	7,1	6	5	5	4
2	300	18	14	30	9,6	5	5	5	4,3
3	400	16	14	30,5	11,2	4	5	5	4,8
4	500	14	14	32	12,7				
5	600	12	14	38	13,4				

Из таблицы видно, что применение льда позволило снизить температуру теста в 7 раз, уменьшить время перемешивания в 3 раза, уменьшить силу тока, а так же энергозатраты в целом 2 раза. Поэтому, предложенный способ перемешивания может быть рекомендован для производства сбивного хлеба в промышленных масштабах.

3.2. Модель перемешивания бездрожжевого теста

Одной из основных задач в технологической цепочке получения сбивных бездрожжевых хлебобулочных изделий является получение однородной смеси муки и воды, которая осуществляется в реакторе смешения. При этом засыпка муки производится в реактор с водой через свободную поверхность. В настоящее время точно описать этот процесс с использованием фундаментальных уравнений Навье-Стокса не представляется возможным по причине большого количества факторов влияния и наличия существенной турбулентности. В этом случае необходимо применить метод математического моделирования, выбрав в качестве основного закона переноса частиц муки в объеме реактора с выбранной конструкцией мешалки псевдо-диффузионный механизм Фика,

$$J = -D \text{grad}C \quad (3.12)$$

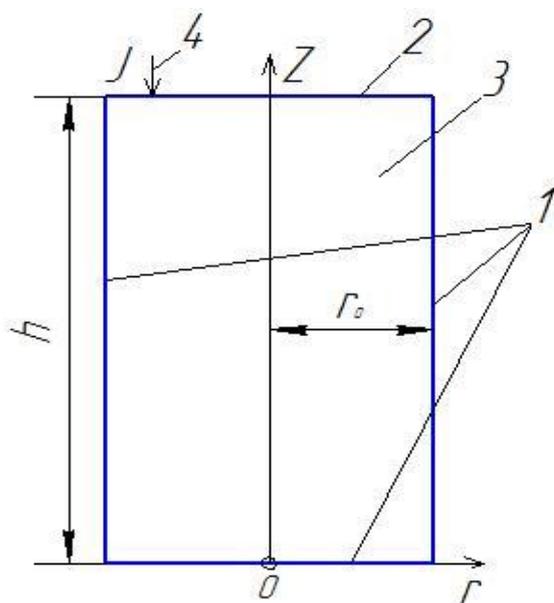


Рис. 3.6. Расчетная схема: 1-смоченная поверхность; 2- свободная поверхность; 3- дисперсионная среда; 4-поток дисперсной фазы.

в котором под D будем понимать эффективный коэффициент перемешивания, характеризующий гидродинамическую обстановку в реакторе, его геометрию и тип мешалки с ее локализацией, где C -концентрация частиц муки; J -плотность потока взвеси. Наибольшее применение нашли реакторы, имеющие форму

вертикального цилиндра, поэтому при синтезе модели будем рассматривать именно такую форму. Кроме того, процесс засыпки будем полагать

однородным через свободную поверхность с известной массой. Расчетная схема

с указанием цилиндрической системы координат геометрических размеров приведена на рис. 3.6. Пусть время засыпки τ_0 известно, причем процесс засыпки будем представлять прямоугольным импульсом во времени, т.е.

$$1(\tau) - 1(\tau - \tau_0) \quad (3.13)$$

где, $1(\dots)$ -односторонняя функция Хевисайда, которая классически определяется следующим образом:

$$1(x) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ 1, & x \geq 0 \end{cases} \quad (3.14)$$

Учитывая (3.14), выражение (3.13) может быть графически представлено, как показано на рис.3.7. В качестве краевых условий выбираем

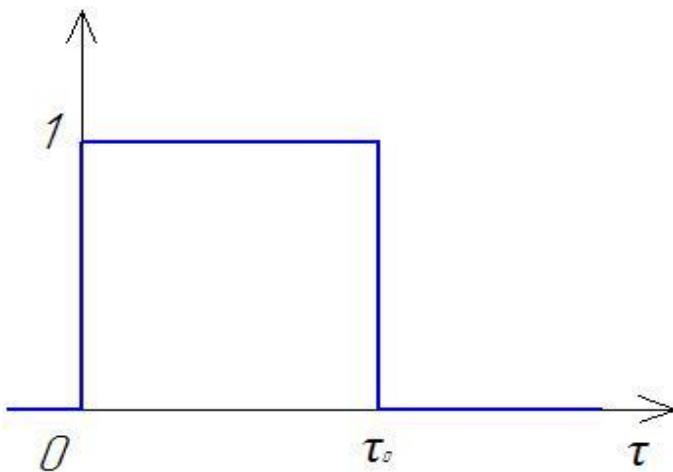


Рис. 3.7. Графическое изображение прямоугольного импульса.

следующее: начальное условие будет состоять в отсутствии частиц муки в начальный момент времени, на смоченной поверхности формулируется условие непроницаемости границы для частиц, на смоченной поверхности задается импульсный поток. В этом случае математическая формулировка модели сводится к записи:

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} = D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial c}{\partial r} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right); \quad (3.15)$$

$$c|_{\tau=0} = 0; \quad (3.16)$$

$$\frac{\partial c}{\partial z} |_{z_0} = \frac{\partial c}{\partial r} |_{r_0} = \frac{\partial c}{\partial r} |_{r=r_0} = 0; \quad (3.17)$$

$$D \frac{dc}{dz} |_{z=h} = J[1(\tau) - 1(\tau - \tau_0)]. \quad (3.18)$$

Введем характерный размер реактора как отношение объема воды к поверхности этого объема

$$L = \frac{V}{S} = \frac{\pi r_0^2 h}{2\pi r_0 h + 2\pi r_0^2} = \frac{r_0 h}{2(h + r_0)}, \quad (3.19)$$

и относительные переменные

$$\theta = \frac{rD}{l^2}, \quad C = \frac{cD}{lj}, \quad R = \frac{r_0}{l}, \quad Z = \frac{z}{l}, \quad (3.20)$$

тогда система (3.15)-(3.18) примет вид:

$$\frac{\partial c}{\partial \theta} = \frac{\partial^2 c}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial c}{\partial R} + \frac{\partial^2 c}{\partial Z^2}; \quad (3.21)$$

$$C(Z, R, 0) = 0; \quad (3.22)$$

$$\frac{\partial c(O, R, \theta)}{\partial z} = \frac{\partial c(Z, O, \theta)}{\partial R} = \frac{\partial c(Z, R_0, \theta)}{\partial R} = 0, \quad (3.23)$$

$$\frac{\partial c(H, R, \theta)}{\partial Z} = 1(\theta) - 1(\theta - \theta_0), \quad (3.24)$$

где
$$R_0 = \frac{r_0}{l}, H = \frac{h}{c}, \theta_0 = \frac{r_0 D}{l^2}, \quad (3.25)$$

Вместо (3.21)-(3.24) будем последовательно решать сначала задачу

$$\frac{\partial c}{\partial \theta} = \frac{\partial^2 c}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial c}{\partial R} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2}; \quad (3.21 - a)$$

$$C = (Z, R, O) = 0; \quad (3.22 - a)$$

$$\frac{\partial c(O, R, \theta)}{\partial z} = \frac{\partial c(Z, O, \theta)}{\partial R} = \frac{\partial c(Z, R_0, \theta)}{\partial R} = 0; \quad (3.23 - a)$$

$$\frac{\partial c(H, R, \theta)}{\partial z} = 1. \quad (3.24 - a)$$

Для решения математической модели (3.21-а)-(3.24-а) воспользуемся неконечным интегральным преобразованием Ханкеля по переменной R

$$H_R[C(Z, R, \theta)] = H_R(Z, P, \theta) = \int_0^{R_0} R J_0(pR) C(Z, R, \theta) \partial R, \quad (3.25)$$

где J_0 -функция Бесселя первого рода нулевого порядка.

Воспользуемся сверткой оператора Лапласа

$$\frac{1}{R} \frac{\partial c}{\partial R} + \frac{\partial^2 c}{\partial R^2} = \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial R} \left(R \frac{\partial c}{\partial R} \right)$$

и найдем ее изображение по Ханкелю

$$H_R \left[\frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial R} \left(R \frac{\partial c}{\partial R} \right) \right] = \int_0^{R_0} R J_0(PR) \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial R} \left(R \frac{\partial c}{\partial R} \right) \partial R =$$

$$= \int_0^{R_0} J_0(pR) \frac{\partial}{\partial R} \left(R \frac{\partial c}{\partial R} \right) dR = \left| \begin{array}{l} J_0(pR) = u; \\ \frac{\partial}{\partial R} \left(R \frac{\partial c}{\partial R} \right) dR = dV; \end{array} \right.$$

$$pJ_0^1(pR)dR = du \Big|_{R = \frac{\partial c}{\partial R} = V} = \left[R \frac{\partial c}{\partial R} J_0(dR) \right] \Big|_0^{R_0} - p \int_0^{R_0} R \frac{\partial c}{\partial R} J_0^1(pR) =$$

$$= R_0 \frac{\partial c(Z, R_0, \theta)}{\partial R} - p \int_0^{R_0} R \frac{\partial C}{\partial R} J_0^1(pR) = \left| \begin{array}{l} RJ_0^1(pR) = u; \\ \frac{\partial c}{\partial R} dR = dV; \end{array} \right.$$

$$\left[J_0^1(pR) + pRJ_0^2(pR) \right] dR = du \Big|_{C = V} =$$

$$= -p \left\{ [RJ_0^1(pR)C] \Big|_0^{R_0} - \int_0^{R_0} [J_0^1(pR) + pRJ_0^2(pR)] C dR \right\} = -pR_0 J_0^1(pR_0)C \Big|_{R_0} +$$

$$+ p \int_0^{R_0} [J_0^1(pR) + pRJ_0^2(pR)] C dR = pR_0^2 J_1(pR_0)C \Big|_{R_0} - p^2 \int_0^{R_0} RJ_0(pR)C dR =$$

$$= pR_0^2 J_1(pR_0)C \Big|_{R_0} - p^2 H_R(Z, p, \theta). \quad (3.26)$$

Из 3.26 следует, что характеристическое уравнение для нахождения p таково:

$$J_1(pR_0) = 0. \quad (3.27)$$

Изображение остальных составляющих имеет вид:

$$H_R \left[\frac{\partial c}{\partial \theta} \right] = \frac{\partial}{\partial \theta} H_R [C] = \frac{\partial H_R}{\partial \theta}; \quad (3.28)$$

$$H_R \left[\frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right] = \frac{\partial^2}{\partial z^2} H_R [C] = \frac{\partial^2 H_R}{\partial z^2}; \quad H_R \left[\frac{\partial c(O, R, \theta)}{\partial z} \right] = \frac{\partial H_R(O, p, \theta)}{\partial z};$$

Представим 1 рядом Фурье-Бесселя:

$$1 = \sum_{m=1}^{\infty} a_m J_0 \left(g_m \frac{R}{R_0} \right) \quad (3.29)$$

где g_m -корни уравнения

$$J_0(g_m) = 0, \quad (3.30)$$

а коэффициент разложения a_m представляется в виде:

$$\begin{aligned} a_m &= \frac{2}{R_0^2 J_1^2(g_m)} \int_0^{R_0} R J_0 \left(g_m \frac{R}{R_0} \right) dR = \frac{2}{J_1^2(g_m)} \frac{1}{g_m^2} \int_0^{R_0} \left(g_m \frac{R}{R_0} \right) d \left(g_m \frac{R}{R_0} \right) = \\ &= \frac{2}{J_1^2(g_m)} \frac{1}{g_m^2} \left[g_m \frac{R}{R_0} J_1 \left(g_m \frac{R}{R_0} \right) \right] \Big|_0^{R_0} = \frac{2}{J_1^2(g_m)} \frac{g_m}{g_m^2} J_1(g_m) = \frac{2}{g_m J_1^2(g_m)}. \end{aligned}$$

Т.е. (3.29) в окончательном виде представляется следующим образом

$$1 = 2 \sum_{m=1}^{\infty} \frac{J_0 \left(g_m \frac{R}{R_0} \right)}{g_m J_1^2(g_m)}. \quad (3.31)$$

На основании (3.31) изображение по Ханкелю будет

$$H_R[1] = 2 \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{g_m J_1(g_m)} \int_0^{R_0} R J_0\left(g_m \frac{R}{R_0}\right) J_0(pR) dR. \quad (3.32)$$

Интеграл в (3.32) есть интеграл Ламмеля, который равен:

$$\int_0^{R_0} R J_0\left(g_m \frac{R}{R_0}\right) dR = \frac{R_0}{(g_m/R_0)^2 - p^2} \left[\frac{g_m}{R_0} J_0(pR_0) J_1(g_m) - p J_0(g_m) \cdot J_1(pR_0) \right] =$$

$$= \frac{g_m J(pR_0) J_1(g_m)}{(g_m/R_0)^2 - p^2}. \quad (3.33)$$

Расчеты при $m=100$ по формуле (3.31) для $R_0=1$ и $R_0=2$ представлена на рис.3.8.

