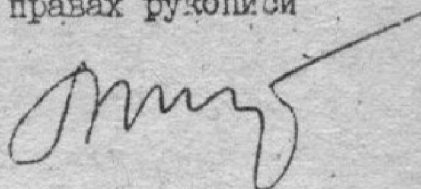


Авторизация
К 59

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
им. М.В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

КОЗЛОВ ГРИГОРИЙ ФЕДОТОВИЧ



ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ХЛЕБОПЕКАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА
НА ОСНОВЕ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ ТЕСТОПРИГОТОВЛЕНИЯ

Специальности: 05.18.13 — процессы, машины и агрегаты
пищевой промышленности

05.18.01 — технология хлебопекарных,
макаронных и кондитерских
продуктов

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Одесса — 1990

С.С.

Диссертационная работа выполнена на кафедре
"Технология хлебопекарного и кондитерского производств"
Одесского технологического института пищевой промышленности
имени М.В. Ломоносова

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, чл.-корр.
ВАСХНИЛ, профессор

Л.Н. Казанская

доктор технических наук,
профессор

С.А. Мачихин

доктор технических наук,
профессор

М.И. Беляев

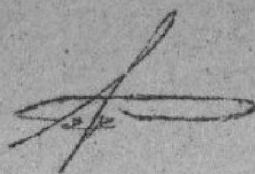
Ведущая организация ВНИИ хлебопекарной промышленности

Защита состоится "27" октября 1990 г. в 10³⁰ часов
на заседании специализированного совета Д 068.35.01 при
Одесском технологическом институте пищевой промышленности
им. М.В. Ломоносова по адресу: 270039, г. Одесса, ул. Сверд-
лова, 112.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Одесско-
го технологического института пищевой промышленности
им. М.В. Ломоносова.

Автореферат разослан "14" сентября 1990 г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
к.т.н., доцент



Е.Г. Кротов

Одесский технологический институт пищевой промышленности

л.с.
Б

ОНАХТ

01.04.13

Повышение эффективно



v016716

13
(9)

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИИ

Актуальность проблемы. Продовольственная проблема наиболее быстро и экономично решается на стадии переработки в пищевой промышленности. В хлебопечении подавляющее большинство технологического оборудования не соответствует мировому уровню, более половины работающих применяют ручной труд, недостаточны полнота использования сырья и качество продукции. Тесто-ведение, занимая центральное место в схеме, составляет до 80 % производственного цикла. В нем заключены основные резервы интенсификации и повышения эффективности производства.

Машиностроение не выпускает современных тестоприготовительных агрегатов (ТПА) непрерывного действия. В серийных ТПА типа ИВ-ХТА и др. по стадиям тестоведения используют однотипные тестомесильные машины (ТММ), которые не учитывают цели технологических операций, физико-механические свойства перерабатываемых сред, не позволяют интенсифицировать замес и получать качественные полуфабрикаты в широком диапазоне вязкостей. ТПА не исключают неконтролируемую вредную механическую обработку теста.

Для повышения эффективности хлебопечения целесообразно сочетание интенсификации производства с улучшением качества и пищевой ценности хлеба без применения энергоемких ТММ и дефицитных улучшителей, при более полном использовании ресурсов самого пшеничного зерна и применении преимуществ разных способов тестоведения, при снижении трудоемкости, материалоемкости и энергоемкости производственного процесса.

До конца следующей пятилетки предстоит заменить более двух третей оборудования пищевых предприятий, ускорив в 2-3 раза его разработку. В последнее время значительный вклад в развитие техники и технологии хлебопечения и мучных изделий внесли Л.Н. Казанская, Р.В. Кузьминский, С.А. Мачихин, А.Т. Лизовенко, В.А. Пандилов, Р.Д. Поляцова, Л.И. Пучкова, Н.Б. Урьев, В.В. Щербатенко, В.И. Дробот и др.

Однако имеющиеся проблемы отрасли еще не решены полностью. Для разработки нового эффективного оборудования и реализации на нем более совершенной технологии необходимо научное обоснование рабочих процессов, протекающих в машинах и аппаратах, в частности, на участке тестоприготовления. В данной работе решен ряд задач по этой проблеме.

Цель работы. Интенсификация процессов тестоприготовления на основе двухстадийного замеса с разработкой нового аппаратного оформления, реализующего ресурсосберегающий технологический процесс.

В задачи исследования включено:

- выявление типовых процессов и операций, определяющих качество функционирования поточной линии производства хлеба;
- установление механизмов протекания типовых процессов и возможностей управления ими для совершенствования производственного процесса;
- установление прогрессивных рабочих процессов, на основе которых создается более совершенное оборудование;
- разработка оборудования для замеса и сбраживания тестовых масс, реализующего новые процессы и операции;
- установление взаимодействия процессов, операций, машин и агрегатов, а также разработка технологического регламента для осуществления производственного процесса на новом оборудовании;
- определение влияния отдельных операций тестоприготовления на физико-химическую характеристику технологического процесса и качество функционирования поточной линии производства хлеба.

На защиту выносятся:

- обоснование и разработка процессов смешения тестовых полуфабрикатов в разреженных потоках и тонких слоях на основе развитой поверхности контакта фаз методами распыливания и тонкослойной пластикации теста деформацией сдвига;
- обоснование и разработка процессов непрерывного сбраживания тестовых полуфабрикатов в аппаратах вертикального типа;
- способы регулирования типовых процессов в технологии хлеба с двухстадийным замесом теста;
- обоснование энергосберегающей технологии на стадиях смешения, сбраживания и пластикации теста;
- обоснование новых критериев технологической оценки процессов смешения, сбраживания и пластикации теста.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- установлены влияние деформаций растяжения и сдвига при замесе на свойства теста, механизм пониженной чувствительности вращающего момента к изменению его реологических свойств, вклад явления энтропии белковых цепей в структурообразование теста при разной интенсивности замеса и значение упругого последствия в энергетике замеса;

- теоретически обоснован и экспериментально подтвержден двухстадийный замес теста на основе его предварительного смешения в разреженных потоках и пластикации в тонких слоях;
- обоснованы и предложены критерии оценки эффективности процессов смешения, брожения и пластикации теста;
- исследованы процессы хлебопечения, в том числе гидратация коллоидов теста, процессы сахарообразования, брожения, окислительно-восстановительные;
- теоретически обоснована и разработана технология тестоведения с двухстадийным замесом и дана её химико-технологическая оценка.

Практическая значимость работы включает:

- разработку технологии с двухстадийным замесом теста, сочетающей преимущества опасных и безопасных способов тестоведения, позволяющей рационально использовать побочные продукты мукомольного и хлебопекарного производства с увеличением выхода, качества хлеба и сокращением цикла тестоприготовления;
- создание комплекса тестоприготовительного оборудования для осуществления новой технологии, в котором резко уменьшены объемы рабочих камер мощных машин, бродильных аппаратов, металлоемкость агрегата и энергоемкость тестоприготовления;
- использование критериев оценки процессов тестоприготовления и количественных зависимостей для расчета оборудования, технологических операций и энергозатрат на их осуществление.

Материалы исследований включены в монографию "Системный анализ технологических процессов на предприятиях пищевой промышленности", в справочник "Химический состав пищевых продуктов" (1987 г.). Они прошли производственную проверку и внедрены на хлебозаводах городов Москвы, Барнаула, Одессы, Николаева, Голованевска, Бендер, Оргеева, Бельцы. Техническая документация на новое оборудование передана хлебопекарным и машиностроительным предприятиям, изготовившим 20 единиц оборудования. Технический совет Минхлебопродуктов МССР принял решение о подготовке к серийному производству циркуляционно-вихревого смесителя (февраль 1989 г.).

Апробация работы. Основные результаты работы опубликованы и докладывались на научных конференциях ЛНИИХПа (1968, 1969, 1981 гг.); всесоюзной конференции "Научно-технический прогресс в зерноперерабатывающей промышленности (Одесса, 1977 г.); 2-й всесоюзной конференции "Химия гемицеллюлоз и их использование"

(Рига, 1978 г.); всесоюзных конференциях "Теоретические и практические аспекты применения методов инженерной физико-химической механики с целью совершенствования и интенсификации технологических процессов пищевых производств" (Москва, 1982, 1986 гг.); республиканской научно-технической конференции "Основные направления комплексного использования сырья в отраслях пищевой промышленности и увеличение выпуска продукции из единицы сырья" (Бинница, 1983 г.); всесоюзной конференции "Проблемы индустриализации общественного питания страны" (Харьков, 1984 г.); расширенном заседании кафедры технологии хлебопекарного производства МТИП (Москва, 1985 г.); республиканской научно-технической конференции "Совершенствование техники и технологии в пищевой промышленности и общественном питании в свете решений XXIII съезда КПСС" (Кутаиси, 1988 г.); техническом совете Министерства хлебопродуктов Молдавской ССР (Кишинев, 1987, 1989 гг.); в Укрхлебпроме Минхлебопродуктов УССР (Киев, 1988 г.); всесоюзном семинаре "Интенсификация и автоматизация технологических процессов обработки пищевых продуктов" (Москва, 1988, 1989 гг.); республиканской научно-практической конференции "Интенсификация технологий и совершенствование оборудования перерабатывающих отраслей АПК" (Киев, 1989 г.); областной межвузовской научно-практической конференции "Социально-экономические и научно-технические проблемы агропромышленного комплекса" (Одесса, 1989 г.); научных конференциях профессорско-преподавательского состава и научных сотрудников ОТИП им. М.В. Ломоносова (1969-1989 гг.).

