

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ
КИЕВСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

На правах рукописи

АМИРАСЛАНОВА НИЯР ИСМАИЛ КЫЗЫ

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ И
РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ СМЕСИТЕЛЯ ДЛЯ
ЖИДКИХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ХЛЕБОПЕКАРНОГО
ПРОИЗВОДСТВА

Специальность 05.18.12 - Процессы, машины
и агрегаты пищевой промышленности

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

К и е в 1992



00343999 (.)

34.02

Работа выполнена в Киевском технологическом институте пищевой промышленности, внедрена на Шамхорском хлебозаводе Азербайджанской республики.

Научные руководители:

- профессор, д.т.н. ЛИСОВЕНКО А.Т.
- доцент, к.т.н. СИДОРЕНКО С.И.

Официальные оппоненты:

- засл. деятель науки и техники Украины, академик, профессор, д.т.н. ВОЛОДАРСКИЙ А.В.
- доцент, к.т.н. ОСТРИК А.С.

Ведущая организация - НПО "Пищемаш" /г.Киев/

Защита диссертации состоится 16 декабря 1992 г.
в 16⁰⁰ часов на заседании специализированного Совета Д 068.17.04 в Киевском технологическом институте пищевой промышленности по адресу: 252017, Киев-17, ул. Владимирская, 68, ауд. А-311.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью учреждения, просим направить по адресу: 252017, г. Киев, ул.Владимирская, 68, ученому секретарю института.

Автореферат разослан "9" 10 декабря 1992 г.

Ученый секретарь
специализированного
Совета
Д 068.17.04, доцент

СОРОКОЛИТ Н.И.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Объект исследования и актуальность тем. Для ускорения научно-технического прогресса в хлебопекарной промышленности решающее значение имеет совершенствование и интенсификация протекающих процессов, технологии, используемого оборудования.

В пищевых отраслях промышленности необходимо обеспечить рост объема производства. Это означает увеличение выпуска мучных изделий повышенного качества, расширение ассортимента, улучшение биологической ценности и вкусовых достоинств продуктов, сокращение потерь сырья на всех этапах производства, повышение производительности и улучшение условий труда обслуживающего персонала.

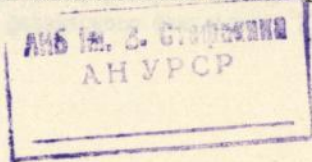
Повышение производительности труда в хлебопекарной промышленности требует разработки и внедрения новой техники, обеспечивающей интенсификацию технологических процессов, сокращение длительности производственных циклов. Наиболее распространенными на отечественных хлебозаводах являются схемы тестоведения с применением жидких полуфабрикатов, где в качестве смесителей применяются заварочные машины типа ХЗМ и другие, по своим технико-экономическим показателям не в полной мере удовлетворяющие современным требованиям, предъявляемым к смесителям.

Актуальна задача по исследованию интенсификации замеса жидких мучных полуфабрикатов и созданию на базе этих исследований новых прогрессивных конструкций смесительных устройств.

Цель работы. Исследование интенсивного замеса жидких пшеничных опар, определение рациональных параметров замеса, изучение влияния интенсивного замеса жидких опар на скорость их созревания, структурно-механические свойства, разработка на базе исследований новой смесительной машины для интенсивного замеса жидких опар.

Методы исследования. В работе использованы теория поля и пограничного слоя, теория вероятностей и математической статистики, турбулентности, механики гетерогенных сред. В экспериментальных исследованиях использованы методы дисперсного анализа и многофакторного планирования эксперимента, обработка данных осуществлялась с использованием ЭВМ.

Научная новизна. Выполнено теоретическое описание процесса приготовления жидких опар, даны математические модели протекаю-



ших процессов, разработана смесительная машина для интенсивного замеса и определены рациональные параметры приготовления при интенсивном замесе жидкой опары.