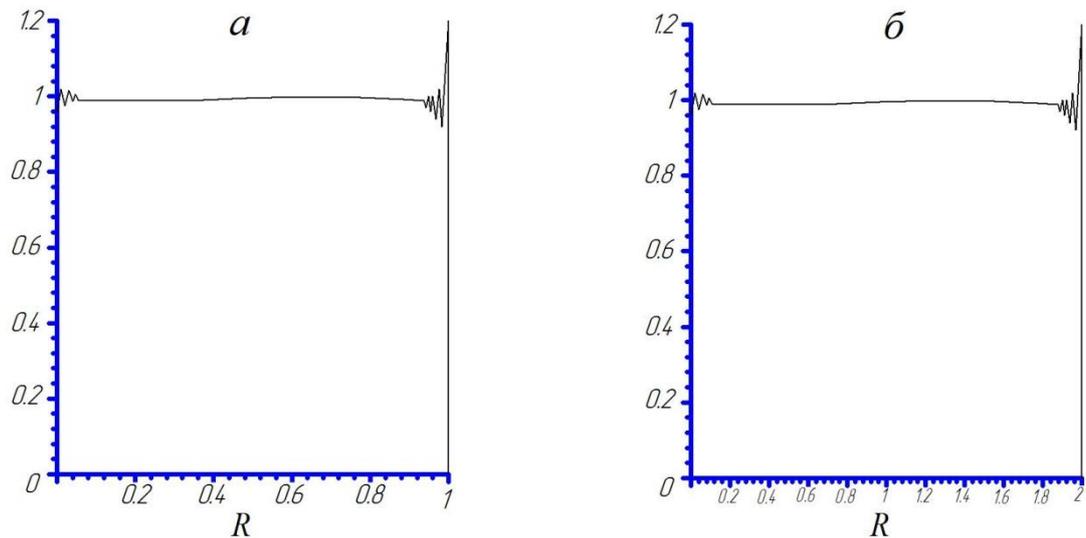


Рис.3.8. Представление единицы рядом (3.31) при различных R_0 ;
а-1;б-2

Окончательно (3.32) запишется так:

$$H_R[1] = 2 \sum_{m=1}^{\infty} \frac{J_0(pR_0)J_1(g_m)}{J_1(g_m)[(g_m/R_0)^2 - p^2]}. \quad (3.34)$$

Изображение системы (3.21-а)-(3.24-а) по Ханкелю:

$$\frac{\partial H_R}{\partial \theta} = \frac{\partial^2 H_R}{\partial Z^2} - p^2 H_R; \quad (3.35)$$

$$H_R(Z, p, 0) = 0; \quad (3.36)$$

$$\frac{\partial H_R(0, p, \theta)}{\partial Z} = 0; \quad (3.37)$$

$$\frac{\partial H_R(H, p, \theta)}{\partial Z} = 2 \sum_{m=1}^{\infty} \frac{J_0(pR_0)J_1(g_m)}{J_1(g_m)[(g_m/R_0)^2 - p^2]}. \quad (3.38)$$

Применим к системе (3.35)-(3.38) одностороннее интегральное преобразование Лапласа по переменной θ :

$$\frac{d^2 H_{RL}(Z, p, S)}{dZ^2} - (p^2 + S)H_{RL}(Z, p, S) = 0; \quad (3.39)$$

$$\frac{dH_{RL}(0, p, S)}{dZ} = 0; \quad (3.40)$$

$$\frac{dH_{RL}(H, p, S)}{dZ} = \frac{1}{3}\Omega(p), \quad (3.41)$$

где

$$\Omega(p) = 2 \sum_{m=1}^{\infty} \frac{J_0(pR_0)J_1(g_m)}{J_1(g_m)[(g_m/R_0)^2 - p^2]}.$$

Характеристическое уравнение:

$$k^2 - (p^2 + S) = 0,$$

откуда

$$k_{1,2} = \sqrt{p^2 + S},$$

поэтому общее решение (3.39) будет

$$H_{RL}(Z, p, S) = C_1 Sh(\sqrt{p^2 + S}Z) + C_2 ch(\sqrt{p^2 + S}Z), \quad (3.42)$$

где C_1, C_2 -константы интегрирования, которые находятся из граничных условий (3.40) и (3.41).

Вычислим:

$$\frac{dH_{RL}(Z, p, S)}{dZ} = C_1 \sqrt{p^2 + S} ch(\sqrt{p^2 + S}Z) + C_2 \sqrt{p^2 + S} Sh(\sqrt{p^2 + S}Z),$$

тогда
$$\frac{dH_{RL}(0, p, S)}{dZ} = C_1 = 0; \quad (3.43)$$

$$\begin{aligned} \frac{dH_{RL}(Z, p, S)}{dZ} &= C_1 \sqrt{p^2 + S} ch(\sqrt{p^2 + S}Z) + \\ &C_2 \sqrt{p^2 + S} Sh(\sqrt{p^2 + S}Z) = \frac{1}{S} \Omega(p). \end{aligned} \quad (3.44)$$

Из (3.44) получим

$$C_2 = \frac{\Omega(p)}{S\sqrt{p^2 + S} \operatorname{Sh}(\sqrt{p^2 + SH})}. \quad (3.35)$$

Решение в изображениях будет

$$H_{RL}(Z, p, S) = \frac{\Omega(p)}{S\sqrt{p^2 + S} \operatorname{Sh}(\sqrt{p^2 + SH})} \operatorname{ch}(\sqrt{p^2 + SZ}). \quad (3.46)$$

Рассмотрим случай $p > 0$ и введем обозначения:

$$\varphi(Z, p, S) = \Omega(p) \operatorname{ch}(\sqrt{p^2 + SZ}); \quad (3.47)$$

$$\psi(p, S) = S\sqrt{p^2 + S} \operatorname{Sh}(\sqrt{p^2 + SH}). \quad (3.48)$$

Отношение $\varphi(Z, p, S)/\psi(p, S)$ -представляет собой отношение полином бесконечных степеней, причем степень числителя меньше степени знаменателя, так что условия 2 теоремы Ващенко-Захарченко выполняется.

Найдем корни знаменателя $\varphi(p, S) = 0$:

$$1) S = 0; \quad 2) S = -p^2; \quad 3) \operatorname{Sh}(\sqrt{p^2 + SH}) = 0.$$

В последнем случае физическому смыслу задачи удовлетворяют только чисто мнимые корни, т.е.

$$\sqrt{p^2 + S} = \mu, \quad \text{где } \iota = \sqrt{-1}, \quad \text{откуда } p^2 + S = -\mu^2 \text{ или } S = -(\mu^2 + p^2),$$

Вычислим:

$$\psi'_S(p, S) = \sqrt{p^2 + S} \operatorname{Sh}(\sqrt{p^2 + SH}) + \frac{S}{2\sqrt{p^2 + S}} \operatorname{Sh}(\sqrt{p^2 + SH}) +$$

$$+ \frac{1}{2} Sh ch(\sqrt{p^2 + SH}).$$

Далее

$$\varphi(Z, p, 0) = \Omega(p) ch(pZ)$$

$$\psi'_S(p, 0) = p Sh(pH);$$

Имеем

$$\frac{\varphi(Z, p, 0)}{\psi'_S(p, 0)} = \frac{\Omega(p) ch(pZ)}{p Sh(pH)};$$

$$\varphi(Z, p, -p^2) = \Omega(p);$$

$$\psi'_S(p, -p^2) = -\frac{p^2 H}{2} - \frac{p^2 H}{2} = -p^2 H;$$

$$\varphi(Z, p, \mu i) = \Omega(p) \cos(\mu Z);$$

$$\psi'_S(p, \mu i) = -\frac{1}{2} H(\mu^2 + p^2) \cos(\mu H).$$

$$\frac{\varphi(Z, p, \mu i)}{\psi'_S(p, \mu i)} = -\frac{2\Omega(p) \cos(\mu Z)}{H(\mu^2 + p^2) \cos(\mu H)}.$$

Т.е. оригинал решения по Лапласу есть

$$H_R(Z, p, \theta) = \frac{\Omega(p) ch(pZ)}{p Sh(pH)} - \frac{\Omega(p)}{p^2 H} \exp(-p^2 \theta) -$$

$$-\frac{2\Omega(p)}{H} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos(\mu_n Z)}{(\mu_n^2 + p^2) \cos(\mu_n H)} \exp[-(\mu_n^2 + p^2)\theta]. \quad (3.49)$$

Теперь рассмотрим случай $p = 0$, тогда (3.46) примет вид

$$H_{RL}(Z, 0, S) = \frac{\Omega(0)}{S\sqrt{S} \operatorname{Sh}(\sqrt{S}H)} \operatorname{ch}(\sqrt{S}Z). \quad (3.50)$$

В этом случае корень $S = 0$ кратности два.

Введем обозначения:

$$\varphi(Z, 0, Z) = \operatorname{ch}(\sqrt{S}Z); \quad \eta(S) = \operatorname{Sh}(\sqrt{S}H)/\sqrt{S};$$

тогда

$$\varphi'_S(Z, 0, S) = \frac{Z}{2\sqrt{S}} \operatorname{Sh}(\sqrt{S}H);$$

$$\eta'(S) = -\frac{1}{2S\sqrt{S}} \operatorname{Sh}(\sqrt{S}H) + \frac{H}{2S} (\sqrt{S}Z).$$

Далее воспользуемся теоремой для кратных корней

$$\lim_{S \rightarrow 0} \left[\theta \exp(S\theta) \frac{\varphi(Z, 0, S)}{\eta(S)} \right] = \lim_{S \rightarrow 0} \left[\theta \frac{\operatorname{ch}(\sqrt{S}Z)}{\operatorname{Sh}(\sqrt{S}H)/\sqrt{S}} \right] = \frac{\theta}{H};$$

$$\lim_{S \rightarrow 0} \left[\exp(S\theta) \frac{\varphi'_S(Z, 0, S)}{\eta(S)} \right] = \lim_{S \rightarrow 0} \left[\exp(S\theta) \frac{Z \operatorname{Sh}(\sqrt{S}H)/2\sqrt{S}}{\operatorname{Sh}(\sqrt{S}H)/\sqrt{S}} \right] = \frac{Z^2}{2H};$$

$$\begin{aligned}
& \lim_{S \rightarrow 0} \left\{ -\exp(S\theta) \frac{\varphi(Z, O, S)\eta'(S)}{[\eta(S)]^2} \right\} = \\
& = \lim_{S \rightarrow 0} \frac{ch(\sqrt{S}Z) \left[-\frac{1}{2S\sqrt{S}} Sh(\sqrt{S}H) + \frac{H}{2S} ch(\sqrt{S}H) \right]}{[Sh(\sqrt{S}H)/\sqrt{S}]^2} = \\
& \lim_{S \rightarrow 0} \frac{1}{2} \left[\frac{-Sh(\sqrt{S}H)/\sqrt{S} + Hch(\sqrt{S}H)}{SH^2} \right] = [\sqrt{S} = x] = \\
& = -\lim_{S \rightarrow 0} \frac{1}{2H^2} \left[\frac{-Sh(xH)/x + Hch(xH)}{x^2} \right] = -\lim_{S \rightarrow 0} \frac{1}{2H^2} \left[\frac{-Sh(xH) + Hxch(xH)}{x^3} \right] = \\
& = -\lim_{S \rightarrow 0} \frac{1}{2H^2} \left[\frac{-Hch(xH) + Hch(xH) + H^2xSh(xH)}{3x^2} \right] = \\
& -\lim_{S \rightarrow 0} \frac{1}{2} \frac{xSH(xH)}{3x^2} = -\frac{1}{6H}.
\end{aligned}$$

В итоге

$$\frac{\varphi(Z, O, O)}{\psi'} = \frac{\Omega(o)}{H} \left(\theta + \frac{Z^2}{2} - \frac{1}{6} \right). \quad (3.51)$$

Для $S > 0$ имеем

$$\varphi(Z, O, S) = \Omega(o)ch(\sqrt{S}Z); \quad \psi(S) = S^2 Sh(\sqrt{S}H)/\sqrt{S};$$

$$\psi'_S = 2S \frac{Sh(\sqrt{S}H)}{\sqrt{S}} = S^2 \left[-\frac{1}{2S\sqrt{S}} Sh(\sqrt{S}H) + \frac{H}{2S} ch(\sqrt{S}H) \right];$$

$$\varphi(Z, O, \mu i) = \Omega(o)ch(\mu i Z) = \Omega(o) \cos(\mu Z);$$

$$\psi'_S(\mu i) = -\frac{1}{2}H\mu^2 \cos(\mu H).$$

$$H_R(Z, O, \theta) = \frac{\Omega(o)}{H} \left[\theta + \frac{Z^2}{2} - \frac{1}{6} - 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos(\mu_n Z)}{\mu_n^2 \cos(\mu_n H)} \exp(-\mu_n^2 \theta) \right]. \quad (3.52)$$

Имея в виду, что

$$\Omega(o) = 2R_0^2 \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{q_m^2},$$

Получим окончательное решение

$$\begin{aligned} C(Z, R, \theta) = & \frac{4}{H} \left(\sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{q_m^2} \right) \cdot \left[\theta + \frac{Z^2}{2} - \frac{1}{6} - 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos(\mu_n Z)}{\mu_n^2 \cos(\mu_n H)} \exp(-\mu_n^2 \theta) \right] + \\ & + \frac{2}{R_0^2} \sum_{k=1}^{\infty} \left\{ 2 \sum_{m=1}^{\infty} \frac{J_0(p_k R_0)}{[(q_m/R_0)^2 - p_k^2]} \right\} \cdot \\ & \cdot \left\{ \frac{ch(p_k Z)}{p_k Sh(p_k H)} - \frac{1}{p_k^2} \exp(-p_k^2 \theta) - \frac{2}{H} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos(\mu_n Z)}{(\mu_n^2 + p_k^2) \cos(\mu_n H)} \cdot \exp[-(\mu_n^2 + p_k^2) \theta] \right\} \\ & \frac{J_0(p_k R)}{[J_0(p_k R_0)]^2}. \end{aligned} \quad (3.53)$$

Алгоритм вычисления по (3.53) таков:

1) Задаться значениями R_0, H, θ ;

2) Найти корни p_k из уравнения

$$J_1(p_k R_0) = 0;$$

3) Найти корни q_m из уравнения

$$J_0(q_m) = 0.$$

4) В 3D построить график (3.53) имея в виду $Z \in [0, H], R \in [0, R_0]$

Заметим, что решение (3.53) может быть упрощено, если перемешивание, создаваемое мешалкой однородно. В этом случае при предельном переходе $R_0 \rightarrow \infty$ получим одномерное нестационарное решение.

$$C(Z, \theta) = \theta + \frac{Z^2}{2} - \frac{1}{6} - 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos(\mu_n Z)}{\mu_n^2 \cos \mu_n} \exp(-\mu_n^2 \theta), \quad (3.54)$$

где $Z \in [0, 1]$.

В связи с этим рассмотрим задачу, когда подача муки в момент θ_0 прекращается, дальше за счет продолжительного перемешивания происходит выравнивание концентраций. Эту ситуацию можно смоделировать следующей математической моделью, уравнение которой сводятся к краевой задаче вида:

$$\frac{\partial \tilde{C}(Z, \theta)}{\partial \theta} = \frac{\partial^2 \tilde{C}(Z, \theta)}{\partial Z^2}; \quad (3.55)$$

$$\tilde{C}(Z, 0) = C(Z, \theta_0); \quad (3.56)$$

$$\frac{\partial \tilde{C}(0, \theta)}{\partial Z} = \frac{\partial \tilde{C}(1, \theta)}{\partial Z} = 0. \quad (3.57)$$

Применим к (3.55)-(3.57) интегральное косинус-преобразование

$$\mathcal{F}_c[\tilde{C}(Z, \theta)] = \int_0^1 \tilde{C}(Z, \theta) \cos(\lambda Z) dZ = F(\lambda \theta), \quad (3.58)$$

где λ - корень характеристического уравнения $\cos \lambda = 0$.