По материалам диссертации опубликовано 77 работ, в том числе 9 авторских свидетельств.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, семи разделов, общих выводов и приложений. Она включает 269 страниц текста, 135 рисунков, 5 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность проблемы и обоснована необходимость повышения эффективности хлебопекарного производства. К 1995 г. предстоит заменить до двух третей пищевого технологического оборудования, в 2-3 раза ускорив его разработку. Это ставит большие задачи перед научно-исследовательскими организациями агропромышленного комплекса.

В первом разделе приведен анализ аппаратурно-технологических систем (АТС) и процессов тестоприготовления. Системный подход предполагает использование классификаций. По признакам состава сырья и полноты его включения в продукцию хлебопеченье отличается многокомпонентностью сырья и полным введением последнего в изделия, что предопределяет процессам смешения и пластикации ведущую роль в технологии.

На участке тестоприготовления закладываются основы качества и выхода продукта, экономичность технологии, обеспечивается надежная работа последующих участков разделки и выпечки.

В технологической схеме (линии) участки приготовления полуфабрикатов, рецептурных смесей (теста), формования (разделки) теста, тепловой обработки (выпечки) охватываются типовыми процессами, в частности, гидратационными, микробиологическими, ферментативными и деформационными, которые взаимосвязаны и оказывают решающее влияние на эффективность функционирования поточной линии. Изучение их механизмов и взаимосвязи послужило основой для разработки новой техники и технологии тестоприготовления. Для этой же цели применены разработанные классификации тестоприготовительного оборудования по функциональным признакам.

Вследствие высокой неоднородности распределения плотных контактирующих фаз в объеме рабочей камеры и различия скоростей деформации в ТММ периодического действия стадии смешения и пластикации совмещаются, достижению однородности смеси препятствует практически мгновенное связывание фаз в местах оптимального их соотношения. В больших камерах интенсификация смешения затруднительна вследствие резкого возрастания сопротивления деформационному воздействию и потребляемой мощности, нагрева продукта, значительного сокращения ритма замеса.

• В ТММ непрерывного действия типа ИВ-ХТА, Х-12 и др. лопастные рабочие органы деформируют только слои, примыкающие к кромке лопастей, которые прорезаются через объемно заполненную камеру. Значительная интенсификация замеса невозможна вследствие "заматывания" теста на валу, разрыва сплошности среды и потери эффективности процесса. Отмечается (Н.Б.Урьев), что применение малогабаритных высокопроизводительных устройств непрерывного действия вместо периодических резко интенсифици-

рует смешение, уменьшает энергозатраты и занимаемую производственную площадь, повышает качество продукта и эффективность производства.

Бросательные аппараты занимают центральное место в компоновке ТПА. В последних необходимо максимально сократить протяженность перемещения продукта, особенно участки, работающие под давлением, и нагнетатели к ним. С учетом изменения плотности обрабатываемого материала равномерное созревание обеспечивается при вертикальном направлении потока снизу вверх и отборе созревшего с поверхности. Этим требованиям отвечают аппараты непрерывного действия вертикального типа цилиндрической или конусно-цилиндрической формы с размещением разгрузочного устройства по его оси при круговой симметрии относительно корпуса.

Процессы смешения полуфабрикатов и пластикация теста принципиально различаются по целям операций, свойствам исходных компонентов и получаемых смесей. Общим требованием к процессу начального смешения является создание легкоподвижности и интенсивного конвективного массообмена дисперсных фаз в состоянии разрежения и условиях стабильности процесса (Н.Б. Урьев).

Очень высокая когезионная способность гидратированных частиц муки при смешении обуславливает потерю способности к диспергированию и образование прочной структуры тестовой массы. Поэтому сведение к минимуму при смешении противоположно направленных процессов образования и разрушения структуры повышает эффективность технологии. Конвективный массообмен наиболее эффективен при максимально развитой поверхности контакта фаз в разреженных потоках и тонких слоях методами распыливания в механических завихрителях.

Пластикация теста на второй стадии замеса должна исключать неорганизованный (случайный) макроперенос продукта с прорывом рабочих органов через заполненный объем камеры машины. Массоперенос осуществляется в локальных объемах, исключая разрыв сплошности среды, резкий спад напряжения сдвига и обеспечивая эффективное деформирование при высоких скоростях. Изложенный подход реализуется при тонкослойной сдвиговой деформации, в том числе прокаткой.

Нормальное напряжение (при растяжении) и продольная вязкость значительно превосходят напряжение сдвига и сдвиговую

вязкость, что обуславливает их различное влияние на процессы структурообразования, реологические свойства теста и энергетику замеса. Структурообразование в тесте определяется термодинамическими свойствами клейковинных белков. При этом ведущую роль играют нековалентные (гидрофобные) взаимодействия и связывание белков в эластичный полимер дисульфидными мостиками.

При замесе линейные структуры белков вытягиваются, образуют трехмерную сетку клейковины, а при снятии нагрузки они стремятся вернуться в состояние с минимальной свободной энергией. Агрегация и свертывание цепей сопровождается снижением энтропии, являющейся основной движущей силой процесса. Эти изменения резко ускоряются при слабых механических воздействиях. Оптимально пластицированное тесто, подвергнутое неконтролируемой механической обработке, снижает технологические свойства.

Упругое восстановление белков влияет на энергоемкость замеса. При этом протекают противоположно направленные процессы: снижение вклада упругого восстановления и повышение вклада сил трения либо наоборот. При интенсивном замесе обратимая деформация не успевает восстановиться, снижается сопротивление деформирующим силам, увеличиваются пластические деформации, что способствует течению материала.

Оптимальное созревание теста при двухстадийном замесе протекает при разделении рецептуры по стадиям: компоненты, ускоряющие типовые процессы, включаются на первой, а тормозящие их — на второй стадии процесса. Представления о начальной, оптимальной и избыточной степенях развития структурных единиц теста диктуют необходимость полной закладки муки и минимального деформирования на первой стадии процесса.

На основе качественного анализа рабочих процессов и технологических операций составлен план эксперимента, разрабатывалась новая технология и её аппаратное оформление.

Во втором разделе описаны методы и критерии оценки физико-химических свойств теста и процессов тестоприготовления. В работе использованы современные методы исследования объектов и процессов: импульсный ядерный магнитный резонанс (ЯМР), хемилюминисценция, растворимость, электрофорез, гель-фильтрация белков, световая и растровая электронная микроскопия, хроматография, метилирование углеводков, определение активности фер-

ментных систем, молекулярной массы и структуры веществ, а также другие физико-химические и биохимические методы.

Процессы начального смешения и окончательной пластикации теста оцениваются независимыми критериями.

Для оценки однородности смесей выбрали среднеквадратическое отклонение (СКО) концентрации хлорида натрия в жидкой фазе теста на основе признака технологической однородности, которая определяется максимальным газообразованием смеси. Разработаны математические зависимости, описывающие процесс смешения. Минимальная длительность смешения определяется выражением:

$$t_{min} = K_{эс} \ln \frac{J(S_{max} - S_{min})}{(1-J) S_{min}} \quad (1)$$

где $K_{эс}$ — коэффициент технологической эффективности процесса смешения ($K_{эс} = 1/k$), с;

K — кинетическая постоянная смешения, c^{-1} ;

J — индекс однородности теста ($J = S_{min}/S$);

S_{max}, S_{min} — СКО концентрации $NaCl$ в начале и в конце замеса теста соответственно, %.

Зависимость процесса смешения от длительности и интенсивности имеет вид

$$S = (S_{max} - S_{min}) \exp[1 - (-10^{-3})t(13, D + 8, 1/n)] + S_{min} \quad (2)$$

где n — интенсивность процесса, c^{-1} .

Подтверждена адекватность зависимостей (1) и (2) опытным данным.

Критерием оценки структурно-реологических свойств (СРС) теста выбрана его максимальная прочность σ_{max} ; превосходящая по чувствительности напряжение сдвига, эффективную вязкость и вращающий момент на валу месилки. С увеличением скорости деформации пучок кривых сдвигового напряжения сходится, а нормального — расходится. Оптимальная удельная работа $A_{уд}^{opt}$ определена по затрате её на пластикацию до получения σ_{max} . Введен параметр интегрального деформационного воздействия (ИДВ)

D на тесто, значительно превосходящий по чувствительности $A_{уд}$ и имеющий на графике сингулярную точку. Последняя совпадает с оптимальной интенсивностью пластикации в энергетическом u и частотном n выражении (рис. 1: 1 — $A_{уд} = f(n)$; 2 — $A_{уд} = f(u)$; 3 — $D = f(n)$; 4 — $D = f(u)$).

Получены уравнения, описывающие связь прочности теста с режимами его пластикации, вида

$$\sigma = (\alpha_0 + \alpha_1 A_{y\delta} - \alpha_2 A_{y\delta}^2) \varepsilon^{a, \Delta z} \quad (3)$$

где $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$ — постоянные уравнения, определяемые экспериментально.

Предложен коэффициент технологической эффективности пластикации теста либо ТММ

$$K_{тэ} = \frac{\sigma_{max} \operatorname{tg} \alpha}{A_{y\delta}(D)} \quad (4)$$

где $\operatorname{tg} \alpha$ — тангенс угла наклона кривой σ_{max} в зависимости от $A_{y\delta}$.

В формуле (4) числитель учитывает СРС теста, а знаменатель энергетiku процесса. Для конкретной ТММ лучше применять параметр D .

В третьем разделе изложены механизмы протекания типовых процессов и принципы их регулирования (гидратационные, ферментативные и редокс-процессы, микробиологические, деформационные процессы).

Повышение гидратации теста, выхода и качества хлеба достигнуто на основе регулирования рецептурных и режимных параметров технологического процесса. Рассмотрены гидрофильная, гидрофобная и кластерфильная гидратации. Первая определяется энтальпией и меньше различается при изменении качества муки, вторая контролируется энтропией и вносит более важный вклад в гидратацию теста и его структуру. Кластерфильная гидратация занимает промежуточное положение.