Практическая ценность. Создана экспериментальная установка для изучения особенностей режима при интенсификации процесса приготовления жидких полуфабрикатов, как основного фактора, определяющего эффективность работы смесителей, а также разработаны на базе этих исследований конструктивные и технологические мероприятия по совершенствованию смесителей интенсивного действия. В результате проведенных экспериментов определены особенности интенсивного замеса при приготовлении жидких полуфабрикатов хлебопекарного производства, даны рекомендации по их внедрению в промышленность. На основании исследований в условиях Шамхороваго хлебозавода Азербайджанской республики спроектированы, изготовлены и внедрены в производство установки периодического действия для интенсивного приготовления жидких опар. В результате внедрения производственный цикл сокращается, повышается выход хлеба при обеспечении стандартного качества готовых изделий. Конструкция смесителя защищена авторским свидетельством № 1450801 от 15 января 1989 года.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались в 1983-1991 г.г. в Киевском технологическом институте пищевой промышленности и Азербайджанском технологическом институте, на общественном семинаре "Интенсификация в технологических процессах пищевых продуктов" (г.Гянджа, 1988).

Публикация. Основные результаты работы опубликованы в двенадцати статьях, напечатанных в журналах "Хлебопекарная и кондитерская промышленность", Известия ВУЗов "Пищевая технология", УкрНИИПИ, "Бюллетень изобретений СССР" и "Хранителна промишленост" (Болгария), сборник научных работ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, списка литературы (193 наименования) и 7 приложений. Работа изложена на 145 страницах, содержит 17 таблиц и 27 рисунков.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении раскрыта актуальность, а также научная и практическая важность вопросов, составляющих предмет диссертационной работы, дан краткий обзор работы по теме и приведены основные научные положения, защищаемые автором.

В первой главе дан обзор существующих смесительных машин для трехфазных систем и анализ протекающих процессов. Рассмотрены современные смесительные машины для приготовления жидких полуфабрикатов хлебопекарного производства, а также специфика протекающих процессов. Дан обзор машинно-аппаратурных схем приготовления жидких полуфабрикатов. Установлено, что перопективным направлением интенсификации процессов и улучшения качества готовых изделий является интенсивный замес жидких полуфабрикатов и, в частности, пшеничных опар.

Во второй главе изложены задачи, методика и объекты исследования.

Сформулированы основные задачи исследования, охватывающие изучение:

- влияния длительности интенсивного замеса жидких опар на кинетику брожения;
- влияния частоты вращения месильного органа на интенсивность замеса жидких опар;
- влияния конфигурации рабочего органа смесителя при интенсивном замесе на качество опар;
- реологических свойств жидкой пшеничной опары в процессе брожения;

а также:

- определение рациональных параметров приготовления жидких опар;
- выбор рабочего органа смесителя и разработку конструкции смесительной машины для интенсивного замеса жидких опар;
- разработку математических моделей процессов приготовления жидких опар при интенсивном замесе;
- выработку рекомендаций для создания опытного образца смесительной машины, выполнение испытаний её в заводских условиях.

Лабораторные эксперименты проводились на кафедре "Машины и аппараты хлебопекарного, макаронного и кондитерского производства" КТИПП на специально созданной лабораторной экспериментальной установке, в лабораториях физического факультета КГУ им.

Т.Г.Шевченко, производственные испытания — на Шамхорском хлебо-
заводе Азербайджанской республики.

Проведено описание лабораторной установки и методик экспериментов.

Была сконструирована принципиально новая лабораторная установка со смесительной машиной циркуляционного типа для замеса жидкого мучного полуфабриката, в конструкции которой избежали недостатков, наблюдавшихся в известных машинах.

Установка (рис.1) содержит смесительную камеру 4, крышку с патрубками 3 для загрузки муки и жидких компонентов, вертикальный вал со сменным ротором 5. Привод состоит из асинхронного двигателя I мощностью 0,6 кВт с электромагнитной муфтой и клиноременной передачи 7. С помощью регулятора скоростей 6 марки ПСМ-7 имеется возможность получения различной частоты вращения рабочего органа в диапазоне от 800 до 2500 мин⁻¹. Смеситель снабжен реле времени 2, электронным тахометром с цифровой индикацией 8, позволяющими визуальнo наблюдать за параметрами процесса смесеобразования — продолжительностью замеса и частотой вращения. Смесительная машина и привод компактно установлены на сварном каркасе, опирающимся на лабораторный стол.

Производительность лабораторного смесителя составила 45 кг/ч.