Тогда

$$\mathcal{F}_c \left[\frac{\partial \tilde{C}(0, \theta)}{\partial \theta} \right] = \frac{dF(\lambda, \theta)}{d\theta}; \quad (3.59)$$

$$\begin{aligned} \mathcal{F}_c \left[\frac{\partial^2 \tilde{C}(Z, \theta)}{\partial Z^2} \right] &= \int_0^1 \frac{\partial^2 \tilde{C}(Z, \theta)}{\partial Z^2} \cos(\lambda Z) dZ = \\ &= \left| \begin{array}{l} \cos(\lambda Z) = u; \quad du = -\lambda \sin(\lambda Z) dZ \\ \frac{\partial^2 \tilde{C}}{\partial Z^2} dZ = d\nu; \quad \nu = \frac{\partial \tilde{C}}{\partial Z} \end{array} \right| = \frac{\partial \tilde{C}}{\partial Z} \cos(\lambda Z) \Big|_0^1 + \lambda \int_0^1 \frac{\partial \tilde{C}}{\partial Z} \sin(\lambda Z) dZ = \\ &= \lambda \int_0^1 \frac{\partial \tilde{C}}{\partial Z} \sin(\lambda Z) dZ = \left| \begin{array}{l} \sin(\lambda Z) = u, \quad du = \lambda \cos(\lambda Z) dZ \\ \frac{\partial \tilde{C}}{\partial Z} dZ = d\nu, \quad \nu = \tilde{C} \end{array} \right| = \\ &= \lambda \tilde{C} \sin(\lambda Z) \Big|_0^1 - \lambda^2 \int_0^1 \tilde{C} \cos(\lambda Z) dZ = -\lambda^2 F(\lambda, \theta) \end{aligned}$$

$$\mathcal{F}_c[\tilde{C}(Z, 0)] = F(\lambda, \theta) = \int_0^1 C(Z, \theta_0) \cos(\lambda Z) dZ$$

Таким образом, изображение задачи (3.55)-(3.57) таково:

$$\frac{dF(\lambda, \theta)}{d\theta} = -\lambda^2 F(\lambda, \theta), \quad (3.60)$$

$$F(\lambda, \theta) = \int_0^1 C(Z, \theta_0) \cos(\lambda Z) dZ. \quad (3.61)$$

Решение задачи (3.60) и (3.61) имеет вид:

$$F(\lambda, \theta) = \left[\int_0^1 C(Z, \theta_0) \cos(\lambda Z) dZ \right] \exp(-\lambda^2 \theta) \quad (3.62)$$

Обращение формулы (3.62) дает

$$\tilde{C}(Z, \theta) = F(\lambda_0, \theta) + 2 \sum_{m=1}^{\infty} F(\lambda_m, \theta) \cos(\lambda_m, \theta). \quad (3.63)$$

т. к.

$$F(\lambda_0, \theta) = \int_0^1 C(Z, \theta_0) dZ =$$

$$= \int_0^1 \left[\theta_0 + \frac{Z^2}{2} - \frac{1}{6} - 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos(\mu_n Z)}{\mu_n^2 \cos \mu_n} \exp(-\mu_n^2 \theta_0) \right] dZ = \theta_0 + \frac{1}{6}, \quad (3.64)$$

То окончательное решение

$$\tilde{C}(Z, \theta) = \theta_0 + \frac{1}{6} + \sum_{m=1}^{\infty} \left[\frac{1}{\lambda_m^2} (\cos \lambda_m - 1) - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\exp(-\mu_n^2 \theta_0)}{\mu_n^2 \cos \mu_n} \right] \cdot \cos(\lambda_m Z) \exp(-\mu_n^2 \theta_0), \quad (3.65)$$

где $\lambda_m = \pi m$; $\mu_n = \pi n$.

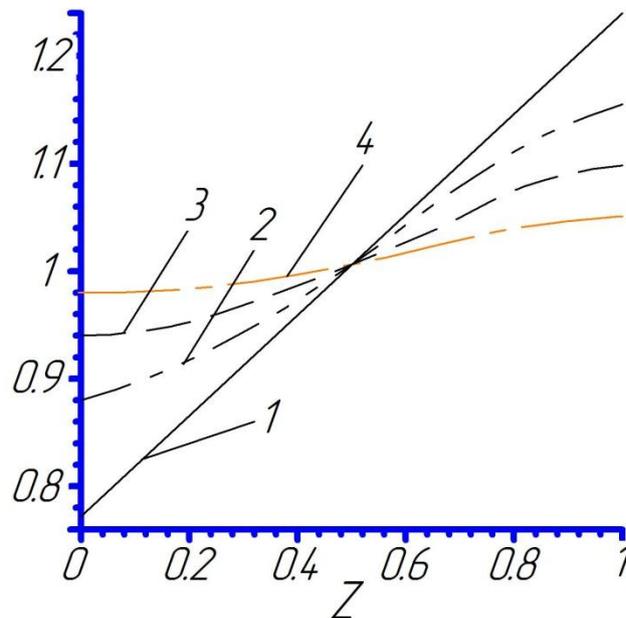


Рис. 3.9 Выравнивание концентрации муки по высоте реактора при $\theta_0 = 5/6$ и различных моментах безразмерного времени: 1-0; 2-0,05; 3-0,1; 4-0,2.

Таким образом, рис. 3.9 представляет качественную адекватность предложенной математической модели.

Проведем верификацию коэффициента перемешивания D .

Пилотный образец имеет следующие геометрические размеры $r_0 = 0,15$ м; $h_0 = 0,7$ м; тогда его объем

$$V = \pi r_0^2 h_0 = \pi \cdot 0,15^2 \cdot 0,7 = 0,049 \text{ м}^3;$$

Объем воды в реакторе

$$V_m = \frac{m_B}{\rho_B} = \frac{9,6}{1000} = 0,0096 \text{ м}^3$$

Объем муки в реакторе:

$$V_\mu = \frac{m_\mu}{\rho_\mu} = \frac{10}{1000} = 0,01 \text{ м}^3.$$

Объем занимаемый суспензией:

$$V = V_B + V_\mu = 0,0096 + 0,01 = 0,0196 \text{ м}^3.$$

Высота суспензии в реакторе:

$$h = h_0 \frac{V_B}{V_\mu} = 0,7 \cdot \frac{0,0196}{0,049} = 0,28 \text{ м}.$$

Время загрузки муки $\tau_0 = 60$ сек; время перемешивания $\tau = 840$ сек;

Коэффициент D найдем из (3.65) при условии

$$\frac{\tilde{C}(0, \theta)}{\theta_0 + 1/6} = 0,99$$

Или в развернутом виде

$$\sum_{m=1}^{\infty} \left[\frac{1}{\lambda_m^2} (\cos \lambda_m - 1) - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\exp\left(-\mu_n^2 \frac{\tau_0}{h^2} D\right)}{\mu_n^2 \cos \mu_n} \right].$$

$$\cdot \exp\left(-\lambda_m^2 \frac{\tau}{h^2} D\right) = -0,01 \left(\frac{\tau_0}{h^2} D + \frac{1}{6}\right). \quad (3.66)$$

Уравнение (3.66) относительно D решалось численно методом пассивной стратегии. В результате получено $D = 4 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$.

3.3 Модель насыщения бездрожжевого теста воздухом

Физическая постановка такова. После однородного перемешивания воды и муки, полученную суспензию насыщают кислородом воздуха, закачивая его компрессором до определенного давления. По создаваемому давлению и геометрическим характеристикам из уравнения идеального газа определяется концентрация кислорода в паровом пространстве.

$$C_0 = \frac{M}{V} = \frac{P}{RT}, \quad (3.67)$$

где, P - давление воздуха, Па; R - газовая постоянная воздуха, Дж/(кг·К);
 T - температура воздуха, К.

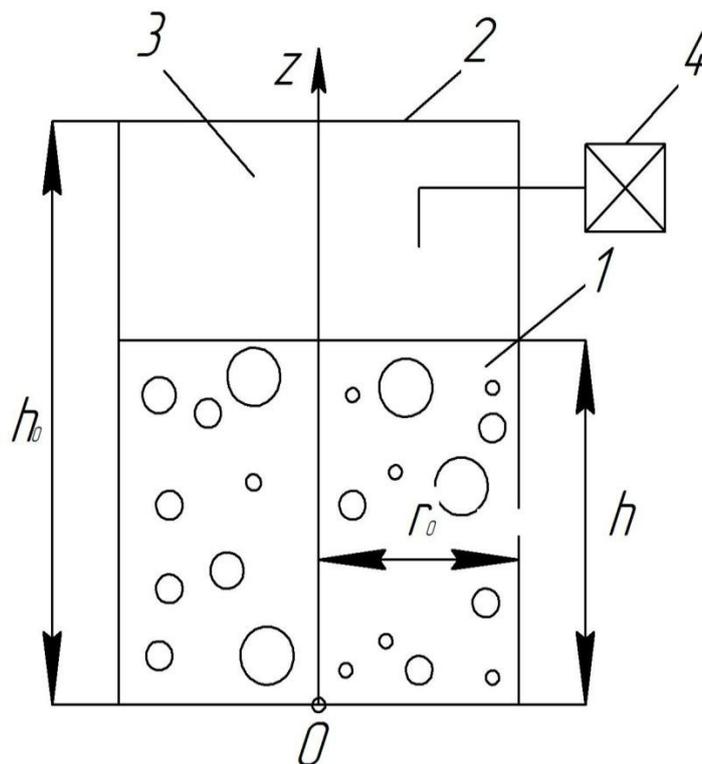


Рис. 3.10 Расчетная схема: 1-суспензия вода-мука; 2-реактор перемешивания; 3-воздушное пространство; 4-компрессор.

Приняв диффузионный механизм проникновения кислорода воздуха в суспензию, считая, что в начальный момент времени он в суспензии отсутствует, и при том проникновения через смоченную поверхность его нет, запишем исходное уравнение модели в виде:

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} = D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial c}{\partial z^2} \right); \quad (3.68)$$

$$C(Z, r, 0) = 0; \quad (3.69)$$

$$\left. \frac{\partial C}{\partial Z} \right|_{Z=0} = \left. \frac{\partial C}{\partial r} \right|_{r=0} = \left. \frac{\partial C}{\partial r} \right|_{r=r_0} = 0; \quad (3.70)$$

$$C(h, r, \tau) = C_0. \quad (3.71)$$

При синтезе предыдущей модели показано, что уравнения (3.68)-(3.71) в данной постановке, имея в виду граничные условия (h), могут быть трансформированы в одномерную нестационарную задачу:

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} = D \frac{\partial C}{\partial Z^2}; \quad (3.72)$$

$$C(Z, 0) = 0; \quad (3.73)$$

$$\left. \frac{\partial C(0, \tau)}{\partial Z} \right|_{Z=0} = 0; \quad (3.74)$$

$$C(h, \tau) = C_0. \quad (3.75)$$

С помощью относительных параметров

$$\theta = \tau D / h^2; \quad Z = z / h; \quad C = C / C_0$$

Система (3.72)-(3.75) приводится к безразмерному виду:

$$\frac{\partial C}{\partial \theta} = \frac{\partial^2 C}{\partial Z^2}; \quad (3.76)$$

$$C(Z, \theta) = 0; \quad (3.77)$$

$$\frac{\partial C(0, \theta)}{\partial Z} = 0; \quad (3.78)$$

$$C(1, \theta) = 1. \quad (3.79)$$

Применим к системе (3.76)-(3.79) одностороннее интегральное преобразование Лапласа по переменной θ :

$$\frac{d^2 C_l}{dZ^2} - s C_l = 0; \quad (3.80)$$

$$\frac{dC_l(0)}{dZ} = 0; \quad (3.81)$$

$$C_l(1) = \frac{1}{3}, \quad (3.82)$$

где s , C_l -изображения θ и C .

Общее решение (3.80):

$$C_l(Z, s) = C_1 sh(\sqrt{s}Z) + C_2 ch(\sqrt{s}Z), \quad (3.83)$$

где константа интегрирования определяется из граничных условий (3.81) и (3.82). Т.к.

$$\frac{dC_l(Z, s)}{dZ} = C_1\sqrt{s}ch(\sqrt{s}Z) + C_2\sqrt{s}sch(\sqrt{s}Z);$$

То получим систему для определения C_1, C_2 :

$$\begin{cases} C_1 = 0; \\ C_1sh\sqrt{s} + C_2ch\sqrt{s} = \frac{1}{s} \end{cases}$$

откуда

$$C_1 = 0; C_2 = \frac{1}{sch\sqrt{s}}.$$

Таким образом, решение в изображениях будет

$$C_l(Z, s) = \frac{ch(\sqrt{s}Z)}{sch\sqrt{s}}. \quad (3.85)$$

Для перехода к оригиналу введем обозначения:

$$\varphi(Z, s) = ch(\sqrt{s}Z); \quad (3.86)$$

$$\psi(s) = sch\sqrt{s}. \quad (3.87)$$

Корни $\psi(s) = 0$; 1) $s=0$; 2) $ch\sqrt{s} = 0$.

Найдем:

$$\psi' = ch\sqrt{s} + ssh\sqrt{s} \frac{1}{2\sqrt{s}} = ch\sqrt{s} + \frac{1}{2}\sqrt{s}ssh\sqrt{s}$$

Т. К.

$$\varphi(Z, 0) = 1; \quad \psi'(0) = 1;$$

$$\varphi(Z, \mu i) = ch(\mu i Z) = \cos(\mu Z);$$

$$\psi'_s(-\mu i) = \frac{1}{2} \mu i sh(\mu i) = -\frac{1}{2} \mu \sin \mu,$$

То решение таково

$$C(Z, \theta) = 1 - 2 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\cos(\mu_n Z)}{\mu_n \sin \mu_n} \exp(-\mu_n^2 \theta), \quad (3.88)$$

$$\text{где } \mu_n = \frac{\pi}{2} + \pi n.$$

Глава 4. Исследование процесса выпечки сбивного теста и модернизация конструкции печи.

В технологическом процессе приготовления хлеба выпечка является одним из решающих этапов, от которого в значительной мере зависит качество хлеба [2, 3, 8].

Несмотря на большое количество работ по исследованию процесса выпечки хлеба вопрос о влиянии кинетики прогрева и длительности выпечки хлеба на его качество изучен не достаточно.

Передовой опыт хлебопекарных предприятий, отечественные и зарубежные исследования указывают на возможность улучшения качества хлеба при правильном ведении процесса выпечки. Установлены оптимальные параметры выпечки для отдельных видов хлеба в печах определенных систем, на основании проведенных исследований и обобщения опыта промышленности.

Иногда значительное различие в качестве одних и тех же видов хлеба обуславливается неодинаковыми условиями выпечки при одном и том же качестве сырья и одних и тех же технологических схемах и режимах тестоведения.