Установлена близкая к функциональной зависимость между степенью связывания воды в тесте, его физико-химическими свойствами и качеством хлеба. Оно ухудшается по мере повышения гидрофильности крахмала, что обусловлено более сильной конкуренцией его за связываемую воду. Из-за её дефицита клейковина набухает недостаточно, не обеспечивая должного структурообразования и газодерживающей способности теста. Огромная скорость гидратации крахмала требует очень быстрого равномерного распределения воды в массе теста, что достигается распыливанием контактирующих фаз.

Водопоглотительная способность (ВПС) теста обусловлена фракциями свободной W_2 и связанной W_1 воды согласно зави-

СИМОСТИ

$$ВПС = 41,7 + 16,2 W_1 / W_2 \quad (5)$$

Высокие гидрофильные и гелеобразующие свойства пентозанов могут компенсировать пониженное качество муки. Определены состав, структура и свойства пентозанов пшеницы Одесская-51. Водорастворимый арабиноксилан (ВРАК) больше укрепляет тесто и улучшает качество хлеба из слабой муки (объем на 30 %), чем гемицеллюлозы (ГМЦ) отрубей (на 20 %), которые дольше сохраняют свежесть хлеба.

Методами ЯМР и гигроскопии установлено влияние вида деформации теста при замесе на связывание воды. На рис. 2а кривая 1 иллюстрирует связывание воды при деформировании сдвигом, а кривая 2 — при растяжении. На рис. 2б показано количество связанной воды в тесте безопарном (1), опарном (2), полученном распыливанием (3) и опытном при двухстадийном замесе (4). Особенно наглядно превосходство гидратационной способности теста при сдвиге в опытном варианте (заштриховано).

Дано объяснение механизма связывания воды на основе кластерфильной гидратации. Свойства расклинивающего давления смазывающих пленок, увеличение в мелких порах их толщины, прочности связывания и движение воды в холодную сторону обуславливает уменьшение упека и усушки хлеба.

Эффективными средствами интенсификации структурообразования теста и регулирования окислительно-восстановительных процессов (ОВП) являются его редокс-активность и взаимодействие с кислородом воздуха. Из-за лабильности и других свойств количество тиолов и дисульфидов слабо коррелирует с технологическими свойствами теста. Для оптимального эффекта требуется уменьшение количества свободных тиоловых групп и замедленный тиол-дисульфидный обмен (ТДО). При низком содержании SH-групп приоритетное значение приобретает ТДО, а при высоком — существенную роль играет образование сшивок белков S-S-связями. Эту гипотезу подтвердили сопоставлением влияния эквивалентных количеств окислителей и блокирующих SH-группы агентов на технологические свойства теста.

При механодеструкции рвутся проходные цепи с образованием свободных радикалов. Деформация растяжения способствует рекомбинации радикалов, а деформация сдвига выводит радикалы из "клетки", способствуя их диспропорционированию. Следова-

тельно, сдвиг ускоряет структурные превращения белков теста.

Протекание в тесте свободнорадикальных реакций окисления показано с помощью реактива Фентона, антиоксидантов, этилендиаминтетрауксусной кислоты как хелатора, металлов переменной валентности и др. Карбонильные вещества и жидкая фаза сброженного дрожжевого полуфабриката улучшают качество теста и хлеба благодаря влиянию на баланс серных групп. Поэтому предварительное ображивание немыщенных кислородом полуфабрикатов, не сформированных при начальном смешении, способно заметно "усилить" тесто, что и использовано в новой технологии тестоведения.

Среди ферментативных "ловушек" свободных радикалов ведущее место занимает супероксиддисмутаза (СОД). Её активность по-разному изменяется при безопасном и опытном тестоведении. Впервые установлена прямая связь между интенсивностью окисления липидов и интенсивностью хемилюминисценции (в опытном тесте она повышалась в два раза).

В предложенных конструкциях смесителей ОВП можно регулировать составом газовой фазы в камере. Это регулирование целесообразно сочетать с редокс-препаратами, например, дрожжевыми. Показано, что восстановитель цистеин влияет на газообразование теста в зависимости от баланса угнетающего действия на дрожжи и активации амилаз.

Установлено, что ухудшение качества хлеба при закладке на первой стадии замеса более 70 % муки обусловлено снижением интенсивности газообразования в расстойке из-за дефицита сбраживаемых сахаров. В зависимости от $A_{уд}$, содержания сахаров и дрожжей интенсивность газообразования и кислотонакопления изменяются в противоположных направлениях. Усиление деформации при замесе повышает атакуемость крахмала амилазами благодаря снятию с его поверхности экранирующих белковых пленок.

Предложено активировать дрожжи отрубями (5 % от массы муки) размольных систем, их компонентами (водным экстрактом и крахмалом), ферментативными гидролизатами крахмалосодержащего сырья (глюмадином), дрожжевыми препаратами. Зависимость ГОС в расстойке от количества отрубей G_0 имеет вид

$$V_{CC_2} = 136,0 e^{-0,029 G_0 - 0,049 G_0^2} \quad (6)$$

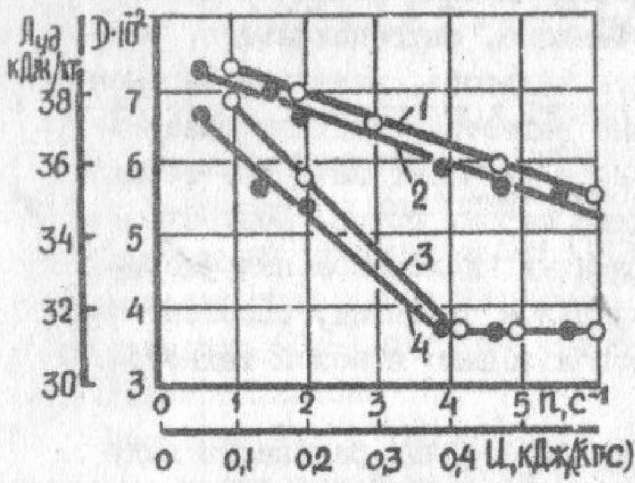


Рис. 1.

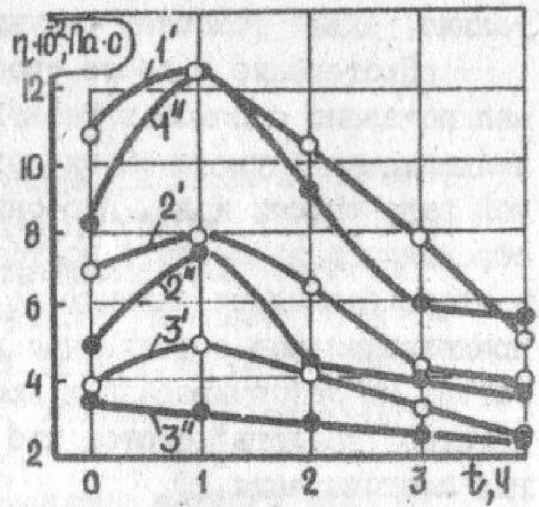
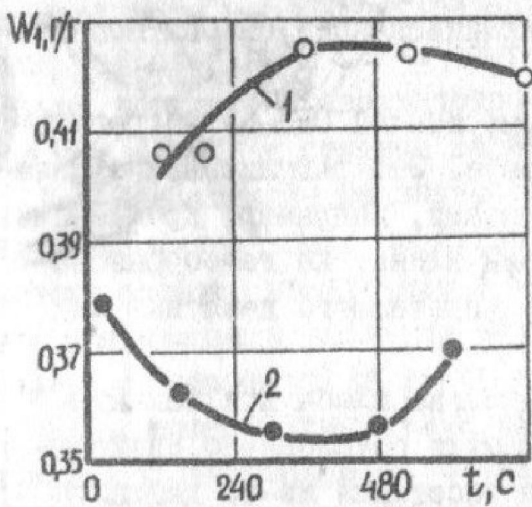
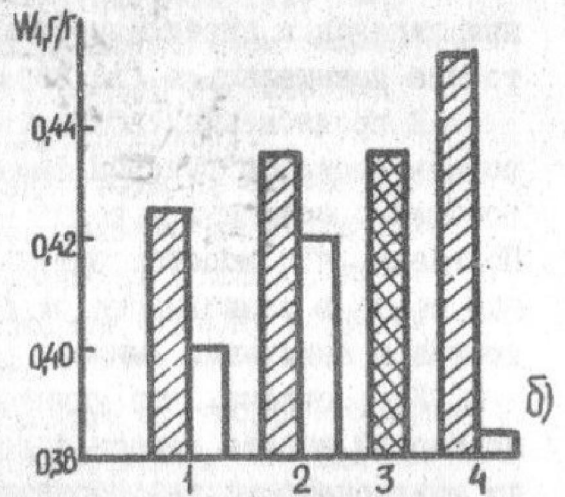


Рис. 3.



а)



б)

Рис. 2.

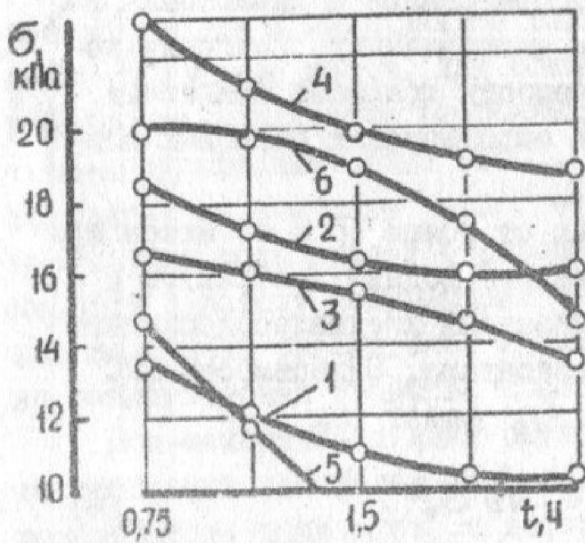


Рис. 5.