В экспериментах готовили большую жидкую опару из пшеничной муки первого сорта средних хлебопекарных достоинств влажностью 65–70 % при содержании прессованных дрожжей 0,5–1 % к массе муки, которые в виде суспензии вносили за 15 секунд до окончания замеса. Изменение качества жидких опар оценивали в сравнении с контролем по комплексным характеристикам протекающих биологических и микробиологических процессов — интенсивности кислотонакопления и газообразования, изменению плотности и подъемной силы опар в процессе брожения.

В лабораторных условиях тесто замешивали в тестомесильной машине ЛТ-300 при частоте вращения рабочего органа 45 мин⁻¹. Изделия формовали вручную, расстойку вели при 34°C в термостате. Хлеб выпекали в лабораторной электропечи марки ЭТ-3 при температуре 220°C. При замесе расход мощности определялся измерительным комплексом марки К-50.

Для исследования структурно-механических свойств опар использовали ротационный вискозиметр марки ВСН-3. Обработку результатов исследований для определения наиболее рациональных

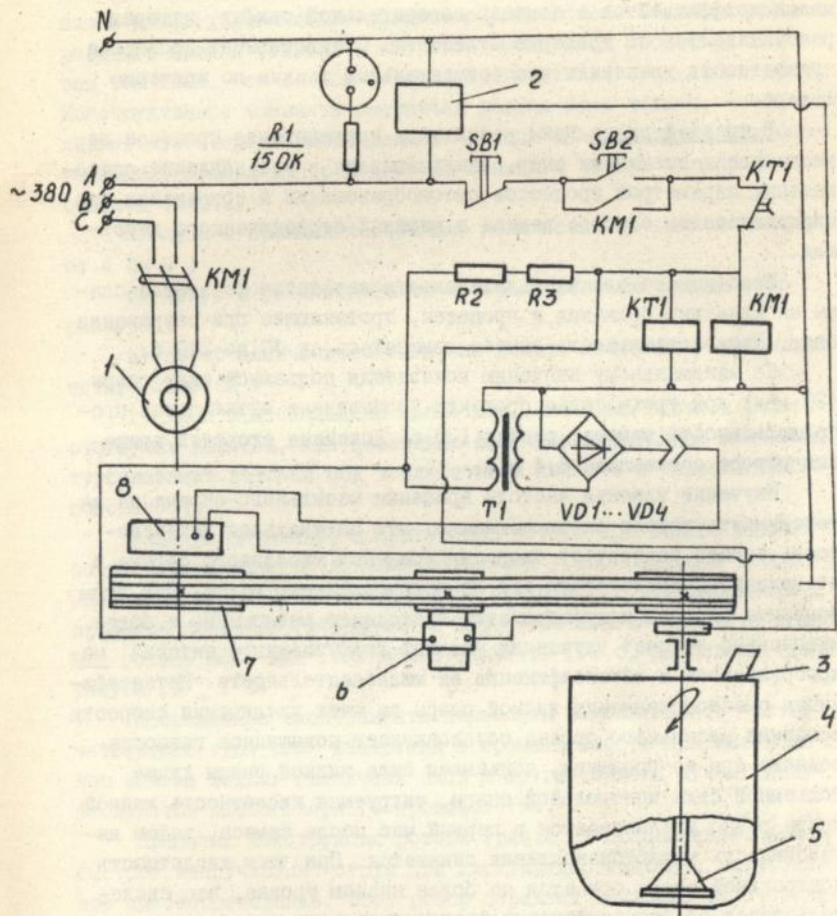


Рис.1. Принципиальная электрическая схема экспериментальной установки

параметров приготовления жидких опар проводили с помощью многофакторного ортогонального планирования экспериментов второго порядка. После получения уравнений регрессии проверяли значимость коэффициентов с помощью доверительной ошибки, которая рассчитывалась по критерию Стьюдента. Статистически проверена адекватность уравнения экспериментальным данным по критерию Фишера.

В третьей главе даны результаты исследования процесса замеса жидких пшеничных опар, заключающиеся в установлении рациональных параметров процессов смесеобразования и созревания при циркуляционном способе замеса в машинах периодического действия.

Исследовано влияние длительности интенсивного замеса опары на кинетику брожения и процессы, протекающие при созревании опар. Продолжительность замеса изменялась от 60 до 240 с.

По минимальному значению показателя подъемной силы опары (20 мин) при трехчасовом брожении установлена оптимальная продолжительность замеса, равная 120 с. Линейная скорость вращения ротора составляла 8,4 м/с.