В процессе выпечки тестовая заготовка постепенно превращается в готовый хлеб. Поэтому условия выпечки, температурный режим по зонам, режим увлажнения, длительность выпечки, рассадка изделий по поду, степень вентиляции камеры и другие параметры процесса чрезвычайно влияют на качество хлебобулочных изделий. Прежде всего, режим выпечки обуславливает такие показатели качества хлеба, как его пропеченность, толщину и окраску, а так же глянецвитость корок, аромат и вкус хлеба, зависящие от сложных окислительно-восстановительных процессов, протекающих при прогреве теста – хлеба.

Установлено, что сроки сохраняемости хлеба в свежем виде так-же в значительной мере зависят от процесса выпечки.

Теплофизические процессы, происходящие при выпечке хлеба, в настоящее время достаточно глубоко изучены: изменение температурного поля в тесте - хлебе, вопросы тепломассообмена, влияние режима выпечки на структурно-механические свойства теста – хлеба и его объем, а так же на образование корки и ее глянец. Эти процессы широко освещены в монографии А. С. Гинзбурга, в работах А. А. Михелева, В. И. Маклюкова и др.[]

К. Н. Чижовой установлено, что в корке хлеба и в мякише в процессе выпечки происходит распад крахмала и соответствующее образование водорастворимых углеводов. Однако во всех случаях распад крахмала в корке происходит до более глубокой степени, чем в мякише.

Рядом исследователей показано[2, 44], что интенсивность окраски корки хлеба из пшеничной муки в основном обусловлена образованием в ней темноокрашенных продуктов окислительно-восстановительного взаимодействия: остаточных несброженных восстанавливающих сахаров теста и содержащихся в тесте продуктов протеолиза белков, участвующих в так называемой реакции меланоидинообразования (реакции Майяра).

Вкус и аромат хлебных изделий может быть обусловлен составом и свойствами сырья, входящего в рецептуру хлеба, а так же процессами, происходящими при брожении теста и особенно при его выпечке.

4.1. Процессы, проходящие в сбивном тесте–хлебе при выпечке.

Выпечка–процесс теплообмена с изменением агрегатного и коллоидного состояния материала – типичный случай нестационарного теплового процесса, сопровождающего перемещением и испарением влаги.

Под воздействием тепла и влаги в тесте, являющемся по строению и химическому составу высокогидратированным коллоидным материалом, одновременно протекают тесно связанные между собой физические, биохимические, химические, микробиологические и коллоидные процессы. Некоторые из них (биохимические) в начальной стадии выпечки

усиливаются, затем по мере прогрева выпекаемых изделий замедляются, в дальнейшем прекращаясь совсем. Коллоидные процессы, непрерывно развиваясь в процессе выпечки, идут глубоко, обуславливая появление ряда свойств, характерных для готового хлеба.

Физические процессы, протекающие при выпечке традиционного хлебопекарного теста, практически полностью отсутствуют при выпечке сбивного теста в связи с отсутствием в нем дрожжей.

Биохимические процессы. Крахмал в тесте – хлебе при выпечке не только частично клейстеризуется, но и под влиянием амилолитических ферментов в значительной степени гидролизуется с образованием декстринов и мальтозы. При этом крахмал, частично клейстеризованный при выпечке, гидролизуется во много раз легче.

Полная активация β -амилазы в пшеничном тесте наступает при 82-84 °С. α -Амилаза сохраняет определенную активность до 91-98 °С, т. е. ее активность сохраняется в готовом хлебе.

Поверхностные слои теста, из которых образуется корка, прогреваются быстро, поэтому ферменты там инактивируются. Окрашивание корки указывает на то, что некоторые составные части теста подверглись химическим превращениям. Окраска обусловлена образованием красящих и ароматических веществ в результате карамелизации сахаров с продуктами протеолиза белков. Это приводит к образованию темноокрашенных меланоидов. Они являются ценными вкусовыми веществами, придающими хлебным изделиям специфический вкус и аромат.

Микробиологические процессы Из за отсутствия в сбивном тесте бродильной микрофлоры практически отсутствуют.

Коллоидные процессы. При выпечке коллоидные процессы обуславливают образование мякиша хлеба.

Клейковина теста имеет максимум набухаемости примерно при 60-70 °С. Дальнейшее повышение температуры приводит к снижению

набухаемости. При 60-70 °С белковые вещества теста денатурируются и свертываются, освобождая при этом воду, поглощенную при набухании.

При повышении температуры до 50-60 °С крахмал муки интенсивно набухает. В пределах этих же температур начинается клейстерезация крахмала. Она происходит с ярко выраженным эндотермическим эффектом, который объясняется затратой тепла на разрушение внутренней структуры крахмала. При этом повышается осмотическое давление внутри частиц крахмала, они интенсивно поглощают воду и полностью разрушаются.

Процессы клейстеризации крахмала и коагуляции белков обуславливают при выпечке переход теста в мякиш хлеба.

Консистенция теста с повышением температуры заметно ослабевает, достигая минимума при температуре около 57 °С. Дальнейшее повышение температуры до 60-70 °С приводит к сгущению теста. Однако прогрев теста до 70 °С еще не обеспечивает образования мякиша нормального качества. Такой мякиш недостаточно упруг, так как клейстеризация крахмала при ограниченном количестве влаги в тесте–хлебе продолжается при нагревании почти до 100 °С. В связи с этим при выпечке необходимо выдерживать хлеб в печи до достижения температуры в центре мякиша порядка 96-98 °С.

Денатурирующиеся белки фиксируют структуру, характерную для хлеба, создавая прочный каркас мякиша.

4.2. Внутренний тепло и массоперенос в процессе выпечки

Перемещение влаги (массоперенос) внутри теста – хлеба в процессе выпечки происходит, как уже отмечалось, по законам влагопроводности и термовлагопроводности. При соприкосновении влажного материала с начальным равномерным влагосодержанием с нагретым воздухом влага с поверхности начинает испаряться и покидает поверхность материала,

переходя путем диффузии в окружающую среду. При этом появляется разность между влажностями глубинных слоев материала и его поверхностного слоя, что вызывает перемещение влаги внутри материала к его поверхности. Перемещение влаги в коллоидных капиллярнопористых материалах обусловлено наличием в них градиента потенциала переноса влаги. Понятие о потенциале переноса вещества ведено А. В. Лыковым.

Влага может перемещаться путем диффузии пара, и в этом случае потенциалом переноса является парциальное давление пара (внутренняя диффузия). Различают диффузию пара при испарении адсорбционной влаги и при испарении капиллярной влаги (влаги макрокапилляров).

Влага может перемещаться в виде жидкости (диффузия осмотически связанной жидкости), потенциалом переноса в этом случае является осмотическое давление. Гидродинамическое перемещение жидкости по капиллярнопористой системе происходит под влиянием капиллярных сил.

Все эти виды перемещения влаги можно подчинить единому закону влагопроводности, согласно которому плотность потока влаги i_v (количество влаги в кг, перемещающейся через единицу поверхности в единицу времени) прямо пропорционально градиенту влажности ∇U , т. е.

$$i_v = a' \rho_0 \nabla U, \quad (5.1)$$

где ρ_0 – плотность сухого материала, кг/м³;

a' - коэффициент потенциалопроводности массопереноса, м²/с;

∇U – градиент влажности, кг влаги на 1 кг сухого вещества,

Коэффициент потенциалопроводности вещества a' зависит от температуры и влагосодержания тела. При постоянной температуре материала для большинства капиллярно пористых тел a' с повышением влагосодержания увеличивается, затем при больших влагосодержания становится постоянным. Увеличение коэффициента a' с повышением влагосодержания тела характерно при переносе жидкости в виде пара, когда

влага макрокапилляров перемещается вследствие диффузии пара по капиллярнопористой системе. Постоянство коэффициента a' в области больших значений влагосодержаний в основном обусловлено переносом вещества в виде жидкости под давлением диффузионно-осмотических сил.

С повышением температуры коэффициент a' при постоянном влагосодержании тела увеличивается пропорционально абсолютной температуре тела в степени n . Показатель степени для различных температур изменяется от 10 до 14.

Если внутри материала разность температур значительна, то влага будет перемещаться и под давлением температурного градиента ∇t . В этом случае влага в виде жидкости перемещается по направлению потока тепла.

Перемещение влаги внутри влажного материала по направлению теплового потока, преодолевающее сопротивление противоположно направленной силы обычной теплопроводности, описывается законом термовлагопроводности. Это явление перемещения влаги внутри материала под влиянием температурного градиента названо термовлагопроводностью по аналогии с диффузией газа под влиянием температурного градиента.

Перемещение влаги во влажных материалах под влиянием температурного градиента в направлении теплового потока было теоретически обосновано и экспериментально доказано А. В. Лыковым. Этот закон является основным для перемещающейся влаги и в коллоидных капиллярнопористых материалах под влиянием температурного градиента.

Поверхность жидкости в капиллярах имеет различную форму: выпуклый или вогнутый мениск. Возникающее в капилляре при вогнутом мениске добавочное давление можно использовать для подъема жидкости на некоторую высоту H . Чем тоньше капиллярная структура, тем выше высота подъема жидкости, которая обратно пропорциональна ее плотности. Круглые капилляры поднимают жидкость на высоту, в 2 раза большую, чем щелевые.

В капиллярах с радиусом $r \cdot 10^{-6}$ см (уголь, силикагель) жидкость может подняться на 1,5 км, т. е. ее сила равна 15 МПа.

При температуре $t=20^{\circ}\text{C}$ и при полном смачивании высота подъема h может быть определена по формуле.

$$h = \frac{0,15}{r}. \quad (5.2)$$

Движение влаги под действием температурного градиента (термовлагопроводность) осуществляется вследствие разной скорости молекул нагретых и холодных слоев материала, капиллярной проводимости, зависящей от поверхностного натяжения, уменьшающегося с повышением температуры, и под действием заземленного воздуха, заполняющего часть объема пор микрокапилляров. При нагревании воздух расширяется и проталкивает жидкость к слоям с более низкой температурой. Закон термовлагопроводности можно представить в следующем виде:

$$i_t = -a\rho_0\delta\nabla t, \quad (5.3)$$

где i_t – плотность потока влаги, обусловленного термовлагопроводностью,

кг/(м²с);

δ – термоградиентный коэффициент, кг/(кг К);

∇t – температурный градиент, К/м.

Термоградиентный коэффициент δ с ростом влажности сначала увеличивается, а затем уменьшается до нуля. Характер изменения зависит от капиллярнопористой структуры тела, форм связи влаги с материалом и вида переноса вещества.

В капиллярнопористых телах при небольшом содержании влаги в порах тела находится влажный воздух (смесь водяного пара и сухого воздуха). В этом случае температурный градиент вызывает относительную термодиффузию пара и воздуха. Воздух, как газ с большой молекулярной массой (кажущаяся молекулярная масса воздуха $\mu=29$), будет перемещаться в направлении потока тепла, а пар, у которого молекулярная масса $\mu=18$, – против потока тепла. Коэффициент δ в последнем случае становится отрицательным, так как влага в

виде пара перемещается против потока тепла. Таким образом, в зависимости от формы связи влаги с материалом изменяется механизм термовлагопроводности, а следовательно, и величина коэффициента δ .

При нагревании теста – хлеба влага под влиянием температурного градиента перемещается по направлению потока тепла, т. е. внутрь.

В процессе сушки температурный градиент чаще всего мал, поэтому преобладают силы, вызванные теплопроводностью. Тесто высыхает без образования мякиша. В процессе выпечки оказываются большими силы, перемещающие влагу по закону термовлагопроводности, и тесто под влиянием клейстаризации второго рода превращается в мякиш.

Если материал является капиллярнопористым телом, то в капиллярах поверхностного слоя находится влажный воздух. Тогда вследствие относительной термодиффузии воздух стремится переместиться по направлению потока тепла от поверхности тела внутрь, а водяной пар будет перемещаться к направлению тепла из внутренних слоев зоны испарения. Таким образом, в этом случае температурный градиент будет способствовать перемещению пара из зоны испарения в окружающую среду. Относительная термодиффузия пара и воздуха в капиллярнопористом теле значительно усиливается вследствие теплового скольжения, и диффузионное (молекулярное) движение заменяется молярным движением влажного воздуха в порах материала.

Таким образом, циркуляция влажного воздуха в порах корки способствует перемещению пара из корки в окружающую среду и прогреву корки нагретым воздухом [13].

4.3. Основы теплопередачи в печах

Теплопередача является основным процессом, протекающим в печах. Поэтому изучение основ теплопередачи необходимо для выполнения тепловых расчетов и проектирования печей хлебопекарного и кондитерского производств.

В печах имеют место все три вида теплообмена: теплопроводность, конвективный теплообмен (теплообмен в условиях тепловой гравитационной и вынужденной конвекции) и лучеиспускание (тепловое излучение). Все три способа теплообмена протекают часто одновременно в одном и том же процессе теплоотдачи, хотя преобладающим может оказаться тот или иной его вид. С этой точки зрения расчленение сложного процесса передачи тепла на более простые является в какой-то мере условным, хотя и методически это оправданно.

Процессы теплопроводности в тесте – хлебе в процессе выпечки преобладают над другими видами теплообмена. Построение температурных полей в них и определение количества переданного при этом тепла производится на основании аналитической теории теплопроводности Фурье. Для удобства рассмотрения этого процесса различают четыре его случая: теплопроводность при граничных условиях первого, второго, третьего и четвертого родов. При расчетах, связанных с теплопроводностью в тесте – хлебе, используются все четыре вида граничных условий.

Не менее важное значение, чем процессы теплопроводности, в промышленных печах хлебопекарного и кондитерского производства имеют процессы конвективного теплообмена. Так, в рабочей камере печей имеет место свободная (тепловая гравитационная) конвекция, в греющих каналах – конвективный теплообмен при вынужденной конвекции, а потеря тепла в окружающую среду через ограждение печи (весьма значительна для многих видов печей составляющая часть теплового баланса) возникает главным образом вследствие конвективной теплоотдачи в условиях свободного движения воздуха вблизи печи. Этим определяется важность изучения законов конвективного теплообмена для научно обоснованного производства тепловых расчетов и проектирования новых типов хлебопекарных и кондитерских печей.

Теплообмен излучением (лучеиспускание) также играет существенную роль в процессах теплообмена в печах. Роль теплового излучения особенно велика в том случае, когда теплопередача происходит на высоком температурном уровне и при большой разности температур. В самом деле, так как интенсивность теплообмена при тепловом излучении пропорциональна разности четвертых степеней абсолютных температур обменивающихся теплом тел, то количество передаваемого тепла при тепловом излучении резко возрастает при увеличении температур тел, обменивающихся тепловой энергией.