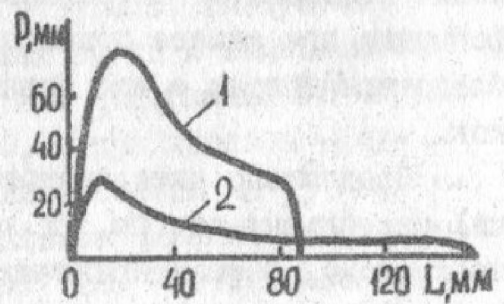


Рис. 4.

Зависимость процесса замеса и СРС теста от вида деформации является основой для конструирования ТММ и выбора оптимальных режимов их эксплуатации. Смещение в разреженных потоках, обуславливая минимальное структурообразование, значительно снижает реологические параметры материала (рис. 3). Различия эффективной вязкости теста, замешенного (1) и полученного расплыванием (2), снижаются при увеличении влажности (1 - 43, 2 - 45, 3 - 47 %).

Впервые изучено влияние деформаций сдвига и растяжения при замесе на СРС, биохимические и технологические свойства теста. Деформирование сдвигом (рис. 4) обуславливает большую упругость и меньшую растяжимость теста (1), а растяжением - наоборот (2). Сдвиг повышает формоустойчивость и качество хлеба, особенно при двухстадийном замесе и пониженных содержаниях белка и силе муки. Для объяснения выявленных эффектов сформулирована и подтверждена гипотеза об образовании более частой сетки клейковины. Эти эффекты использованы для разработки смесителей и пластикаторов, реализующих тонкослойную сдвиговую деформацию, в том числе прокаткой.

Интенсивность деформации теста по операциям замеса и выдержка в покое между ними значительно влияет на технологические результаты, которые ухудшаются при завершении процесса слабыми механическими воздействиями. Это еще не учитывается в технологии и не получило научного объяснения. На рис. 5 показана зависимость прочности теста от режимов деформирования (1 - интенсивность $0,66 \text{ с}^{-1}$; 2 - 4 с^{-1} ; 3 - после 4 с^{-1} ремикс при $0,66 \text{ с}^{-1}$; 4 - после варианта 3 ремикс при 4 с^{-1} ; 5 - после варианта 2 и выдержки 600 с ремикс при $0,66 \text{ с}^{-1}$; 6 - в отличие от варианта 5 ремикс при 4 с^{-1}). Деформация слабой интенсивности ухудшают СРС теста. На основе энтропии цепей полимера изложена и с помощью слабой вибрационной обработки и электронной микроскопии теста подтверждена экспериментально гипотеза о механизме получаемых эффектов. Последние использованы для обоснования исключения из схемы неконтролируемой механической обработки теста и применения пластицирующе-делительных агрегатов.

Предложена классификация тестовых полуфабрикатов по реологическим признакам. При влажности 46...48 % эффективная вязкость их из муки I сорта изменяется вдвое, являясь границей между тестообразным и слабоструктурированным состоянием. Влажность 53...55 % разделяет последнее и промежуточную вязкость,

при снижении которой традиционными средствами трудно получить однородные продукты из-за комьеобразования и отмывания клейковины.

В четвертом разделе изложены процессы смешения полуфабрикатов в разреженных потоках и пластикация теста в тонких слоях. Установлено, что в традиционных ТММ при сдвиге эффективность смешения полуфабрикатов максимальна при влажности 43...45 %, а теста на них — при влажности 45...49 %. Внесение всей воды на первой стадии процесса повышает усреднение теста, особенно при включении в смесь на первой стадии 80 % муки.

Для получения полуфабрикатов и теста в разреженных потоках и тонких слоях разработаны циркуляционно-вихревой (ЦВС), центробежно-вихревой и центробежный смесители. Последний (а.с. 1472018) основан на распыливании жидкости конусами, а муки — гребенчатыми лопастями. При пакетировании конусов повышается плотность орошения и уменьшаются габариты устройства. Жидкость течет в плоскопараллельном, сужающемся при постоянной площади сечения и убывающей площади сечения канала между конусами. При дозированном питании возможно сплошное, размыкающееся и разрывное течения. Описаны течения жидкости в каналах пакета конусов плоскопараллельном и сужающемся с постоянной площадью сечения. В конической относительной системе координат рассматривали установившееся ламинарное течение в заполненном канале. За основу взяты упрощенные уравнения Навье-Стокса и работы по коническим распылителям Ю.И. Макарова и О.А. Трошкина (МИХМ). Принятые допущения, упрощения и преобразования позволяют получить соотношения для вычисления компонент относительной скорости жидкости в сужающемся канале с постоянной площадью поперечного сечения (рис. 6)

$$v_r = \frac{\omega^2 R \sin \alpha}{12 \nu} x \left(\frac{F}{2\pi R} - x \right) \quad (7)$$

$$v_\varphi = - \frac{\omega^3 R \sin^2 \alpha}{12 \nu^2} x \left(x^3 \frac{F}{2\pi R} x^2 + \frac{F^3}{8\pi^3 R^3} \right) \quad (8)$$

Эти соотношения пригодны для расчета геометрических параметров распылителя и его производительности.

Получены зависимости для вычисления основных составляющих мощности N_1 и N_2 .

$$N_1 = \frac{v_r F (v_r^2 + v_e^2) \rho}{2} \quad (9)$$

$$N_2 = \frac{1,91 \cdot 10^{-8} \rho \omega^6 \sin^3 \alpha F^2}{v^3 R^3} \quad (10)$$

Выражение (10) может быть представлено в безразмерном виде как критерий мощности

$$\frac{N_2}{\rho \omega^3 (F/R)^5} = 1,91 \cdot 10^{-8} \left(\frac{\omega F}{v} \right)^3 \left(\frac{R^2}{F} \right) \sin^3 \alpha \quad (11)$$

Разработаны методики расчета параметров конических распылителей при дозированном питании. Режимы их работы проверены на адекватность. При диаметре наружного конуса 0,05 м и частоте вращения ротора 33,3 с⁻¹ максимальная производительность устройства (66,3 · 10⁻⁶ м³/с) получена при зазоре между конусами 0,4 мм, что совпадает с расчетными значениями (65,9 · 10⁻⁶ м³/с и 0,37 мм). Погрешность составляет 5–6 %. Различия в крупноте капель, полученных в эксперименте и расчетом, составили 10,5 %.

ЦВС разработан в нескольких модификациях лабораторного и промышленного исполнения (а.с. 1018610). Ротор смесителя представляет открытую дисковую турбину с односторонним (рис. 7) расположением лопаток. Благодаря интенсивной циркуляции потоков в ядре вихря высокая эффективность смешения достигается в широком диапазоне производительности и плотности потока при окружной скорости ротора около 20 м/с. При дополнительном деформировании теста рабочими органами ротора пригодны более низкие режимы. Так, производственная эксплуатация показала, что частота вращения ротора 10...15 с⁻¹ при диаметре камеры ЦВС 0,15–0,20 м обеспечивает высокую однородность смесей любой влажности, исключает комьеобразование и отмывание клейковины, улучшает качество хлеба по объему, формоустойчивости, структуре пористости, цвету мякиша, повышает выход изделий (на 1,5 % и более). При эксплуатации печей типа БН-50 в зависимости от вида замешиваемого продукта мощность привода смесителя составляет 1–4 кВт.

Прокатка является наиболее мягким видом слывговой деформации. Она может выполнять функцию структурообразования при

№ 0. 16716

Саратовский технологический институт пищевой промышленности им. акад. В. Давыдова

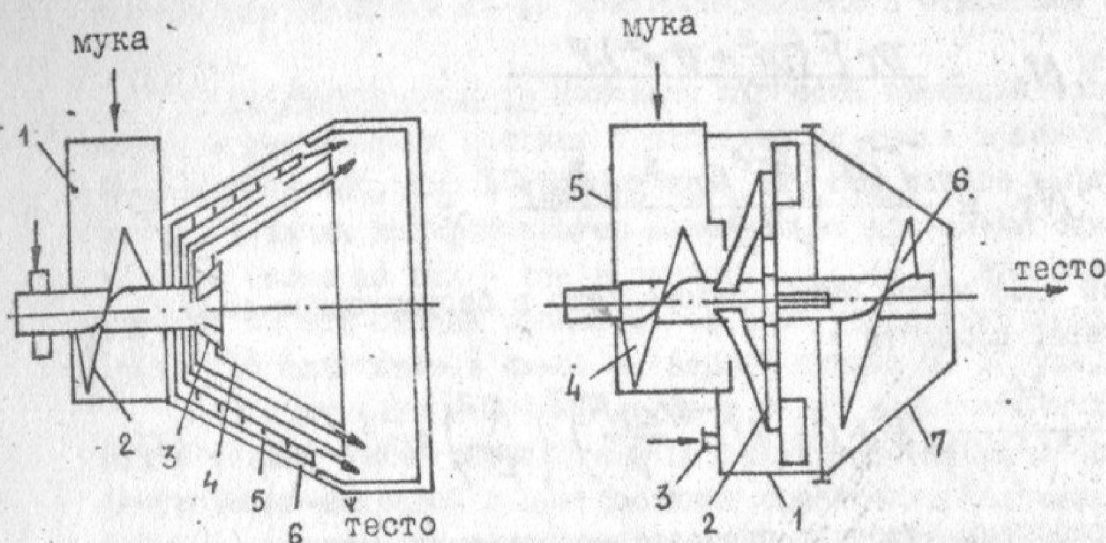


Рис. 6. Схема центробежного смесителя: 1 - корпус, 2 - шнек, 3 - распределитель жидкости, 4 - распылитель жидкости, 5 - распылитель муки, 6 - зачищающая лопасть.