Изучение влияния частоты вращения месильного органа на интенсивность замеса опары показало, что оптимальная интенсивность замеса зависит от скорости вращения месильного органа и от механизма воздействия его на перемешиваемую массу. При этом брожение жидкого полуфабриката происходит равномерно и более интенсивно за счет улучшения условий диффузионного питания микроорганизмов и интенсификации их жизнедеятельности. Интенсификация смесеобразования жидкой опары за счет увеличения скорости вращения месильного органа обуславливает повышенное газообразование при ее брожении, подъемная сила жидкой опары лучше подъемной силы контрольной опары, титруемая кислотность жидкой опары резко увеличивается в первый час после замеса, затем интенсивность кислотонакопления снижается. При этом кислотность контрольной опары остается на более низком уровне, что свидетельствует об интенсификации кислотонакопления при брожении опар, приготовленных на высокооборотной смесительной машине. Установлены оптимальные режимы интенсивного замеса и приготовления жидкой пшеничной опары в высокооборотном смесителе с лопастным ротором, скорость вращения рабочего органа $33,3 \text{ с}^{-1}$ при продолжительности замеса 120 с, продолжительность брожения опары — три часа.

Изучение влияния конфигурации рабочего органа смесителя при интенсивном замесе на качество опар подтвердило, что важное значение в работе месильных машин имеет принцип воздействия и конфигурация перемешивающего устройства. От конфигурации рабочего органа зависит и скорость протекания процесса, которая тем выше, чем больше поверхность контакта смешиваемых фаз. Конструктивные элементы смесителя должны быть такими, чтобы в наименьшей степени повреждались частицы муки и клетки микроорганизмов. Исследованию подвергли основные четыре типа рабочих органов (рис.2):

- а) диск с прямыми лопатками, количество которых изменяли от 4 до 6 ;
- б) конус с установленными четырьмя ребрами одинакового размера ;
- в) ротор конического типа, на ребрах которого установлены четыре лопасти ;
- г) диск с несколькими лопастями, имеющими борта в форме отогнутых желобов, что позволило изменять циркуляцию и степень турбулизации потоков под воздействием лопасти и направляющей поверхности.

Влияние различной конфигурации ротора при замесе жидкой опары подтверждается данными изменения газообразующей способности, подъемной силы и титруемой кислотности полуфабриката в процессе брожения (таблица I). Параметры замеса: частота вращения ротора 2000 мин^{-1} , продолжительность 120 с, начальная температура $29 \pm 1^\circ\text{C}$.

Проведенные эксперименты позволили рекомендовать ротор четвертого типа для внедрения в промышленность при интенсивном замесе жидких пшеничных опар и других жидких мучных полуфабрикатов хлебопекарного производства.

Принятая конструкция ротора (рис.2 г) обеспечивает более быстрое закручивание струи при циркуляции, наиболее интенсивное смесеобразование. Этот ротор передает движение за счет давления лопаток рабочего органа на жидкость в направлении движения потока. При этом силы, действующие в среде и вызывающие ее движение, определяются поверхностными силами давления $\vec{P} = -\nabla p dV$ и массовыми центробежными силами $\vec{G} = \rho \vec{a} dV$.

Данные экспериментов подтверждают теоретические предположения об интенсификации смесеобразования при использовании ротора в виде пластины с бортами в форме отогнутых желобов,