Излучение и поглощение газов свои существенные особенности, которые необходимо твердо знать и учитывать при расчетах и проектировании промышленных печей хлебопекарного и кондитерского производств.[?]

4.4 Выпечка сбивного хлеба в конвекционной кондитерской печи PFS-9E в штатном режиме, а также с применением КУНов (кварцевые углеродные нагреватели).

4.4.1. Особенности наладки печей с электрообогревом

Обогрев рабочей камеры хлебопекарной печи с помощью электрических нагревательных элементов различной конструкции получил в настоящее время большое распространение в промышленности вследствие больших его преимуществ перед другими видами обогрева.

В печах с электрообогревом рабочая камера обогревается электронагревателями различной конструкции: трубчатыми, кварцевыми и др. Для регулирования теплового потока от нагревателей при наладке либо эксплуатации можно изменять или напряжение, подаваемое на нагреватели, или схему включения нагревателей – со звезды на

треугольник, или наоборот. Однако такой способ регулирования теплового потока в рабочую камеру печи не удобен, так как при этом нужны: пусковая аппаратура, реостаты и другие приспособления.

Поэтому в печах с электрообогревом применяют другой способ регулирования теплового потока – путем включения либо выключения отдельных их групп.

Таким образом, если электрические нагреватели в печи подобраны правильно, т. е. температура на их поверхности (либо температура нити накала) такая, что при включении всех установленных нагревателей обеспечивается необходимая температура при полной загрузке печи, то при ее наладке, в частности при определении количества включенных электронагревателей при неполной загрузке пекарной камеры, также можно установить в ней необходимый теплотехнический режим. В большинстве современных типов хлебопекарных печей, в особенности с туннельной рабочей камерой, отдельные нагреватели или группы их включаются или выключаются автоматически – в зависимости от разницы между фактической температурой в пекарной камере и заданным ее значением. В этом и заключается принципиальное отличие этих печей от печей с газовым обогревом, в которых регулирующей орган изменяет расход топлива, сжигаемого в топочном устройстве, обслуживающем обычно всю печь с малой и средней площадью пода.

Вследствие сравнительной простоты конструкции обслуживание, в том числе и пусконаладочные работы, на печах с электрообогревом осуществляется проще, чем на печах с газообразным, жидким и тем более, твердым топливом.

Вследствие сравнительной простоты конструкции, обслуживания, пусконаладочных работ для отработки выпечки сбивного хлеба была выбрана конвекционная печь с электрообогревом PFS-9E, производства ЗАО «Белогорье», г. Шебекино.

4.4.2. Применение КУНов (кварцевых углеродных нагревателей) в промышленности и их устройство

Наращивание мощности хлебозаводов во многих случаях происходит за счет печей, в которых используются различные способы электрического обогрева рабочей камеры и соответственно различные нагревательные элементы.

Излучатели, работающие в области высоких температур, генерируют сравнительно коротковолновое (так называемое инфракрасное) тепловое излучение, по сравнению с длинноволновым излучением трубчатых нагревателей.

С уменьшением длины волны увеличивается проникающая способность теплового излучения в капиллярно пористые тела, какими являются тестовые заготовки.

В последнее время все более высокое распространение получают так называемые трубчатые инфракрасные излучатели с оболочкой из кварцевого стекла. Так, используемое в них кварцевое стекло обладает высокой термостойкостью – температура его размягчения превышает 1700°C , а также хорошей проницаемостью в широком диапазоне длин волн – от ультрафиолетовых до инфракрасных лучей с длиной волны 4 мкм.

Такая высокая термостойкость кварцевого стекла позволяет выполнять трубчатые инфракрасные нагреватели сравнительно не больших размеров: наружный диаметр трубки составляет 10мм. (рис. 4.1)

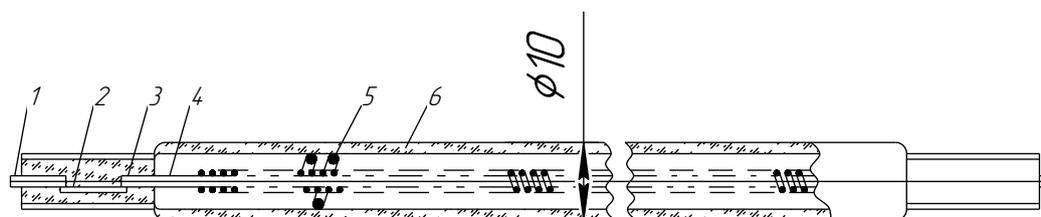


Рис. 4.1. Кварцевый углеродный нагреватель

На рис. 5.1. показана конструкция кварцевого углеродного нагревателя. Колба 6 нагревателя, выполнена из кварцевого стекла, имеет длину вместе с цоколем, равную 370 мм и диаметр 10 мм. Вдоль оси трубки проходит углеродная нить накала 5. Напряжение на эту нить подается при помощи специальных молибденовых электродов, которые состоят из трех элементов: наружных выводов 1, соединенных с тонкой молибденовой фольгой 2, которая заштампована в стеклянный цоколь 3 лампы. К молибденовой фольге крепятся внутренние вводы 4, которые в свою очередь, соединяются с телом накала – спиральной углеродной нитью.

В процессе эксплуатации кварцевого углеродного нагревателя, помещенного в рабочую камеру печи, температура на поверхности кварцевой трубки в ее средней части составляет примерно 400° С, а по краям лампы, у цоколей, примерно 300° С.

Большим преимуществом кварцевых нагревателей является их незначительная инерционность (что следует иметь в виду при пусконаладочных работах на печах, оснащенных такими нагревателями) через 0,6 с после момента включения лампы достигается номинальный энергетический поток.

4.4.3. Влияние КУНов на время выпечки и качество сбивного хлеба

В связи с положительным эффектом полученным в традиционном хлебопечении от применения КУНов было принято решение использовать нагреватели для выпечки сбивного хлеба.

Объектом исследования являлось сбивное тесто из смеси ржаной и пшеничной муки в соотношении 50/50, влажностью 56%, выпекавшееся в печи PFS-9E с использованием кварцевых углеродных нагревателей (КУН) и без них. Испытания проходили следующим образом: к «потолку» пекарной камеры печи были закреплены 2 КУНа

на расстоянии 200 мм друг от друга, причем расстояние от них до тестовой заготовки составило 70 мм. Масса тестовых заготовок составляла 500г. Температура воздуха в печи 180 °С.

После проведения контрольной выпечки, стало очевидно влияние КУН на длительность процесса и качество готового продукта.(рис.4.2.)

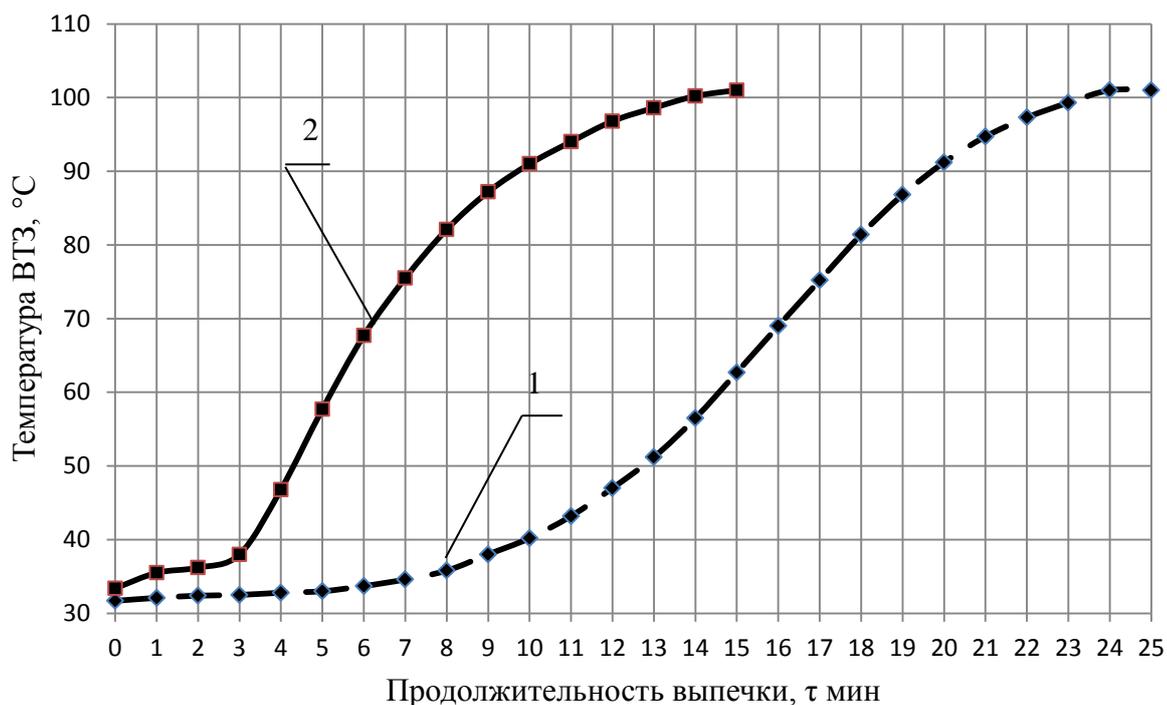


Рис. 4.2. Изменение температуры внутри ВТЗ в процессе выпечки: 1-без КУН, 2-с использованием КУН (100% мощн.)

Очевидно, что применение КУН существенно влияет на скорость выпечки и качество готового продукта(таблица 5.1.). Однако использование КУН на 100% мощности привело к образованию толстой темноокрашенной (горелой) корки, что можно рассматривать как дефект.

Поэтому, было принято решение изменить условия выпечки, а именно: мощность КУН составляла 100%, но при этом менялось расстояние между нагревателями и тестовой заготовкой. ($h_1=250\text{мм}$, $h_2=160\text{мм}$, $h_3=70\text{мм}$) (рис. 4.3).

Таблица 4.1 - Показатели качества хлеба.

Показатели качества хлеба	Значения показателей качества, в образцах, полученных при разных условиях выпечки	
	1	2
Органолептические показатели		
Внешний вид:		
форма	Соответствует форме, в которой производилась выпечка, без выплывов	
поверхность	Со средними трещинами, с подрывами до 0,5 см	С более мелкими трещинами, с подрывами до 0,2 см
цвет	Светло-серый(бледный)	Светло-коричневый (корка горелая)
состояние мякиша		
пропеченность	Пропеченный, влажный на ощупь	Пропеченный
пористость	Мелкая однородная	
вкус	Свойственный данному изделию, без посторонних привкусов	
Физико-химические		
Влажность мякиша, %	49	50
Кмслотность град	3,6	3,6
Удельный объем, см ³ /100г	238	242
Пористость, %	62	62
Упек, %	12	10

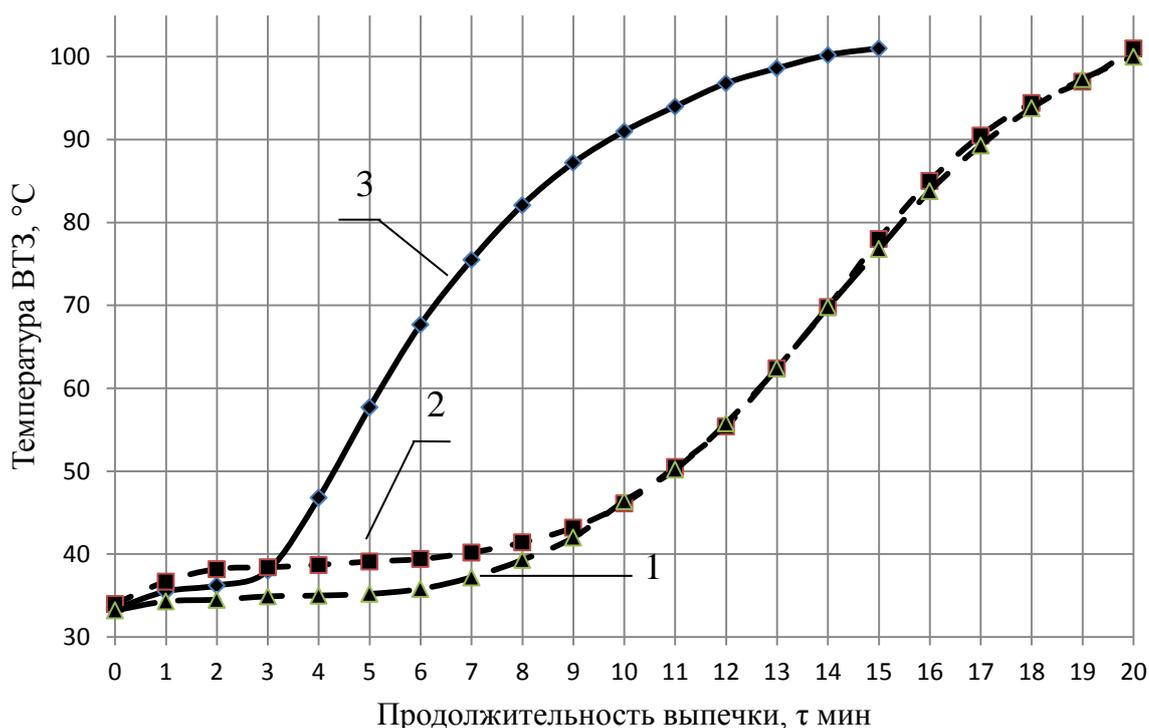


Рис. 4.3. Изменение температуры внутри ВТЗ в процессе выпечки: 1- $h_1=250$ мм, 2- $h_2=160$ мм, 3- $h_3=70$ мм.

Исследования показали, что при удалении ВТЗ от источника инфракрасного излучения более чем на 100 мм, нагреватели практически не оказывают ни какого воздействия на полуфабрикат, поэтому выпечка происходила за счет тепла исходящего от штатных ТЭНов, ее время при этом составило не менее 20 мин.

Задачей, стоявшей, перед следующим этапом работы явилось изучение влияния изменения напряжения, подаваемого углеродным нагревателям: $U_1=110В-50\%$, $U_2=165В-75\%$, $U_3=220В-100\%$ (рис. 4.4.) на время выпечки и качество сбивного хлеба. При этом, расстояние между нагревателями и ВТЗ составляло 70мм, температура воздуха внутри пекарной камеры печи 180 °С.