Рис. 7. Схема циркуляционно-вихревого смесителя: 1 - корпус, 2 - ротор смесителя, 3 - патрубок для жидкости, 4 - шнек, 5 - приемник муки, 6 - транспортирующий элемент, 7 - корпус (тубус).

Окончательной пластикации теста в сочетании со стадией перемешивания либо обеспечивать пластикацию теста после обычного замеса с целью получения тонкопористой структуры мякиша хлеба.

Для минимизации дополнительного перемешивания и эффективной пластикации теста необходимо усилить контакт и когезию частиц среды путем их уплотнения, что обеспечивается в нагнетательной зоне пластикаторов. При устройстве в машине зоны перемешивания процесс реализуется путем разделения сплошной среды на тонкие слои и высокочастотной пульсирующе-сдвиговой деформации, с многократным изменением направления действующих сил.

В зоне тонкослойной однородной пластикации теста осуществляется оптимальное структурообразование без разрыва сплошности среды и прокатка всей массы продукта, находящегося в камере. Описанные процессы осуществляются в одновальных машинах, снабженных винтовой транспортно-нагнетательной зоной, зоной перемешивания с лопатками и перфорированными дисками и пластицирующей зоной для прокатки теста в узких зазорах.

Производственная эксплуатация пластикаторов подтвердила результаты теоретического обоснования и экспериментальных исследований. Получено повышение удельного объема хлеба на 15 %, фор.устойчивости - на 22 %, выхода - на 1,5 %, улучшение структуры мякиша по сравнению с базовыми машинами типа X-12, X-26. Показана возможность применения пластицирующе-делительных агрегатов, исключающих неконтролируемую механическую обработку теста. Проработаны методы инженерного расчета пластикаторов.

Изучена энергоёмкость замеса (пластикации). При низкой интенсивности процесса затраченная на деформацию теста работа используется менее эффективно благодаря явлениям упругого последствия. За период между деформационными циклами тесто успеет от-релаксировать на величину упругой деформации. С повышением интенсивности ускоряется повторность деформационных циклов, препятствующих упругому последствию и восстановлению деформации, что может снижать $A_{уд}$.

При повышении интенсивности замеса от 1 до 4 с⁻¹ $A_{уд}$ снизилась на 8,7 %, а ИДВ - на 83 %, подтверждая большой вклад сил трения в энергетику замеса. Интенсивность процесса в энергетическом выражении U (кДж/(кг с)) увеличивалась в 2 раза при её приросте в частотном выражении от 3 до 4 с⁻². С целью исключения завышенной мощности приводов это необходимо учитывать при конструировании ТММ и выборе оптимальных режимов замеса.

Обозначив затраченную на релаксационные процессы долю работы M , а все остальные статьи её затрат φ , вклад упругого последствия в энергетику замеса можно записать

$$A_{уд} = Ut(M + \varphi). \quad (12)$$

Определили энергозатраты на замес в зависимости от качества муки, состава рецептуры и способа тестоведения. При опарном тестоведении и величине седиментации муки S_v (см³) $A_{уд}$ равно

$$A_{уд} = 1,3 \cdot 10^{-2} (0,94 S_v - 21,1)(94,0 - 0,6 M_o), \quad (13)$$

а при двухстадийном замесе и бонитационном числе муки B_4

$$A_{уд} = 1,3 \cdot 10^{-2} (2,25_4 - 0,025_4^2 - 36,0)(112,0 - 33,2 \lg t_{\delta p}), \quad (14)$$

где M_0 - количество муки в опате, %;

$t_{\text{др}}$ - выдержка между стадиями смешения и пластикации, ч.
Уравнения могут быть использованы для составления номограмм (таблиц) применительно к конкретным условиям производства.

При деформировании сдвигом повышение силы муки и содержания хлорида натрия больше увеличивало $A_{\text{уд}}$, которая при двухстадийном замесе заметно снижалась в сравнении с базовым тестоведением (двухкратно и более).

Пригодность технологии для практического использования оценивается по адгезионным свойствам теста. Его повышенная липкость приводит к нарушению работы поточных линий, снижению влажности теста, перерасходу муки и невыполнению плановых выходов изделий. В месильном оборудовании практическое значение имеет повышение липкости.

Исследовали влияние на прочность адгезии P_a параметров пластикации теста. Получено минимальное значение P_a при σ_{max} . Между σ и P_a имеет место тесная отрицательная корреляционная связь ($r = -0,85$). Зависимость P_a от интенсивности пластикации Π и длительности контакта t_k адгезива с субстратом выражается уравнением

$$P_a = a_0 - a_1 \Pi + a_2 \Pi^2 + k \Pi t_k \quad (15)$$

где a_0 , a_1 , a_2 и k - постоянные уравнения, определяемые экспериментально.

Установлено, что физико-химические и технологические свойства теста и хлеба при оптимальной работе в исследованном диапазоне интенсивности Π обладают экстремальными значениями, за исключением прочности теста σ .

В пятом разделе описаны процессы непрерывного сбраживания полуфабрикатов и теста в аппаратах вертикального типа, разработанных для осуществления такой технологии. На основе проведенного в первом разделе анализа установлено, что они должны иметь цилиндрическую форму с коаксиальным расположением разгрузочного устройства по отношению к корпусу. Для обоснования технологических схем БА названного типа изучены физико-механические свойства сбраживаемых масс и предложены критерии для оценки процесса.

Плотность густых опар в основном снижается в 2 и более раза на 2-ом и 3-ем часах брожения, показывая большой контраст изменения её при влажности 50...55 %. При получении смесей методом распыливания их плотность после созревания на 20...50 % выше, чем замешенных в месилке. Она меньше зависит от влажности, содержания дрожжей, длительности созревания. При этом требуется меньший объем БА.

Предложены критерии эффективности использования обрабатываемых полуфабрикатов и вместимости БА: коэффициент (кратность) оборота бродильной емкости, объем на вместимость обрабатываемого продукта и эффективный объем $\bar{V}_{эф}$ БА. Новая технология значительно снижает этот объем.

Разработаны математические модели изменения плотности обрабатываемых масс в зависимости от давления в слое, так как это трудно определить экспериментально. Использовали центральный униформ-рототабельный план второго порядка и получили модель следующего вида

$$\rho = 3451,0 - 108,0m - 22,5P - 8,5W - 636,9t - 18,7mT + 4,2Wt_{\bar{\rho}} + 0,9PT - 107,9T + 236,8m^2 + 59,2t_{\bar{\rho}}^2 + 1,9T^2, \quad (16)$$

где m - масса дрожжей, %;
 W - влажность опары, %;
 T - температура, °К;
 P - давление в слое, кПа.

Проверка адекватности модели (16) и её факторный анализ показали высокую сходимость расчетных и опытных данных (различия в центре плана 0,34 %).

Реализован аналитический подход для описания разрыхления тестовой массы в зависимости от гидростатического давления в слое. Можно считать кажущуюся плотность теста зависимой только от состояния газовой фазы (для данной рецептуры). Согласно уравнениям Менделеева - Клапейрона и Генри, принимая в расчет только диоксид углерода, масса последнего в тесте состоит из суммы газообразной и растворенной долей

$$m_c = P_c (V_T - v_{ст} + v_g) (M_c / RT) \quad (17)$$

где P_c - парциальное давление газа, Па;
 V_T - объем теста, м³;

- $V_{ст}$ — объем сплошной среды теста, м³;
 V_g — эквивалентный объем газа, растворенного в тесте, м³;
 M_c — молекулярная масса газа, Да;
 R — универсальная газовая постоянная;
 T — температура, °К.

При этом плотность теста будет определяться плотностью сплошной (безгазовой) фазы и объемом нерастворенной части M_c'' при данном давлении. Различия между расчетными данными и полученными экспериментально составили 2–10 %. Полученные модели позволяют избежать методически затруднительных и дорогостоящих натуральных исследований и применить их для расчета и конструирования БА.

Для улучшения течения полуфабрикатов в БА изучены их адгезионные и трибометрические свойства. Прочность адгезии может быть значительно снижена при смачивании поверхностей контакта водой. При смазке последних растительным маслом либо смачивании водой скольжение продукта по поверхности контакта улучшается значительно больше, чем темп снижения прочности адгезии. При этом смачивание дает равный или превосходящий эффект от смазки. Устройство по периметру корпуса БА контура для подачи малого количества воды может улучшить гидродинамику БА, сгладив эпюру скоростей течения по его радиусу.

Предложены схемы БА конусно-цилиндрической формы вертикального типа с загрузкой продукта самотеком на дно (а.с. 852305) и отбором его с поверхности через коаксиально установленную выгрузочную воронку (а.с. 1120951). Объемы загрузочной, основной и выгрузочной частей БА согласованы с кинетическими закономерностями изменения плотности продукта при созревании. Из схем исключены побудители для загрузки, перемещения в БА и выгрузки продукта. С целью использования имеющегося парка секционных бункеров они модернизированы на непрерывную схему обрабатывания. Новые технологические подходы позволяют вдвое снизить объем БА заданной мощности.

В шестом разделе описана технология тестоведения с двухстадийным замесом теста. Работа, затраченная на замес густой опары, не компенсирует потребности замеса теста и её увеличение не улучшает качество хлеба. Продолжительное созревание теста не устраняет недостатки качества изделий от кратковременного брожения опары.