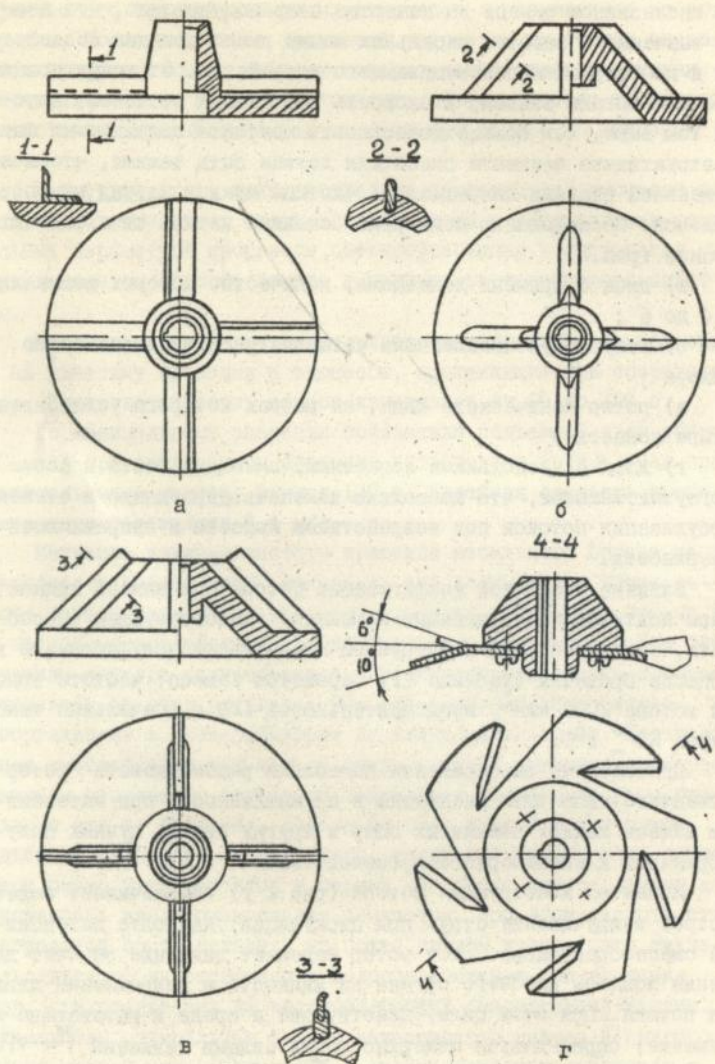


Рис.2. Принципиальные схемы рабочих органов.

Таблица I

Влияние конфигурации ротора на свойства
жидкой опары при созревании

Показатели	Контроль	Тип рабочего органа			
		а	б	в	г
Газообразующая способность, см ³ CO ₂ на 100 г опары					
через 60 мин	20	20	38	40	56
120 мин	76	80	96	120	140
180 мин	202	240	260	280	320
240 мин	304	320	380	394	420
Титруемая кислотность, град					
начальная	1,8	2,0	2,0	2,1	2,2
через 60 мин	2,4	2,6	2,6	2,8	3,0
120 мин	3,0	3,2	3,2	3,4	3,6
180 мин	3,6	3,8	4,0	4,2	4,4
240 мин	4,0	4,2	4,4	4,4	4,8
Подъемная сила, мин					
начальная	93	89	86	82	60
через 60 мин	58	62	59	54	43
120 мин	35	39	36	39	28
180 мин	26	22	24	20	18
240 мин	22	20	20	18	15

обеспечивающего щадящее воздействие на среды, содержащие микро-организмы. В этом случае значительно повышается качество жидкой опары, что выражается в более интенсивном накоплении углекислого газа и улучшения показателя подъемной силы.

Получены данные изменения кислотности при различных скоростях вращения ротора при длительности замеса опары 120 с и начальной температуре 29°C.

Начальная титруемая кислотность опары при повышении скорости вращения месильного органа при замесе увеличивается на 0,2 град., что, вероятно, можно объяснить освобождением большего количества кислот и кислореагирующих веществ.

Через час брожения кислотность равнялась при частоте вращения 16,7 - 25,0 об⁻¹ - 2,6 град., а при 33,3 об⁻¹ - 2,8 град. Нарастание титруемой кислотности опары через 3 часа брожения составило соответственно 2,0 град. и 2,2 град., в конечном итоге получено 4,2 и 4,4 град. Это свидетельствует, что на процесс кислотонакопления при брожении воздействует интенсивность смеособразования в рабочей камере смесителя. Аналогичны данные

анализа активной кислотности жидких опар.

Динамика нарастания показателей позволяет сделать заключение, что оптимальной частотой вращения месильного органа можно считать $33,3 \text{ с}^{-1}$, а продолжительностью брожения для достижения необходимых значений кислотности — 180 мин.

Изучалось воздействие температуры при брожении опары на нарастание кислотности. При экспериментах изменялась температура опары от 25 до 38°C при других постоянных параметрах.

Установлено, что повышение температуры брожения опары выше 32°C нецелесообразно.