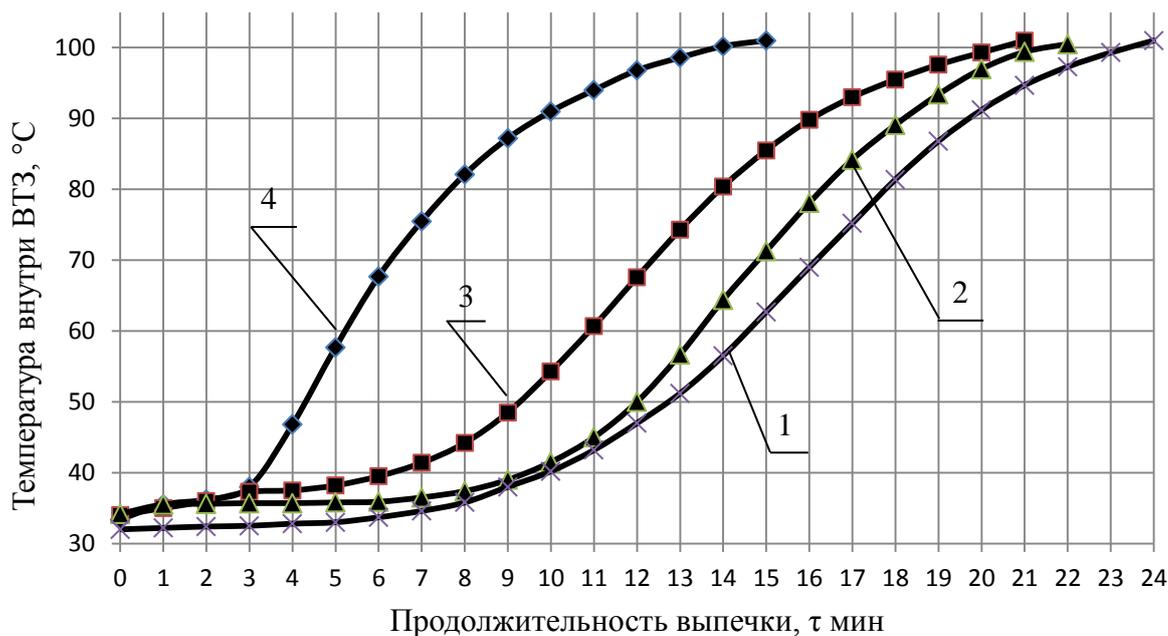


Рис. 4.4. Изменение температуры внутри ВТЗ в процессе выпечки: 1- КУНЫ не использовались, 2- $U_1=110В-50\%$, 3- $U_2=165В-75\%$, 4- $U_3=220В-100\%$

В результате проведенных опытов можно сделать вывод о том, что образец N3(рис.4.4.) характеризуется наилучшими органолептическими и физико-химическими показателями, а именно: привлекательный внешний вид, золотистый цвет корки, темно-коричневая (не горелая) поверхность, пропеченный мелкопористый мякиш, влажность которого составляет 49%, удельный объем хлеба-240 см³/100г.

Приведенная выше информация свидетельствует о том, что использование кварцевых углеродных нагревателей в значительной степени влияет как на продолжительность выпечки, так и на качество сбивного бездрожжевого хлеба.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ:

1. Определена целесообразность создания технологий и оборудования для приготовления хлебобулочных изделий механическим способом разрыхления.
2. Изучена кинетика процесса пенообразования системы мука-вода на экспериментальной сбивальной установке МС-15. Установлено влияние конструкции перемешивающего устройства и коэффициента заполнения камеры на энергозатраты и качество сбивного полуфабриката, при этом обоснован выбор конструкции месильного органа и рабочей камеры.
3. Получены регрессионные зависимости объемной массы сбивного теста из муки 1-го сорта при влажности теста 56% и коэффициенте заполнения камеры 52% и определены при минимальной объемной массе теста 0,42 г/см³ оптимальные параметры: давление сжатого воздуха 0,4 МПа, интенсивность перемешивания и сбивания 300 об/мин, продолжительность перемешивания 10 мин., продолжительность сбивания 10 мин.
4. Построена математическая модель процесса гомогенизации и насыщения суспензии мука-вода воздухом под избыточным давлением в реакторе перемешивания и сбивания. Полученные аналитические решения адекватны экспериментальным данным.
5. Разработан и изготовлен промышленный аэратор. Доказано, что замена половины рецептурного количества воды измельченным льдом, позволяет интенсифицировать процесс перемешивания компонентов в 2,5 раза и приготовление теста в целом, снизить его температуру, уменьшить интенсивность сбивания и удельную мощность привода.
6. Производственные испытания технологии сбивных хлебобулочных изделий с применением промышленного аэратора показали технологичность и экономическую целесообразность.
7. Дополнительное применение кварцевых углеродных нагревателей в процессе выпечки сбивных полуфабрикатов интенсифицируют процесс и улучшают качество хлебобулочных изделий.

Список использованных источников.

1. Ауэрман, Л. Я. Технология хлебопекарного производства [Текст]: учебник / Л. Я. Ауэрман. – 9-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Профессия, 2002. – 416 с.
2. Алексеенко, Е. Нетрадиционное природное сырьё для производства хлебобулочных изделий [Текст] / Е. Алексеенко // Хлебопродукты. – 2008. – № 9. – С. 50–51.
3. Бегеулов, М.Ш. Изучение физических характеристик теста из пшеничной муки [Текст] / М.Ш. Бегеулов, Франк Эльмер // Хлебопечение России. – 2001. – № 5. – С. 18-19.
4. Бегеулов, М.Ш. Реологические свойства теста [Текст] / М.Ш. Бегеулов // Хлебопродукты. – 2003. – № 2. – С. 18-19.
5. Благовещенская, М.М. Автоматика и автоматизация пищевых производств [Текст] / М.М. Благовещенская, Н.О. Воронина – Агропромиздат, 1991. – 240с.
6. Богатырева, Т. Г. Пути повышения микробиологической чистоты хлебобулочных и макаронных изделий (методы контроля) [Текст] / Т. Г. Богатырева, О. А. Сидорова. – М.: ЦНИИТЭИ хлебопродуктов, 1994. – 40 с.
7. Бывальцев, А.И. Практикум по курсу «Моделирование и оптимизация технологических процессов отрасли» [Текст] / А.И. Бывальцев, Н.М. Дерканосова, А.А. Журавлев. -Воронеж.: ВГТА, 2004. - 140 с.
8. Виноградова, А. А. Лабораторный практикум по общей технологии пищевых производств [Текст] / А. А. Виноградова, Г. М. Мелькина, Л. А. Фомичева. – М.: Агропромиздат, 1991. – 335 с.
9. Газина, Т. П. Пища – твоё лекарство [Текст] / Т. П. Газина, Л. П. Дьяконов // Пищевая промышленность. – 2002. – № 7. – С. 84–85.
10. Гинзбург А. С. Теплофизические основы процесса выпечки. М., Пищепромиздат, 1955. 470 с.
11. ГОСТ 21094-75. Хлеб и хлебобулочные изделия. Метод определе-

ния влажности [Текст]. – Введ. 1976-07-01. – М.: ИПК Изд-во Стандартов, 2002. – 3 с.

12. ГОСТ 26987-86. Хлеб белый из пшеничной муки высшего, первого и второго сортов [Текст]. – Введ. 1986-12-01. – М.: ИПК Изд-во Стандартов, 2002. – 5 с.

13. ГОСТ 5667-65. Хлеб и хлебобулочные изделия. Правила приёмки, методы отбора образцов, методы определения органолептических показателей и массы изделий [Текст]. – Введ. 1996-01-01. – М.: ИПК Изд-во Стандартов, 2006. – с. 6.

14. ГОСТ 5669-96. Хлебобулочные изделия. Метод определения пористости [Текст]. – Введ. 1997-01-08. – Минск : Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1996. – 3 с.

15. ГОСТ Р 52349-2005. Продукты пищевые функциональные. Термины и определения [Текст]. – Введ. 2004-01-07. – М. : Изд-во стандартов, 2004. – 27 с.

16. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика [Текст] / В.Е. Гмурман. - М.: Высшая школа, 1999. -215с.

17. Горячева, А.Ф. Сохранение свежести хлеба [Текст] / А.Ф. Горячева. - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. -156 с.

18. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений [Текст]/ Р. Гонсалес, Р. Будс. - М.: Техносфера, 2005. - 1072 с.

19. Грачев, Ю.П. Математические методы планирования эксперимента [Текст] / Ю.П. Грачев, Ю.М. Плаксин. - М.: ДеЛи принт, 2005. - 296 с.

20. Дурнев, А. Д. Функциональные продукты питания [Текст] / А.Д. Дурнев, Л.А. Оганесяну А.Б. Лисицин // Хранение и переработка сельхоз. сырья. - 2007. - № 9. - С. 15-21.

21. Доронин, А. Ф. Функциональное питание [Текст] / А. Ф. Доронин, Б. А. Шендеров. – М. : Грантъ, 2002. – 295 с.

22. Елецкий, И. К. Методика определения скорости газообразования в тестовых полуфабрикатах хлебного производства // Хлебопекарная и

кондитерская промышленность. – 1991. - №4. – С. 15 – 16.

23. Ефимов, А. А. Основы рационального питания [Текст] / А. А. Ефимов, М. В. Ефимова: Учебное пособие. – Петропавловск-Камчатский: Камчат ГТУ, 2007. – 198 с.

24. Закгейм А.Ю. Введение в моделирование химико-технологических процессов [Текст] / А.Ю. Закгейм. – 2-е издание перераб. и доп. 1982.-.127с.

25. Зельдич, Э.А. Здоровье через хлеб [Текст] / ЭА. Зельдич // Хлебопродукты. - 2006. - № 2. - С, 36-37.

26. Зубченко, А.В. Дисперсные системы кондитерского производства [Текст] / А.В. Зубченко. – Воронеж, 1998. – 163 с.

27. Зубченко, А.В. Технология кондитерского производства [Текст] / А.В. Зубченко. – 2-е изд., перераб. и доп. - Воронеж, 2001. -436 с.

28. Зубченко, А.В. Физико-химические основы технологии кондитерских изделий [Текст] / А.В. Зубченко. –ВГТА. -2-е изд., перераб. и доп. –Воронеж, 2001.-389 с.

29. Зубченко, А.В. Механизм образования теста [Текст] / А.В. Зубченко. // Известия вузов. Пищевая технология.-1997.-№ 2-3. – С. 46-47.

30. Ильина, О.В. Пищевые волокна - важнейший компонент хлебобулочных и кондитерских изделий [Текст] / О.В. Ильина // Хлебопродукты. - 2002. - № 9. - с. 34 - 36.

31. Кацерикова, Н. В. Технология продуктов функционального питания [Текст]: учебное пособие / Н. В. Кацерикова // Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. – Кемерово: КТИПП, 2010. – 252 с.

32. Ковальская, Л.П. Общая технология пищевых производств [Текст] / Л.П. Ковальская. // Колос, 1993. – 384с.

33. Корнеева, О.С. Физико-химические свойства белков [Текст] / О.С. Корнеева, Л.А. Черняева, С.А. Шеламова // методические указания ВГТА. - // Воронеж, 2002, -15 с.

34. Кругляков, И.М. Пена и пенные пленки [Текст] / И.М. Кругляков, Д.Р. Ексерова. – М.: Химия, 1990, - 432с.
35. Кирюхина, М. Новые сорта хлебобулочных изделий для профилактического и лечебного питания [Текст] / М. Кирюхина, Г. Дубцов, Г. Дубцова // Хлебопродукты. – 2006, -№ 11, - С. 36-37.
36. Козьмина Н. П. Биохимия хлебопечения. М., «Пищевая промышленность», 1971. 433 с.
37. Корчагин, В.И. Перспективные обогатители растительного происхождения в производстве хлебобулочных изделий [Текст] / В.И. Корчагин, Г.О. Магомедов, Н.М. Дерканосова. -Воронеж, 2001. - 278 с.
38. Косой, В.Д. Инженерная реология [Текст] / В.Д. Косой. - СПб.: ГИОРД, 2007. - 664 с.
39. Ковальская, Л. П. Технология пищевых производств [Текст] / Л. П. Ковальская, И. С. Шуб, Г. М. Мельникова. – М.: Колос, 1997. – 752 с.
40. Костюченко, М. Н. Современные технологические решения для повышения сроков годности хлебобулочных изделий [Текст] / М. Н. Костюченко, Л. А. Шлеленко, О. Е. Тюрина // Хлебопечение России. - 2012. - № 1. – С. 10 – 12.
41. Лесникова, Н. А. Нетрадиционное сырье хлебопекарного производства [Текст] / Н. А. Лесникова, Л. Ю. Лаврова // Кондитерское и хлебопекарное производство. – 2011. - № 11. – С. 37 – 38.
42. Лисицын, А. Б. Научное обеспечение инновационных технологий при производстве продуктов здорового питания [Текст] / А. Б. Лисицын, И. М. Чернуха, Н. А. Горбунова// Хранение и переработка сельхозсырья. – 2012. -№ 10. – С.8 – 14.
43. Магомедов, Г.О. Оптимизация рецептурных компонентов сбивного бездрожжевого теста [Текст] / Г.О. Магомедов, Е.И. Пономарева, Т.Н. Шелест, С.Н. Крутских // Хлебопродукты. -2005.-№12.-С. 52-54.
44. Магомедов, Г.О. Бездрожжевой хлеб повышенной пищевой ценности на основе сбивных полуфабрикатов [Текст] / Г.О. Магомедов, Е.И.

Пономарева, Т.Н. Шелест, С.Н. Крутских // Сб. тезисов VIII Всероссийской конференции молодых ученых с международным участием «Пищевые технологии», Казань, 2007. -С. 72.

45. Магомедов, Г.О. Технологии хлебобулочных изделий с применением механического разрыхления [Текст] / Г.О. Магомедов, Е.И. Пономарева, И.А. Алейник, С.Н. Крутских // Матер. II научно-практ. конф. с международным участием «Товароведение, экспертиза и технология продовольственных товаров», Москва, 2009. - М.: МГУПП, С. 60-63.

46. Магомедов Г.О. Влияние различных факторов на реологические свойства сбивного бездрожжевого теста [Текст] / Г.О. Магомедов, Е.И. Пономарева, Т.Н. Шелест, С.Н. Крутских, Ю.Н. Левин // Хранение и переработка сельхоз. сырья. - 2007. -№ 5. С. 42-46.

47. Магомедов, Г.О. Проектирование рецептуры сбивного бездрожжевого теста [Текст] / Г.О. Магомедов, Е.И. Пономарева, Т.Н. Шелест, С.Н. Крутских // Сб. трудов 8 Межрегиональной научно-практической конференции «Современное хлебопекарное производство, перспективы его развития», Екатеринбург, 2007.-С. 77-79.