Разработана технология тестоведения с двухстадийным заме-

сом теста: вся мука, активированные дрожжи, треть рецептурной нормы поваренной соли и вся вода смешиваются в распыленных потоках без деформационного воздействия на смесь и подвергаются созреванию (около 2 ч). На второй стадии осуществляется пластикация теста тонкослойной прокаткой с введением специальным способом солевого раствора в БА или пластикаторе. Тесто делат сразу на выходе из пластикатора либо жгут его направляют на тестоделитель.

Реализовано несколько вариантов схем тестоведения, в том числе с применением для активации дрожжей мелкодисперсных фракций отрубей размольных систем, дрожжевых препаратов, гидролизатов крахмалопродуктов. Технология осуществляется на ТПА, включающем ЦВС для приготовления рецептурной смеси, прямочный БА для её ображивания и МПМ либо пластикатор для тонкослойной прокатки теста. Остальные операции осуществляют обычными методами. Новое оборудование дает эффект и при частичном включении в схему. Предложена технология с использованием распространяемого на предприятиях тестоведения на жидких опарах. Последние при коротком брожении заменяют активацию дрожжей. В остальном процесс идет описанным порядком.

Математическая модель технологического процесса при использовании для активации дрожжей отрубей размольных систем имеет вид

$$y = 555,2 - 44,3G_{др} + 55,0G_{са} - 71,0G_{со} + 44,2t_{др} - 1,8t_3 + 32,2G_{др}^2 - 205,0G_{са}^2 + 201,2G_{со}^2 - 45,3t_{др}^2 + 31,0G_{др}G_{са} + 53,0G_{др}G_{со} + 12,5G_{др}t_3 - 88,1G_{са}G_{со} - 41,0G_{са}t_{др}, \quad (18)$$

где $G_{са}$, $G_{со}$ - количество $NaCl$ в активационной фазе и вносимого в тесто, %;

t_3 - длительность пластикации теста, мин;

$G_{др}$ - количество прессованных дрожжей по рецептуре, %.

Приведенная модель использована для реализации технологии в производственных условиях и разработки технологического регламента.

Определены изменения крахмала, пентозанов и продуктов их гидролиза (гексоз и пентоз) по стадиям технологического процесса, а также затраты сухих веществ на брожение, которые на 40 % меньше, чем при опарном тестоведении.

Изучен фракционный состав белков. Оптимальный замес снижает содержание глиадинов, но не глютенинов. Фракция последних

при избыточном замесе убывает, а за счет ω -глиадинов увеличивается нерастворимый остаток. При избыточной обработке теста на электрофореграммах исчезают высокомолекулярные фракции глиадинов и увеличивается фракция мигрирующих в гель глютеинов.

При оптимальной $A_{уд}$ растворимость белков мало зависит от интенсивности замеса. Последнее существенно влияет на наблюдаемую под электронным микроскопом структуру теста. Влияние интенсивности проявляется прежде всего на уровне межмолекулярных связей и термодинамических свойств системы белок — жидкая фаза.

Деформирование при замесе сдвигом по сравнению с растяжением приводит к вовлечению низкомолекулярных фракций белков в комплексование с высокомолекулярными, что особенно характерно для двухстадийного замеса независимо от вида деформации. В тесте, выдержанном после замеса, способ замеса и вид деформирования мало влияют на содержание глютеина, сумму растворимых фракций и остаток. Это может быть обусловлено восстановительной полимеризацией клейковинных белков при отлежке.

В безопасном тесте сразу после замеса, после созревания и расстойки содержание фракций клейковинных белков изменяется значительно (в 2 раза) и нерегулярно, чего не наблюдается при двухстадийном замесе, подтверждая стабильность его свойств. С помощью РЭМ установлено большее развитие структуры теста при деформации сдвига и двухстадийном замесе. Таким образом, комплекс физико-химических и биохимических параметров технологического процесса подтверждает достоинства новой технологии.

В сельском разделе приведены расчеты экономического эффекта от использования на хлебозаводах отдельных машин и аппаратов, ожидаемый эффект от применения тестоприготовительного агрегата. Дана оценка экономического эффекта от внедрения отдельных технологических мероприятий.

Повышение эффективности использования сырья характеризуется увеличением выхода хлеба на 5 и более процентов за счет сокращения технологических затрат и потерь, утилизации побочных продуктов, в том числе отрубей и крахмала. Снижение материалоемкости достигается благодаря резкому уменьшению размеров рабочих объемов ТПА и упрощения его схемы. Объем камер ТММ уменьшается в 10–70 раз, объем БА — в 2 раза, металлоемкость и габариты агрегата — в 3–5 раз. Энергетические затраты на

тестоведение снижаются в 3-5 раз. Интенсификация тестоприготовления на стадиях предварительного смешения увеличивается в десятки раз, в среднем на порядок - на стадии пластикации, вдвое - при созревании теста.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Научно обоснованы процессы тестоприготовления с двухстадийным замесом:

- показано, что процессы предварительного смешения тестовых полуфабрикатов в разреженных потоках и тонких слоях, а также тонкослойная пластикация теста деформацией сдвига обладают наибольшей эффективностью;
- установлено преимущество непрерывного обрабатывания тестовых полуфабрикатов в аппаратах вертикального типа;
- предложены новые критерии технологической оценки замеса теста на стадиях его смешения, пластикации и созревания;
- сформулированы теоретические положения процессов структурообразования, гидратации, окислительно-восстановительных и микробиологических процессов в тесте.

2. Получены новые данные о процессах тестоприготовления:

- показано, что гидрофильность крахмала оказывает решающее влияние на технологические свойства теста благодаря конкуренции за связываемую воду с клейковинными белками;
- определены состав и структура пентозанов пшеницы Одесская-51; водорастворимые арабиноксиланы эндосперма больше улучшают качество хлеба из слабой муки, а нерастворимые гемицеллюлозы эффективнее тормозят его черствение;
- определено влияние величины механического и вида деформационного воздействий при замесе, способов тестоведения на связывание воды коллоидами теста; на основе кластерфильной гидратации сформулирована гипотеза, объясняющая протекающие процессы; максимум связывания воды проявляется при двухстадийном замесе, деформировании сдвигом, его оптимальном структурообразовании и тонкопористой структуре мякиша хлеба;
- установлены закономерности протекания в тесте окислительно-восстановительных процессов с участием кислорода воздуха, пероксидов липидов, свободных радикалов, металлов переменной валентности и других участников этих реакций;
- исследована зависимость процессов брожения от параметров тестоведения; на величину сахарообразования в тесте влияет наличие экранирующих белковых пленок на крахмальных зернах;

- установлено влияние вида деформирования теста при замесе на его структурно-реологические свойства и качество хлеба; деформация сдвига упрочняет тесто, повышает формоустойчивость хлеба, особенно при двухстадийном замесе слабой муки; сформулирована гипотеза, объясняющая полученные эффекты;
 - предложена классификация тестовых полуфабрикатов по реологическим признакам с учетом наиболее эффективных месильных устройств для их переработки;
 - на основе энтропии белковых цепей объяснен механизм отрицательного влияния на технологические свойства теста деформационного воздействия малой интенсивности.
3. Разработаны принципы и конструктивные решения аппаратурно-технологического оформления процессов тестоведения с двухстадийным замесом;
- для эффективного смешения хлебопекарных сред предложено несколько типов роторных смесителей непрерывного действия, рабочий процесс в которых основан на распыливании контактирующих фаз;
 - описано течение вязкой жидкости в плоскопараллельных и сужающихся каналах конусных распылителей; теоретически определена энергоемкость этого процесса;
 - разработаны пластикаторы и месильно-пластицирующие машины, осуществляющие тонкослойную прокатку теста и введение солевого раствора на заключительной стадии его замеса;
 - для технологии тестоведения с двухстадийным замесом разработано агрегирование пластикатора с делителем теста;
 - созданы вертикальные бродильные аппараты непрерывного действия с круговой симметрией конструктивных элементов и движением продукта снизу вверх;
 - разработанные машины и аппараты включены в тестопрототипный агрегат, обладающий высокими технико-экономическими показателями;
 - предложены зависимости для определения энергозатрат на замес; установлено влияние сил адгезии на протекание процессов тестоведения.
4. Разработана технология тестопрототипования с двухстадийным замесом теста;
- предусмотрено включение рецептурной нормы муки, воды, активированных дрожжей и части хлорида натрия при смешении распыливаемой на первой стадии, созревание смеси и разделку теста

сразу после пластикации;

- определены изменения углеводов и технологические затраты по стадиям технологического процесса;
- дана оценка изменения белков по свойствам клейковины, их растворимости, электрофоретической подвижности фракций, гель-фильтрации и структуре под электронным микроскопом;
- предложено регулировать окислительные процессы на стадии предварительного смешения путем контролируемого насыщения тестовой массы кислородом воздуха и при созревании недеформированной смеси.

5. На основе теоретических и экспериментальных исследований, опытно-конструкторских работ созданы и испытаны промышленные образцы циркуляционно-вихревого смесителя, месильно-пластицирующей машины, пластицирующе-делительного агрегата, бродильных аппаратов. Техническая документация на новое оборудование передана хлебопекарным и машиностроительным предприятиям, изготовившим малые серии этих машин.