Выполнено исследование физико-механических свойств жидкой пшеничной опары. По своим физико-механическим свойствам готовая жидкая опара представляет собой реологическую систему; изменением её вязкости в первом приближении можно пренебречь и считать опару несжимаемой и соответствующей модели Шведова-Бингама.

С помощью ротационного вискозиметра исследованы физико-механические свойства жидкой опары в процессе брожения от 0 до 210 мин при температуре 30°C (табл.2). Влажность опары поддерживалась на уровне 70 %, частота вращения рабочего органа при замесе составляла $33,3 \text{ с}^{-1}$, длительность замеса — 120 с.

В результате обработки данных эксперимента получили в реальных условиях зависимость касательного напряжения сдвига от скорости деформации жидкой опары при брожении, которая свидетельствует, что жидкая опара по своим физико-механическим свойствам соответствует нелинейно-вязким неньютоновским жидкостям, а реологическая диаграмма τ - $\dot{\gamma}$ имеет в исследуемом диапазоне линейную зависимость (рис.3).

При достаточно больших значениях τ и $\dot{\gamma}$ эта диаграмма прямолинейна:

$$\tau = \mu_0 \dot{\gamma} \quad \text{при } \dot{\gamma} \rightarrow \infty \quad (I)$$

Фактически, вязкость жидкой опары μ зависит от скорости деформации $\dot{\gamma}$, а величина μ_0 определяет её минимальное значение.

Общее реологическое уравнение состояния жидкой опары представляется в следующем виде:

$$\tau_{ij} = -p\delta_{ij} + \mu(\dot{\gamma}) \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right),$$

Таблица 2

Изменение физико-механических свойств жидкой
опары в процессе брожения

Продолжи- тельность брожения, мин	Касатель- ное на- пряжение сдвига, н/м ²	Скорость деформа- ций, н/м ² · Па	Объем выделе- вшегося угле- кислого газа, см ³ на 100 г опары	Динамическая вязкость опары, Па
0	0,245	0,198	0	1,24
30	0,296	0,253	64	1,17
60	0,346	0,307	125	1,13
90	0,385	0,343	180	1,12
120	0,416	0,386	246	1,08
150	0,480	0,448	300	1,07
180	0,552	0,525	368	1,05
210	0,518	0,553	410	1,05

где $\mu(\gamma) = \frac{\partial \tau}{\partial \gamma}$; $\gamma = \sqrt{\varepsilon_{ij} \cdot \varepsilon_{ij}}$;
 $\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$, $i, j = 1, 2, 3$ (2)

Функцию $\tau(\gamma)$ для жидкой опары можно считать моно-
тонно возрастающей, причем её производная $\frac{\partial \tau}{\partial \gamma}$ с ростом γ
монотонно убывает до значения μ_0 .

Зависимость, определяющая состояние жидкой опары с уче-
том реологических уравнений, принимает следующий вид:

$$\rho \left(\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) = \rho g_i - \frac{\partial P}{\partial x_i} +$$

$$+ \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\mu(\gamma) \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right), \quad i, j = 1, 2, 3 \quad (3)$$

при $\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0$, $i = 1, 2, 3$ (4)

Система уравнений (3), (4) служит для определения четы-
рех неизвестных функций P и u_i . С её помощью можно изучить
свойства жидкой опары в технологическом процессе, для чего к
системе уравнений нужно присоединить начальные и граничные
условия. На границе контакта с твердой поверхностью аппарата

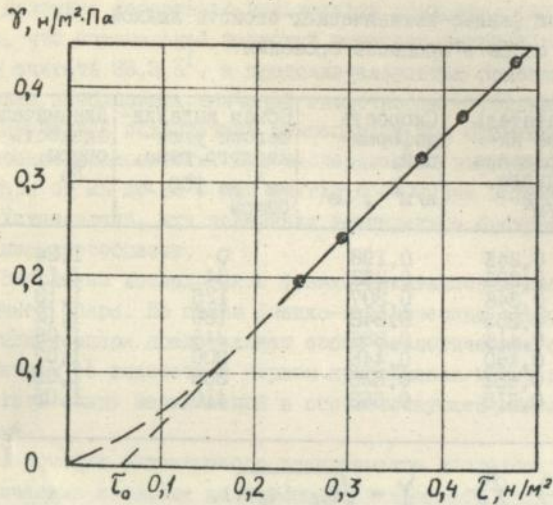


Рис.3. Экспериментальная зависимость напряжения сдвига слоев от скорости деформации при брожении жидкой пшеничной опары