48. Магомедов, Г.О. Технологии хлебобулочных изделий с применением механического разрыхления [Текст] / Г.О. Магомедов, Е.И. Пономарева, И.А. Алейник, С.Н. Крутских // Матер. II научно-практ. конф. с международным участием «Товароведение, экспертиза и технология продовольственных товаров», Москва, 2009. - М.: МГУПП, С. 60-63.

49. Магомедов, Г.О. Математическое моделирование эффективной вязкости сбивного бездрожжевого теста [Текст]/ Г.О. Магомедов, Е.И. Пономарева, Т.Н. Шелест, Ю.Н. Левин // Материалы XX Международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях», Ярославль, 2007. -С 213-214,

50. Магомедов, Г.О. Повышение пищевой ценности сбивных мучных изделий [Текст] / Г.О. Магомедов, Е.И. Пономарева, Т.Н. Шелест, С.Н. Крутских // Хранение и переработка сельхоз. сырья. - 2006. - № 6. - С. 73-75.

51. Магомедов, Г.О. Разработка технологии хлеба из смеси ржаной и пшеничной муки механическим способом [Текст] / Г.О. Магомедов, Е.И. Пономарева, И.А. Алейник, С.Н. Крутских // Материалы VI научно-технической конференцией «Высокоэффективные пищевые технологии, методы и средства их реализации», М.: МГУПП, 2008. - С. 32-34.

52. Магомедов, Г.О. Комплексная технология сбивных бездрожжевых хлебобулочных изделий функционального назначения [Текст] / Г.О. Магомедов, Е.И. Пономарева, И.А. Алейник // Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции «Здоровое питание - основа жизнедеятельности человека», Красноярск, 2008. - С. 419-424.

53. Магомедов, Г.О. Инновационные технологии сбивных бездрожжевых хлебобулочных изделий функционального назначения [Текст] / Г.О. Магомедов, Е.И. Пономарева, И.А. Алейник // Фундаментальные исследования. - 2008. - № 1. -С. 71-72.

54. Магомедов, Г.О. Технологии хлебобулочных изделий с применением механического разрыхления [Текст] / Г.О. Магомедов, Е.И. Пономарева, И.А. Алейник, С.Н. Крутских // Матер. II научно-практ. конф. с международным участием «Товароведение, экспертиза и технология продовольственных товаров», Москва, 2009. - М.: МГУПП, С. 60-63.

55. Матвеева, И. В. Приоритеты на рынке хлебобулочных изделий Европы и России (мнение потребителей и производителей) [Текст] /И. В. Матвеева // Хлебопродукты. – 2014. – № 6. – С. 33-35.

56. Мазур, П.Я. Вязкость теста как критерий качества готовых изделий [Текст] / П.Я. Мазур, М.Н. Крысанова, Ю.С. Токарева, А.А. Выставкин // Хлебопечение России. - 2000 . - № 2. -С. 26-27.

57. Максимов, А.С. Реология пищевых продуктов [Текст] / А.С. Максимов, В.Я. Черных. - СПб.: ГИОРД, 2006. -176 с.

58. Максимов, А.С. Лабораторный практикум по реологии сырья, полуфабрикатов и готовых изделий хлебопекарного, макаронного и

кондитерского производств [Текст] / А.С. Максимов, В.Я. Черных. - М.: Издательский комплекс МГУПП, 2004. -163 с.

59. Малахов, Н.Н. Процессы и аппараты пищевых производств [Текст]: учебник / Н.Н. Малахов, Ю.М. Плаксин, В.А. Ларин. – Орел: Изд-во ОрелГТУ, 2001. – 687 с.

60. Матвеева, И.В. Роль хлеба в питании населения [Текст] / И.В. Матвеева // Хлебопек. - 2007. - № 6. - С. 16-17.

61. Матвеева, И. В. Биотехнологические основы приготовления хлеба [Текст] / И. В. Матвеева, И. Г. Белявская. – М.: ДеЛи принт, 2001. – 150 с.

62. Матвеева, И.В. Хлебопекарная промышленность сегодня: меняются ли приоритеты? [Текст] / И.В. Матвеева // Хлебопродукты – 2007. – № 10. – С. 2 – 5.

63. Малышев, В. К. Функциональные продукты питания: особенности современного развития пищевых технологий [Текст] / В. К. Малышев, Т. И. Демидова, А. П. Нечаев // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2012. - № 6. – С. 51-54.

64. Мачихин, Ю.А. Инженерная реология пищевых материалов [Текст] / Ю.А. Мачихин, С.А. Мачихин. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 212 с.

65. А.А. Михелев, Н.М. Ицкович, М. Н Сигал, А. В. Володарский. Расчет и проектирование печей хлебопекарного и кондитерского производств. М.: Пищевая промышленность, 1979. – 38 с.

66. Национальный стандарт Российской Федерации. Продукты пищевые. Продукты пищевые функциональные. Термины и определения. ГОСТ Р 52349-2005 [Текст] / М.: Стандар-тинформ, 2005. - 3 с.

67. Нащокин В. В. Техническая термодинамика и теплопередача. – М.:Высшая школа, 1969. – 559 с.

68. Никифорова, Т. Перспективы использования пшеничной муки [Текст]/ Т. Никифорова, Е. Мельников // Хлебопродукты. - 2006. - № 12. - С 48-49.

69. Нилов, Д.Ю. Современное состояние и тенденции развития рынка функциональных продуктов питания и пищевых добавок [Текст] / Д.Ю. Нилов, Т.Э. Некрасова // Пищевые ингредиенты. Сырье и добавки. - 2005. - № 2. - С. 28-29.

70. Никифорова, Т. Перспективы использования пшеничной муки [Текст]/ Т. Никифорова, Е. Мельников // Хлебопродукты. - 2006. - № 12. - С. 48-49.

71. Николаев, Б. А. Структурно-механические свойства мучного теста [Текст] / Б. А. Николаев. – М. : Пищ. промышленность, 1976. – 247 с.

72. Остроумов, Л.А. Классификация пен в пищевой промышленности [Текст] / Л.А. Остроумов, А.Ю. Просеков // Хранение и переработка сельхоз. сырья. - 2001. - № 1. - С. 53-54.

73. Остриков, А.Н. Практикум по курсу «Расчет и конструирование машин и аппаратов пищевых производств»: учеб. Пособие [Текст] / А.Н. Остриков, В.Е. Игнатов, В.Е. Добромиров и др. – Воронеж: Воронеж. Гос. Технолог. Акад., 1997, - 192с.

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

75. Пат. РФ № 2244429 RU 244429 С1 Способ производства хлеба повышенной пищевой ценности [Текст] / Т.В. Санина, Е.И. Пономарева, О.Н. Воропаева; Заявл. 24.06.03; Оpubл. 20.01.05, Бюл. №2.

76. Пат. РФ. № 2320174 RU 2320174 С1 Способ производства сбивных мучных изделий [Текст] / Г.О. Магомедов, Е.И. Пономарева, Т.Н. Шелест, С.Н. Крутских, А.Н. Пешехонова; Заявл. 17.07.06; Оpubл. 27.03.08, Бюл. № 9.

77. Пат. РФ № 2101959; МКИ⁶ А 21 D 12/02, 2/38. Способ производства бездрожжевого хлеба из пророщенного зерна пшеницы [Текст] / О.А. Хоперская, М.Е. Богданов, В.Л. Огудин, Н.А. Блинова; Заявл. 15.05.96; Оpubл. 20.01.98, Бюл. № 2.

78. Пащенко, Л.П. Интенсификация биотехнологических процессов в хлебопечении [Текст] / Л.П. Пащенко. - Воронеж, 1991.-204 с.
79. Пащенко, Л.П. Технология хлебобулочных изделий [Текст] / Л.П. Пащенко, И.М. Жаркова. - М.: КолосС, 2006. -389 с.
80. Пащенко, Л.П. Новые дополнительные ингредиенты в технологии хлеба, кондитерских и макаронных изделий [Текст] / Л.П. Пащенко, Н.Г. Кульнева, В.И. Демченко. - Воронеж, 1999. -87 с.
81. Пащенко, Л.П. Практикум по технологии хлеба, кондитерских и макаронных изделий (технология хлебобулочных изделий) [Текст] / Л.П. Пащенко, Т.В. Санина, Л.И. Столярова, Е.И. Пономарева, СИ. Лукина. -М.: КолосС, 2006. - 215 с.
82. Пащенко, Л.П. Биотехнические основы производства хлебобулочных изделий [Текст] / Л.П. Пащенко. – М.: Колос, 2002. – 368 с.
83. Пащенко Л.П. Физико-химические основы технологии хлебобулочных изделий [Текст] / Л.П. Пащенко. –Воронеж, 2006. – 312 с.
84. Пономарева, Е.И. Изучение теплофизических характеристик сбивного мучного полуфабриката [Текст] / Е.И. Пономарева, СН. Крутских, О.А. Суворов // Хранение и переработка сельхоз. сырья . - 2007. - № 8. - С. 26-28.
85. Пономарева, Е.И. Комплексная оценка качества хлебобулочных изделий [Текст] / Е.И. Пономарева, М.В. Чури-лов, О.Н. Воропаева, Н.А. Антонова // Хлебопродукты. - 2008. -№3.-С. 54-55.
86. Принципы пенообразования [Текст] / По материалам журнала European Baker // Хлебопродукты. -2001. – N 6. – С.34-36.
87. Пономарева, Е.И. Научные и практические основы технологии хлебобулочных изделий функционального назначения с использованием сбивных полуфабрикатов [Текст]: автореферат, Е.И. Пономарева. –М.: 2009, - с.87.
88. Прокушева, Е.Н. Современные требования к количественному и качественному составу пищевых продуктов [Текст] / Е.Н. Прокушева // Пищевая промышленность. – 2012. - № 9. – С. 45 – 47.

89. Принципы тестообразования [Текст] / По материалам журнала European Baker // Хлебопродукты. - 2001. - № 6. -С. 34-36.

90. Пучкова, Л.И. Лабораторный практикум по технологии хлебопекарного производства [Текст]: 4-е изд., перераб. и доп. / Л.И. Пучкова. - СПб: ГИОРД, 2004. - 267 с.

91. Пучкова, Л.И. Технология хлеба, кондитерских и макаронных изделий [Текст] / Л.И. Пучкова, Р.Д. Поландова, И.В. Матвеева. - СПб: ГИОРД, 2005. - 559 с.

92. Ребиндер, П.А. Физико-химические основы пищевых продуктов [Текст] / П.А. Ребиндер. – М.: Пищевая промышленность, 1973. – 528с.

93. Рогов, И.А. Безопасность продовольственного сырья и пищевых продуктов [Текст] / И.А. Рогов, Н.И. Дунченко, В.М. Позняковский. - Сиб. унив. издательство, 2007. - 323 с

94. Рождественская, Л.Н. Обоснование перспективных направлений проектирования продуктов функционального назначения [Текст] / Л.Н. Рождественская, Е.С. Бычкова // Пищевая промышленность. – 2012. - № 11. – С. 14 – 16.

95. Роте, М. Аромат хлеба [Текст] / М. Роте. - М.: Пищевая промышленность, 1978. - 240 с.

96. Романов, А. С. Экспертиза хлеба и хлебобулочных изделий. Качество и безопасность [Текст]: учебно-справочное пособие / А. С. Романов, Н. И. Давыденко, В. М. Поздняковский, под общ. ред. В.М. Поздняковского – Новосибирск:Сиб. унив. изд-во, 2005. – 278 с.

97. Рубцова, И. В. Рациональное питание как составная часть здорового образа жизни [Текст] / И. В. Рубцова, Т. В. Кубышкина, Я. В. Готовцева: Учебное пособие для ВУЗов. – Воронеж: ВГУ, 2008. – 24 с.

98. Санина, Т.В. Вопросы регулирования структурно-механических свойств теста [Текст] / Т.В.Санина, Е.И. Пономарева. - Воронеж: Изд-во Воронеж, гос. технол. акад., 1998. - 72 с.

99. Санина, Т.В. Влияние некоторых факторов на реологические свойства теста [Текст] / Т.В. Санина, Е.И. Пономарева, Ю.Н. Левин // Известия вузов. Пищевая технология. - 1998. -№ 1. - С 71-74.
100. Сборник технологических инструкций для производства хлеба и хлебобулочных изделий [Текст]. - М.: Прейскурантиздат, 1989.-494 с.
101. Смоляр, В. И. Рациональное питание [Текст] / В. И. Смоляр. – Киев: Наук. думка, 1991. – 368 с.
102. Скурихин, И. М. Химический состав пищевых продуктов [Текст]: справочник/ И. М. Скурихин, М. Н. Волгарев. – М.: Агропромиздат, 1987. – 360 с.
103. Скурихин, И. М. Руководство по методам анализа качества и безопасности пищевых продуктов. [Текст] / И. М. Скурихин, В. А. Тутельян. – М.: Брандес, Медицина, 1998. – 340 с.
104. Тихомиров, В.К. Пены. Теория и практика их получения и разрушения [Текст] / В.К. Тихомиров. – М.: Химия, 1983. – 264 с.
105. Условия и закономерности инновационного развития хлебопекарной отрасли [Текст] // Хлебопечение России. – 2013. - № 4. – С. 4 – 6.
106. Чубик, И.А. Справочник по теплофизическим свойствам пищевых продуктов и полуфабрикатов [Текст] / И.А. Чубик, А.М. Маслов. – М.: Пищевая промышленность, 1970, -184с.
107. Функциональные пищевые продукты. Введение в технологии [Текст] : учеб. пособие / под ред. А. А. Кочетковой. – Москва: ДеЛиПринт, 2009. – 288 с.
108. Храмцов, А.Г., Селимов М.А. Параметрическое моделирование состава пищевых продуктов для индивидуального питания [Текст] / А.Г. Храмцов, М.А. Селимов // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2011. - № 6.- С. 8-10
109. Чалдаев, П. А. Современные направления обогащения хлебобулочных изделий [Текст] / П. А. Чалдаев, А. В. Зимичев // Хлебопечение России. – 2011. -№ 2. – С. 24 – 27

110. Чубенко, Н.Т. Что происходит на рынке хлеб.. [Текст] / Н.Т. Чубенко // Хлебопечение России. - 2007. - № 3. -С. 2-3.
111. Чубенко, Н. Т. Вопросы освоения производства функциональных хлебобулочных изделий [Текст] / Н. Т. Чубенко, М. Н. Костюченко, Н. А. Киндра // Хлебопечение России. – 2012. – № 3. – С. 4–5.
112. Цыганова, Т.Б. Технология и организация производства хлебобулочных изделий [Текст] / Т.Б. Цыганова. - М.: Академия, 2006.- 448 с.
113. Шапошников, И. И. Об отраслевой целевой программе развития хлебопекарной промышленности Российской Федерации [Текст] /И. И.Шапошников // Хлебопечение России. – 2014. – № 3. – С. 4-5.
114. Шенцова, Е. С. Практикум по курсу «Методы исследования свойств сырья и продуктов питания» [Текст] / Е. С. Шенцова, Л. П. Пащенко,Л. И. Меткина. – Воронеж: Воронеж. гос. техн. акад., 2000. – 140 с.
115. Щербатенко В. В., Гогоберидзе Н. И., Зельман Г. С. Влияние режима выпечки на качество хлеба. М., ЦИНТИпищепром, 1964. 40 с.
166. Шишков, Ю. И. Некоторые аспекты продуктов функционального питания [Текст] / Ю. И. Шишков // Пищевая промышленность. – 2007. – № 1. – С. 10–11.
177. Шлеленко, Л. А. Особенности технологий производства хлебобулочных изделий геродиетического назначения [Текст] / Л. А. Шлеленко, О. Е. Тюрина, М. Н. Костюченко // Хлебопечение России. – 2012. - № 6. – С. 18 – 19.
118. Aldred, D. HACCP and Mycotoxin control in the food chain [Text] / D.Aldred, M. Olsen, N. Magan // Eds. N. Magan, M. Olsen. – Cambridge: Woodhead Publishing. – 2004.
119. Arai, S. Global view on functional foods: Asian perspectives // British J. Nutrition. 2002, v. 88, Suppl. 2, P. 139-143.
120. Arai, S.Recent trends in functional food science and the industiy in Japan/ S. Arai, Y. Morinaga, T. Ichilishi, Y Kiso, M. Morotomi, M. Shimizu, T. Kuwata, S.Kaminogava // Biosei., Bio-technol., Biochem. 2002, P. 66.