6. Апробация результатов исследований на хлебозаводах подтвердила правильность теоретических положений и экспериментальных данных работы. Реальный экономический эффект от внедрения ЦВС на Бендерском хлебокомбинате составил 22 тыс. рублей, от внедрения БА на Голованевском хлебозаводе - 33 тыс. рублей. Ожидаемый экономический эффект от внедрения изготовленных 20 единиц оборудования составляет 400 тыс. рублей, а от внедрения технологических мероприятий - 950 тыс. рублей.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Козлов Г.Ф., Остапчук Н.В., Щербатенко В.В. Системный анализ технологических процессов на предприятиях пищевой промышленности. - Киев: Техника, 1977. - 200 с.
2. Химический состав пищевых продуктов. В 2-х кн. - 2-е изд.: Справочные таблицы содержания основных питательных веществ в энергетической ценности пищевых продуктов / Ред. И.М. Скурихин, М.Н. Волгарев. - М.: Агропромиздат, 1987. Кн. 1. - 224 с.; Кн. 2. - 360 с.
3. Козлов Г.Ф., Ех А. Хлебопекарная промышленность ЧССР. - М.: ЦНИИТЭИпищепром. - 1980. - 28 с.
4. А.с. 1472018 СССР, МКИ А 2Г С 1/06. Гомогенизатор хлебного теста / Г.Ф. Козлов, И.А. Лялина, Б.Г. Звягинцев (СССР). - Заявка № 4218320/3Г-13; Заявл. 30.03.87; Опубл. 15.04.89, Бюл. № 14.

5. А.с. 985288 СССР, МКИ А 21 С 1/06. Пластикатор / В.Ф.Петько, П.К. Попченков, Г.Ф. Козлов и др. (СССР). - Заявка № 3258626/28-12; Заявл. 11.03.81; Оpubл. 15.01.83, Бюл. № 2.
6. А.с. 1346096 СССР, МКИ А 21 С 1/06. Смесьитель непрерывного действия / Г.Ф. Козлов, А.М. Заремба (СССР). - Заявка № 3891498/28-13; Заявл. 30.04.85; Оpubл. 23.10.87, Бюл. № 39.
7. А.с. 262788 СССР, МКИ А 21 d 8/04. Способ приготовления теста из пшеничной муки / В.В. Шербатенко, Г.Ф. Козлов, В.А. Патт и др. (СССР). - Заявка № 1279382/28-13; Заявл. 21.10.68; Оpubл. 04.11.70, Бюл. № 7.
8. А.с. 1018610 СССР, МКИ А 21 С 1/06. Тестомесильная машина непрерывного действия / Г.Ф. Козлов, В.И. Менделеев, Г.Ф. Пшенишнюк, А.М. Бражник (СССР). - Заявка № 3311850/28-13; Заявл. 03.07.81; Оpubл. 23.05.83, Бюл. № 19.
9. А.с. 1285641 СССР, МКИ А 21 С 1/06. Тестовой пластикатор / И.В. Пашкин, Г.Ф. Козлов, В.Ф. Петько и др. (СССР). - Заявка № 3583023/28-13; Заявл. 20.04.83; Регистр. 22.09.86.
10. А.с. 852305 СССР, МКИ А 21 С 13/00. Устройство для выраживания теста / Г.Ф. Козлов (СССР). - Заявка № 2818422/28-13; Заявл. 12.07.79; Оpubл. 07.08.81, Бюл. № 29.
11. А.с. 1120951 СССР, МКИ А 21 С 13/00, Устройство для выраживания теста / Г.Ф. Козлов, Г.Ф. Шелковников, В.Ф. Петько, Н.В. Мамон (СССР). - Заявка № 3463409/28-13; Заявл. 05.07.82; Оpubл. 30.10.84, Бюл. № 40.
12. А.с. 1617892 СССР, МКИ А 21 d 8/02. Способ приготовления пшеничного хлеба / Р.П. Щелакова, Г.Ф. Пшенишнюк, Г.Ф. Козлов, Т.А. Мотревич (СССР). - Заявка № 4175649/31-13; Заявл. 05.01.87; Оpubл. 30.10.89, Бюл. № 40.
13. Способ производства пшеничного хлеба / Г.Ф. Козлов, А.М. Заремба, О.И. Панасюк // Положит. решение по заявке № 4428640/31 от 17.04.90 с приоритетом от 17.05.88.
14. Дудкин М.С., Козлов Г.Ф. Влияние пентозанов на качество теста и хлеба // ЭИ, ЦНИИТЭИпищепром. Сер. Хлебопекар. и макарон. пром-сть. - 1975. - Вып. 7. - С. 7-27.
15. Дудкин М.С., Сорочан Д.В., Козлов Г.Ф. Характеристика крахмала пшеницы Одесская-51 // Пищ. пром-сть: Респ. межвед. науч.-техн. сб. (Киев). - 1977. - Вып. 23. - С. 105-107.
16. Интенсификация процесса созревания теста / Г.Ф. Козлов, К.В. Остапчук, В.В. Шербатенко, Л.Ф. Столярова // Хлебопекар. и кондитер. пром-сть (ХКП). - 1969. - № 7. - С. 7-10.

17. Испытания ротационно-вихревого смесителя в производственных условиях хлебозавода /Г.Ф. Козлов, Г.Ф. Пшенишнюк, А.М. Бражник, Г.Ф. Шелковников // ХКП. - 1983. - № 5. - С. 21-23.
18. Исследование методом ЯМР связывания воды пшеничной мукой / Д.В. Сорочан, Г.Ф. Козлов, А.Д. Чмырь, В.Ф. Андронов //Изв.вузов, Пищ. технология (ПТ). - 1984. - № 1. - С. 12-15.
19. Козлов Г.Ф. Автоматизация управления процессом приготовления теста // ХКП. - 1976. - № 8. - С. 25-26.
20. Козлов Г.Ф. Анализ и синтез технологических процессов хлебопекарного производства // ХКП. - 1976. - № 2. - С. 17-18.
21. Козлов Г.Ф. Взаимосвязь основных процессов хлебопекарного производства // ХКП. - 1977. - № 2. - С. 27-29.
22. Козлов Г.Ф., Бражник А.М., Пшенишнюк Г.Ф. Влияние вида деформации теста при замесе на его реологические свойства // ПТ. - 1984. - № 3. - С. 39-41.
23. Козлов Г.Ф., Сорочан Д.В., Середницкий П.В. Влияние водорастворимых арабиноксиланов эндосперма пшеницы на хлебопекарные свойства муки // ХКП. - 1987. - № 6. - С. 38-40.
24. Козлов Г.Ф., Сорочан Д.В. Влияние гемицеллюлоз отрубей на хлебопекарные свойства пшеничной муки // ХКП. - 1987. - № 8. - С. 25-27. Статья перепечатана в журнале "Mlynsko-pekařenský průmysl a technika...". - 1988. - 34. - 5. - 141-142.
25. Козлов Г.Ф. Влияние крахмала на хлебопекарные свойства муки // ПТ. - 1980. - № 1. - С. 132-133.
26. Козлов Г.Ф., Пшенишнюк Г.Ф. Влияние физико-механических свойств теста на качество хлеба // ПТ. - 1983. № 5. - С. 43-45.
27. Козлов Г.Ф. Дрожжевой автолизат - улучшитель хлебопекарных свойств пшеничной муки с коготкорвущейся клейковиной // Реф. сб./ ЦНИИТЭпишпроом. - 1972. - Вып. 15. - С. 7-9.
28. Козлов Г.Ф., Лялина И.А. Зависимость качества хлеба от вида деформации при замесе //Пищ.пром-сть (Киев).Респ.сб. - 1990. - Вып. 36. - С. 15-17.
29. Козлов Г.Ф., Лялина И.А. Интенсификация гидратации биополимеров хлебного теста при различных режимах тестоприготовления // Сб.науч.тр. "Интенсификация процессов и новые технологии переработки, хранения и транспортировки в АПК", Киев, УМК ВО. - 1988. - С. 189-194.
30. Козлов Г.Ф., Интенсификация созревания хлебного теста // ПТ. - 1977. - № 5. - С. 66-69.
31. Козлов Г.Ф., Пшенишнюк Г.Ф., Бражник А.М. Использование регистрирующих динамических месильных устройств для оценки качест-

- ва муки // ПТ. - 1984. - № 4. - С. 86-88.
32. Козлов Г.Ф., Бражник А.М. Исследование структурно-механических свойств теста методом плоскостного растяжения // Пищ. пром-сть (Киев). Респ. сб. - 1985. - Вып. 31. - С. 42-46.
33. Козлов Г.Ф., Щербатенко В.В. Исследование газопроницаемости теста // ПТ. - 1971. - № 4. - С. 36-38.
34. Козлов Г.Ф., Сорочан Д.В. Кинетика превращения углеводов пшеничной муки в процессе интенсивного тестоведения и выпечки хлеба // Пищ. пром-сть (Киев). Респ. сб. - 1989. - Вып. 35. - С. 79.
35. Козлов Г.Ф., Лялина И.А. Критерий технологической однородности тестообразных масс хлебопекарного производства // ПТ. - 1989. - № 4. - С. 28-30.
36. Козлов Г.Ф. Критерии оценки замеса теста // ХКП. - 1978. - № 4. - С. 35-37.
37. Козлов Г.Ф., Меделеев В.И. Механизм деформационного воздействия при замесе на крахмал пшеничной муки и её сахарообразующая способность // ПТ. - 1988. - № 3. - С. 109-111. Статья перепечатана в журнале "*Mlynsko-pekarensky prumysl a technicka skladovani obilic*". - 1989. - 35. - 4. - 104-105.
38. Козлов Г.Ф. О классификации и горизонтальной декомпозиции (структуризации) технологических процессов пищевых производств // ПТ. - 1977. - № 1. - С. 108-109.
39. Козлов Г.Ф. О некоторых особенностях математического моделирования технологических процессов хлебопекарного производства // ПТ. - 1976. - № 6. - С. 99-101.
40. Козлов Г.Ф. О совершенствовании замеса хлебного теста // ХКП. - 1981. - № 1. - С. 36-37.
41. Козлов Г.Ф., Пшенищюк Г.Ф., Меделеев В.И. Производственные испытания ротационного гомогенизатора // Н.т.сб./ЦНИИТЭИ-пищепром. - 1980. - Вып. 3. - С. 18-19.
42. Козлов Г.Ф., Щербатенко В.В., Поляндова Р.Д. Регулирование структурно-механических свойств теста // ХКП. - 1969. - № 3. - С. 9-11.
43. Козлов Г.Ф. Системный анализ технологических процессов хлебопекарного производства // ХКП. - 1975. - № 12. - С. 13-15.
44. Козлов Г.Ф., Пшенищюк Г.Ф. Смеситель для приготовления тестообразных масс // ПТ. - 1986. - № 5. - С. 84-86.
45. Козлов Г.Ф. Статика и динамика тиолов и дисульфидов в окислительно-восстановительных реакциях белков в хлебном тесте // Матер. респ. науч.-техн. конф. "Соверш. техники и технологии в пищ. пром-сти и обществе. питание в свете решений XXVII съезда ЖНСС". - Кутаиси, 20-21 мая 1988 г. - Кутаиси, 1988. - С. 11-12.