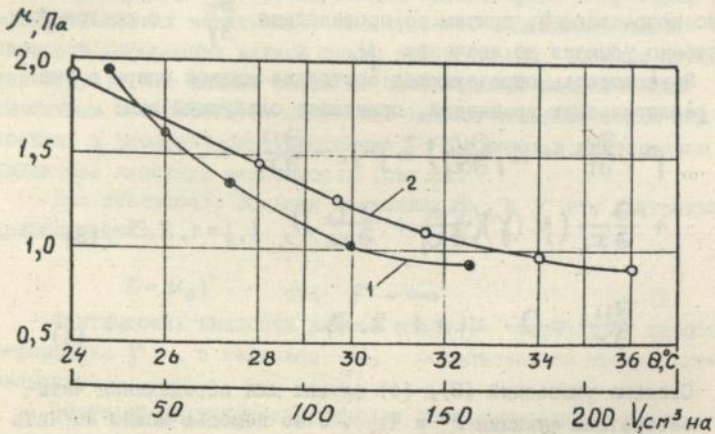


Рис.4. Экспериментальные зависимости динамической вязкости жидкой опары от количества выделившегося углекислого газа при брожении /1/ и её температуры /2/.

все компоненты скорости жидкой опары обращаются в нуль. На свободной границе давление опары должно равняться внешнему давлению газа на этой поверхности, а вектор скорости — лежать в касательной плоскости к этой поверхности. В начальный момент времени обычно задаются распределением вектора скорости и градиента давления по различным точкам пространства.

Исследована также зависимость вязкости жидкой опары от температуры и объемной доли пузырьков газа. Жидкую опару по своей физической структуре в первом приближении можно считать двухфазной средой по типу "вязкая жидкость плюс диспергированные в ней пузырьки газа". Если предположить, что пузырьки газа имеют сферическую форму или же форму эллипсоида с отношением максимального диаметра пузырьков и минимальному диаметру менее трех, зависимость динамической вязкости μ от газонасыщенности α имеет вид:

$$\mu = \mu_1 e^{\alpha} \quad (0 < \alpha < 0,2) \quad (5)$$

По количеству выделившегося углекислого газа в процессе брожения опары V_{CO_2} можно судить о величине газонасыщенности опары. При малых α согласно формуле (5) имеем $\mu = \mu_1 (1 + \alpha)$. Согласно общей теории термофлуктуационных процессов Ландау-Больцмана, зависимость вязкости от температуры будет следующей:

$$\mu = \mu_2 e^{-\beta(\theta - \theta_0)} \quad (6)$$

В качестве θ_0 удобно брать среднюю температуру опары. Согласно выполненным экспериментам, величины динамической вязкости μ_2 при $\theta = \theta_0$, и постоянной, не зависящей от температуры, β для жидкой опары равны:

$$\mu_2 = 1,24 \text{ Па}, \quad \beta = 0,2394.$$

Экспериментальные зависимости (рис.4) свидетельствует, что динамическая вязкость жидкой опары с увеличением температуры экспоненциально убывает.

В результате произведенных исследований касательное напряжение сдвига жидкой опары можно описать следующей формулой:

$$\tau = \mu_0 e^{(\alpha - \alpha_0) - \beta(\theta - \theta_0)} \quad (7)$$

где μ_0 - минимальное значение динамической вязкости, определенное по эмпирической диаграмме $\tau-\gamma$ при $\theta = \theta_0$. α_0 определяется при θ_0 .

Четвертая глава посвящена математическому описанию процесса приготовления жидких опар.

Увеличение интенсивности замеса жидких полуфабрикатов хлебопекарного производства ведет к активизации микробиологических и биохимических процессов, способствует созреванию опар, улучшению качества полуфабрикатов и хлеба. На конечные технологические показатели опар оказывают влияние различные факторы, оптимизация которых позволяет дать рекомендации для рациональных режимов, составить математическую модель процесса, оценить качественно зависимость параметров оптимизации основных факторов.