121. Autio, K. Frozen doughs: Rheological changes and yeast viability. // K. Autio, E. Sinda// Cereal Chem. 1992, 69: 409-413.
122. Dobraszczyk, B. J. Rheology and the bread-making process / B. J. Dobraszczyk, M.P. Morgenstem // J. Cereal Sci. 2005. V. 42. P. 229-245.
123. Every, D Distribution of redox enzymes in mill-streams and relationships to chemical and baking properties of flour / D. Every, L.D. Simmons, M.P. Ross // Cereal Chem. 2006. - V.83. - P. 62-68.
124. Grajek, W. Probiotics, prebiotics and antioxidants as functional foods / W. Grajek, A. Olejnic, A. Sip // Acta Biochim. Pol., 2005.-P. 52.
125. Hilliam M. Heart Healthy Foods / World Food Ingredients, 2001, October / November. - P. 98-103.
126. Karlan, Steven Laurence: Good Bread is Back: A Contemporary of French Bread, the Way It Is Made, and the People Who Make It. Durham / London: duke University Press, 2006.
127. Lemelin, E. Bread-making stability of wheat flours: relation between mixing properties and molecular weight distribution of polymeric glutenins / E. Lemelin, G. Branlard, L.Salvo // J. Cereal Sci. 2005. V. 42. P. 317-326.
128. Mahters, J.C. Dietary strategies to reduce the burden of cancer and cardiovascular disease in the UK / Br. Nutr. 2000. 84. Suppl. 2.
129. Milner, J.A. Functional foods and health: a US perspective // British J. Nutrition. 2002, v. 88, Suppl. 2, P. 151-158.
130. Mustajoki, P Very low energy diets in the treatment of obesity / P. Mustajoki, T. Pekkarinen // Obesity reviews, 2001, 2 (1), P. 61-72.
131. Roberfroid, M.B. Globalview on functional foods: European perspectives // British J. Nutrition. 2002, v. 88, P. 133-138.
132. Schatzkin, A. Lack of effect of a low-fat, high-fiber diet on the recurrence of colorectal adenomas/ A. Schatzkin, E. Lanza, D. Corle // N. Engl. J. Med, 2000. P. 342.

133. Barnett J.A. Yeasts: Characteristics and Identification/ J.A. Barnett, R.W. Payne, D. Yarrow // Cambridge: Univ, Press, 2000.

134. Who, UNICEF and CCIDD. Progress towards the elimination of Iodine Deficiency Disorders (IDD) // Who / Euro/NUT/ -1999.

135. Who, UNICEF and CCIDD. Assessment of Iodine Deficiency Disorders and Monitoring Their elimination // Geneva: Who/Euro/NUT/-2001.

136. Wolever, T.M.S, Nuttall F.Q. et al// Diabetes Care. -1985.-Vol. 8.-P. 418-428.

ПРИЛОЖЕНИЕ

УТВЕРЖДАЮ:



Генеральный директор

ОАО «Хлебозавод №7»

Крутских С. Н.

26 мая 2011 г

АКТ

производственных испытаний способа производства сахарного печенья

Мы, нижеподписавшиеся, представители ОАО «Хлебозавод №7»: генеральный директор Крутских С. Н., начальник лаборатории Самодурова Н. Н. и сотрудники ГОУ ВПО «Воронежская государственная технологическая академия» кафедры «Технология хлебопекарного, макаронного и кондитерского производств»: заведующий кафедрой ТХМКП, д.т.н., профессор Магомедов Г. О., д.т.н., профессор Пономарева Е. И., соискатель Рыжов В. В., студентка Крячкова Н. М., провели испытание способа производства сахарного печенья.

Целью испытаний явилось апробирование экспериментальных исследований получения сбивных изделий путем механического разрыхления в производственных условиях ОАО «Хлебозавод №7» с использованием аэратора «ММС-50».

Исследование процесса приготовления сбивного печенья осуществляли в производственных условиях по технологической схеме:

- подготовка сырья к производству;
- приготовление теста;
- формование;
- выпечка изделий;

- охлаждение печенья;
- упаковка изделий.

При проведении испытаний использовали муку пшеничную второго сорта с массовой долей влаги 14 %, с содержанием клейковины 27%, муку ржаную обдирную с массовой долей влаги 12,8 %, сахарную пудру с массовой долей влаги 0,15 %, специализированный жир «Эконфе 1203-34», кислоту лимонную, воду питьевую.

Подготовка сырья к производству. Подготовка сырья к производству сбивного печенья включала подготовку всего сырья согласно «Технологическим инструкциям по производству мучных кондитерских изделий» (М., 1989 г.) в соответствии с рецептурой.

Приготовление теста. Тесто для печенья готовили ускоренным способом под давлением в герметично закрытой сбивальной установке – аэраторе «ММС-50» из смеси пшеничной муки второго сорта и ржаной обдирной.

Рецептура и параметры приготовления теста приведены в таблице 1.

Таблица 1

Рецептура и режим приготовления печенья

Наименование сырья, полуфабрикатов и параметров процесса	Расход сырья, кг и параметры замеса
1	2
Мука пшеничная второго сорта	50,0
Мука ржаная обдирная	50,0
Сахарная пудра	33,0
Специализированный жир	15,0
Лимонная кислота	0,2
Вода	По расчету
Продолжительность замеса, мин	15
Скорость миксера, об/мин	350
Температура начальная теста, °С	20,0±2
Рабочая температура теста (на выходе аэратора), °С	19±2
Объемная масса теста, см ³ /г	0,74
Влажность теста, %	49,0 – 50,0
Кислотность конечная, град	3,0

Формование. Сбитое в аэраторе тесто формовали в формы под рабочим давлением.

Выпечка изделий. После разделки тестовые заготовки, предварительно уложенные в формы, сразу направляли на выпечку, которую осуществляли в ротационной печи при параметрах, обеспечивающих оптимальные технологические условия и режим выпечки. Продолжительность выпечки при температуре пекарной камеры 220 °С составляла 20-25 мин.

Охлаждение хлеба. Готовые изделия охлаждали в условиях цеха в течение 1 ч.

Упаковка изделий осуществлялась по ГОСТ 8227.

Показатели качества сбивного печенья приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Органолептические и физико-химические свойства сбивного печенья

Наименование показателей	Значение показателей
1	2
Органолептические:	
Форма	Соответствует форме, в которой производилась выпечка
Поверхность	Гладкая, не подгорелая.
Цвет корки	Золотистый
Состояние мякиша	Пропеченный, эластичный, без комочков и следов непромеса
Пористость	Мелкая, однородная
Вкус	Свойственный данному виду изделия
Запах	Свойственный данному виду изделия
Физико-химические:	
Влажность мякиша, %	35,0
Кислотность мякиша, град	3,0
Намокаемость, %	148,0

Заключение:

Анализ использования механического способа разрыхления теста показал возможность и целесообразность выработки изделий в промышленных условиях с использованием аэратора «ММС-50». Это позволит расширить ассортимент мучных кондитерских изделий. Кроме того, способ позволяет увеличить влажность теста и готовых изделий, сократить производственный цикл приготовления печенья, увеличить выход изделий, а так же сократить производственные площади.

Исполнители:

Генеральный директор

ОАО «Хлебозавод №7»

Зав. кафедрой ТХМКП ВГТА,

профессор, д.т.н.

Нач. лаборатории

Доцент кафедры ТХМКП, к.т.н.

Соискатель кафедры ТХМКП

Студенка кафедры ТХМКП

Аспирант кафедры ТХМКП



С. Н. Крутских

Г. О. Магомедов

Н. Н. Самодурова

Е. И. Пономарева

В. В. Рыжов

Н. М. Крячкова

В. В. Богданов

Воронежская Федерация
Закрытое акционерное
общество

"БЕЛОГОРЬЕ"

11 ноября 2010

309291, г. Шебекино,
Белгородская обл.,
ул. Октябрьская, 11



УТВЕРЖДАЮ:

Генеральный директор

ЗАО «Белогорье»

Косинов В.Н.

11 ноября 2010 г

АКТ

производственных испытаний способа приготовления сбивных хлебобулочных изделий

Мы, нижеподписавшиеся, представители ЗАО «Белогорье»: генеральный директор Косинов В.Н., заместитель директора по производству хлебопекарного оборудования Щеблыкин С.И. и сотрудники ГОУ ВПО «Воронежская государственная технологическая академия» кафедры «Технология хлебопекарного, макаронного и кондитерского производств»: заведующий кафедрой ТХМКП, д.т.н., профессор Магомедов Г.О., д.т.н., профессор Пономарева Е.И., аспирант Алейник И.А., соискатель Рыжов В.В., провели испытание способа производства сбивных хлебобулочных изделий.

Целью испытаний явилось апробирование экспериментальных исследований получения сбивных изделий путем механического разрыхления в производственных условиях ЗАО «Белогорье» с использованием аэратора «ММС-50».

Исследование процесса приготовления сбивного хлеба осуществляли в производственных условиях по технологической схеме:

- подготовка сырья к производству;
- приготовление теста;
- разделка тестовых заготовок;
- выпечка изделий;
- охлаждение хлеба;

- упаковка изделий.

При проведении испытаний использовали муку пшеничную первого сорта с массовой долей влаги 14,0 %, с содержанием клейковины 30,0 %, соль поваренную пищевую с массовой долей влаги 3,5 %, кислоту лимонную, воду питьевую.

Подготовка сырья к производству. Подготовка сырья к производству сбивного хлеба включала подготовку всего сырья согласно «Технологическим инструкциям по производству хлебобулочных изделий» (М., 1989 г.) в соответствии с рецептурой.

Приготовление теста. Тесто для хлебобулочных изделий готовили ускоренным способом под давлением в герметично закрытой сбивальной установке – аэраторе «ММС-50» из пшеничной муки первого сорта. Рецептура и параметры приготовления теста приведены в таблице 1.

Таблица 1

Рецептура и режим приготовления сбивного хлеба

Наименование сырья, полуфабрикатов и параметров процесса	Расход сырья, кг и параметры процесса
1	2
Мука пшеничная первого сорта	100,0
Соль поваренная пищевая	1,3
Лимонная кислота	0,2
Вода	по расчету
Продолжительность замеса, мин	8,0
Скорость миксера, об/мин	800
Температура начальная теста, °С	20,0 ± 2
Рабочая температура теста (на выходе аэратора) °С	40-50
Объемная масса теста, см ³ /г	0,38-0,45
Влажность теста, %	56,0-60,0
Кислотность конечная, град	3,0

Разделка тестовых заготовок. Сбитое в аэраторе тесто подвергали разделке. Готовый полуфабрикат формовали в формы под рабочим давлением массой 0,15 – 0,4 кг.

Выпечка изделий. После разделки тестовые заготовки, предварительно уложенные в формы, сразу направляли на выпечку, которую осуществляли в ротационной печи при параметрах, обеспечивающих оптимальные технологические условия и режим выпечки. Продолжительность выпечки при температуре пекарной камеры 250 ± 2 °С составляла 20-25 мин.

Охлаждение хлеба. Готовые изделия охлаждали в условиях цеха в течение 1 ч.

Упаковка изделий осуществлялась по ГОСТ 8227.

Показатели качества бездрожжевых изделий приведены в таблице 2.

Таблица 2

Органолептические и физико-химические свойства сбивного бездрожжевого хлеба

Наименование показателей	Значение показателей
1	2
<i>Органолептические:</i>	
Форма	Соответствующая форме, в которой производилась выпечка
Поверхность	Шероховатая, с характерным подрывом
Цвет корки	Золотистый
Состояние мякиша	Пропеченный, не липкий, не влажный на ощупь, эластичный, без комочков и следов непромеса
Пористость	Развитая, без пустот и уплотнений
Вкус	Свойственный данному виду изделия
Запах	Свойственный данному виду изделия
<i>Физико-химические</i>	
Влажность мякиша, %	49,0
Кислотность мякиша, град	3,0
Пористость, %	70,0
Удельный объем, см ³ / 100 г	279

Заключение:

Анализ использования механического способа разрыхления теста показал возможность и целесообразность выработки изделий в промышленных условиях с использованием аэратора «ММС-50». Это позволит расширить ассортимент хлебобулочных изделий. Кроме того, способ позволяет увеличить влажность теста, исключить затраты на брожение, сократить производственный цикл приготовления хлеба, увеличить выход хлебобулочных изделий, а также сократить производственные площади.

Исполнители:

Генеральный директор

ЗАО «Белогорье»

Зам директора по производству

Зав. кафедрой ТХМКП ВГТА,

профессор, д.т.н.

Профессор кафедры ТХМКП, д.т.н.

Аспирант кафедры ТХМКП

Соискатель кафедры ТХМКП



В.Н. Косинов

С.И. Щеблыкин



Г.О. Магомедов

Е.И. Пономарева



И.А. Алейник



В.В. Рыжов