46. Козлов Г.Ф., Лялина И.А., Трошкин О.А. Течение вязкой жидкости в конических сужающихся каналах // Соц.-экон. и науч.-техн. проблемы агропром. комплекса: Тезисы докл. обл. межвуз. науч.-практ. конф.; 9-11 окт. 1989 г. - Одесса, 1989. - С. 170.
47. Козлов Г.Ф. Улучшение качества хлеба // Пути повышения качества хлеба: Сб. статей. - М.: ЦНИИТЭИпищепром. - 1969. - С. 11-19.
48. Козлов Г.Ф. Улучшение методов оценки и контроля процесса замешивания теста // ХКП. - 1984. - № 4. - С. 31-32.
49. Козлов Г.Ф., Пшенишнюк Г.Ф., Менделеев В.И. Упек и усушка при интенсивном замесе теста // Н.-т. сб. / ЦНИИТЭИпищепром. - 1980. - Вып. 4. - С. 15-16.
50. Козлов Г.Ф. Упрощение технологических процессов как основа совершенствования управления производством // ХКП. - 1975. - № 7. - С. 34-36.
51. Козлов Г.Ф. Энергоемкость и интенсивность процесса замеса хлебного теста // ПТ. - 1987. - № 2. - С. 92-95.
52. Приготовление ускоренным способом булочных изделий, содержащих в рецептуре сахар и жир / Г.Ф. Козлов, Н.В. Остапчук, В.В. Щербатенко и др. // ПТ. - 1972. - № 1. - С. 65-67.
53. Пшенишнюк Г.Ф., Козлов Г.Ф., Карнаушенко Л.И. Адгезионная прочность теста на различных стадиях замеса // ПТ. - 1981. - № 6. - С. 128-129.
54. Пшенишнюк Г.Ф., Козлов Г.Ф. Влияние некоторых технологических факторов на удельный расход энергии при замесе пшеничного теста // ХКП. - 1979. - № 11. - С. 28-30.
55. Пшенишнюк Г.Ф., Козлов Г.Ф. Влияние режимов замеса теста на развитие его структуры // ХКП. - 1980. - № 5. - С. 37-39.
56. Пшенишнюк Г.Ф., Менделеев В.И., Козлов Г.Ф. Влияние скоростного замеса теста на его брожение до разделки // Н.-т. сб. / ЦНИИТЭИпищепром. - 1979. - Вып. 6. - С. 14-18.
57. Пшенишнюк Г.Ф., Козлов Г.Ф. Зависимость адгезии теста от интенсивности и продолжительности замеса // ХКП. - 1980. - № 8. - С. 27-30.
58. Пшенишнюк Г.Ф., Чмырь А.Д., Козлов Г.Ф. Исследование кинетики и оценка качества процесса смешивания тестовых материалов / Теор. и практ. аспекты применения методов инж. физ.-хим. механики...: Тез. Вс. конф. - М., МТИММП, 1982. - С. 91.
59. Пшенишнюк Г.Ф., Чмырь А.Д., Козлов Г.Ф. Исследование кинетики структурной релаксации пшеничного теста // Пищ.пром.-сть: Респ. сб. - 1981. - Вып. 27. - С. 39-41.
60. Пшенишнюк Г.Ф., Чмырь А.Д., Козлов Г.Ф. Зависимость адгезии-

- онных свойств теста от способа и интенсивности замеса // Пищ. пром-сть: Респ. сб. (Киев). - 1982. - Вып. 26. - С. 96-99.
61. Пшенишнюк Г.Ф., Козлов Г.Ф., Менделеев В.И. Исследование технологических показателей работы скоростной тестомесильной машины // Н.-т. сб. / ЦНИИТЭИпищепром. - 1979. - Вып. 4. С. 37-40.
62. Пшенишнюк Г.Ф., Чмырь А.Д., Козлов Г.Ф. Определение выхода клейковины и оценка её реологических свойств // ХКП. - 1981. - № 6. - С. 31-33.
63. Пшенишнюк Г.Ф., Козлов Г.Ф. Определение содержания поваренной соли в тесте экспрессным методом // Н.-т. сб. / ЦНИИТЭИпищепром. - 1981. - Сер. 14. - Вып. 3. - С. 14-16.
64. Пшенишнюк Г.Ф., Козлов Г.Ф. Оценка эффективности замеса пшеничного теста // Н.-т. сб. / ЦНИИТЭИпищепром. - 1981. - Сер. 14. - Вып. 4. - С. 37-38.
65. Пшенишнюк Г.Ф., Козлов Г.Ф. Параметры механической обработки при замесе, реологические свойства теста и качество хлеба // ХКП. - 1983. - № 9. - С. 23-27.
66. Пшенишнюк Г.Ф., Козлов Г.Ф., Чмырь А.Д. Прочность теста как критерий оценки его технологических свойств // ПТ. - 1981. - № 5. - С. 67-70.
67. Пшенишнюк Г.Ф., Козлов Г.Ф., Менделеев В.И. Технологические исследования ротационного замеса в условиях производства // ПТ. - 1981. - № 1. - С. 95-97.
68. Пшенишнюк Г.Ф., Козлов Г.Ф., Чмырь А.Д. Удельная работа при замесе пшеничного теста // ХКП. - 1982. - № 1. - С. 31-34.
69. Пшенишнюк Г.Ф., Козлов Г.Ф., Чмырь А.Д. Энергетические затраты при замесе пшеничного теста // ПТ. - 1981. - № 3. - С. 64-67.
70. Сорочан Д.В., Лудкин М.С., Козлов Г.Ф. Химическая характеристика водорастворимых арабиноксиланов пшеничной муки и их влияние на хлебопекарные свойства // Химия гемицеллюлоз и их использование: Тез. докл. Вс. конф. - Рига, 1978. - С. 44-47.
71. Шелковников Г.Ф., Козлов Г.Ф. Анализ состояния и современные требования к технологии и аппаратурному оформлению тестоведения в хлебопекарном производстве // Сб. науч. тр. / Одесса, НПО "Пищепромавтоматика". - 1982. - Вып. 21. - С. 68-75.
72. Шелковников Г.Ф., Козлов Г.Ф., Бражник А.М. Влияние работы, затрачиваемой при замесе опар, на изменение их кажушейся плотности в процессе брожения // ЭИ / ЦНИИТЭИпищепром. - Сер. 4. - 1984. - Вып. 2. - С. 8-9.
73. Шелковников Г.Ф., Козлов Г.Ф. Изменение плотности опар при брожении // ХКП. - 1984. - № 8. - С. 31-33.

74. Шелковников Г.Ф., Козлов Г.Ф. Классификация бродильных аппаратов хлебопекарного производства // Сб. науч. тр. /Одесса, НПО "Пищепромавтоматика". - 1983. - Вып. 22. - С. 50-54.
75. Шелковников Г.Ф., Козлов Г.Ф. Классификация тестомесильных машин // Сб. науч. тр./Одесса, НПО "Пищепромавтоматика". - 1984. - Вып. 23. - С. 70-76.
76. Шелковников Г.Ф., Козлов Г.Ф. Математическое моделирование плотности опар при брожении в аппаратах вертикального типа // ХХП. - 1987. - № 3. - С. 31-33.
77. Шелковников Г.Ф., Козлов Г.Ф., Катугина Л.П. Сравнение режимов работы бункерных агрегатов // ЭИ / ЦНИИТЭИпищепром. - 1985. - Сер. 4. - Вып. 3. - С. 3-6.

Обозначения:

F - площадь поперечного сечения канала, m^2 ; h - ширина канала, m ; v - абсолютная линейная скорость среды на кромке сброса, m/s ; v_x, v_r, v_e - линейная, радиальная и окружная составляющие скорости v , m/s ; ω - угловая скорость вращения конуса, $1/s$; ω_0 - угловая скорость вращения жидкости, $1/s$; α - $1/2$ угла раскрытия конуса, град; ν - кинематическая вязкость жидкости, m^2/s ; R - радиус конуса, m ; N_1 - мощность, потребляемая на сообщение кинетической энергии распыливаемой жидкости, Вт; N_2 - мощность, потребляемая на преодоление сопротивления сил трения при движении жидкости в канале между конусами, Вт; ρ - плотность среды, kg/m^3 ; V_c - объем диоксида углерода, m^3 ; η - эффективная вязкость, Па с; σ - нормальное напряжение (прочность), кПа; τ - напряжение сдвига, кПа; ϵ - относительное линейное удлинение; t - время, с.