Исследовалось изменение важных технологических показателей опар: титруемой и активной кислотности, окислительно-восстановительного потенциала в зависимости от длительности замеса и продолжительности брожения жидкой опары. Основной уровень и интервалы варьирования переменных принимались с учетом ранее проведенных нами исследований.

В результате обработки данных эксперимента на ЭВМ СМ-2 получены следующие уравнения в натуральных переменных с учетом значимых коэффициентов, отражающих математические модели процесса:

а) для титруемой кислотности:

$$K = 1,761 + 0,584 \tau_3 + 0,012 \tau_{\delta p} - 0,108 \tau_3 \tau_{\delta p} + 0,004 \tau_3^2 - 0,197 \tau_{\delta p}^2 \quad (8)$$

б) для окислительно-восстановительного потенциала:

$$\tau H_2 = 18,497 - 0,774 \tau_3 + 0,148 \tau_{\delta p} - 0,384 \tau_3 \tau_{\delta p} + 0,127 \tau_3^2 - 0,297 \tau_{\delta p}^2 \quad (9)$$

в) для активной кислотности:

$$pH = 5,865 - 0,371 \tau_3 - 0,638 \tau_{\delta p} + 0,266 \tau_{\delta p} \tau_3 + 0,591 \tau_3^2 + 0,167 \tau_{\delta p}^2 \quad (10)$$

Модели адекватны реальным процессам в экспериментальной области, так как дисперсионные отношения $F < 1$ при уровне значимости, равном 0,05. Из анализа коэффициентов регрессии в уравнениях (8) - (10) следует, что наибольшее влияние на протекание процесса брожения оказывает продолжительность замеса при интенсивном приготовлении жидких опар.

При интенсификации процесса приготовления жидкой опары необходимо выделить влияние различных факторов на изменение основных технологических показателей качества (кислотности, подъемной силы, газообразующей способности) бродящего полуфабриката. Выбор входных факторов обусловлен тем, что наиболее существенными технологическими и конструктивными параметрами, влияющими на процесс брожения жидкой опары, являются одновременно частота вращения месильного органа, длительность замеса, объем рабочей камеры смесителя, начальная температура жидкой опары, масса дрожжей и продолжительность брожения.

Нами проведено исследование степени влияния этих конструктивных и технологических факторов на характер процесса в целом и нахождение его оптимальных режимов.

В результате математической обработки данных экспериментов получены полиномы второго порядка, связывающие выходные параметры (титруемую кислотность, подъемную силу и газообразование) с исследуемыми факторами и проведен их анализ. Матрица планирования экспериментов охватывала изменение переменных в 60 строках.

Данные моделирования позволяют рассчитывать параметры процесса для любых технологических условий и конструктивных параметров в заданных диапазонах, а также оптимальные режимы ведения процесса.

В таблице 3 представлены рекомендуемые оптимальные режимы приготовления жидких пшеничных опар и ряд экспериментальных параметров, установленных при исследовании возможностей интенсификации процесса.

С целью оптимизации энергозатрат при приготовлении жидких опар исследовано влияние параметров смесителя на его выходную мощность. Был реализован эксперимент по плану ротота-

Таблица 3

Оптимальные параметры приготовления жидких опар

№ п/п	Показатели	Ед. измер.	Параметры
1.	Влажность опары	%	65-70
2.	Масса дрожжей на 100 кг муки	кг	1
3.	Частота вращения рабочего органа	$\frac{1}{60} \dot{i}$ (мин ⁻¹)	33,3 (2000)
4.	Продолжительность замеса	с	120
5.	Удельная работа замеса	Дж/г	16,1
6.	Интенсивность замеса	Вт/г	0,134
7.	Начальная температура замеса	С ⁰	29 ± 1 ⁰
8.	Продолжительность брожения опары	мин	180
9.	Температура брожения	С ⁰	30 ± 1 ⁰
10.	Конечная титруемая кислотность опары	град	4,5
11.	Конечная активная кислотность опары	ед. рН	5,28
12.	Газообразование после 3-х часов брожения	см ³ /100 г опары	340
13.	Конечная подъемная сила опары	мин	19-20

бельного планирования для трех факторов.

В качестве входных переменных факторов приняты частота вращения рабочего органа, влажность опары и объем рабочей камеры. Влажность опары варьировалась в диапазоне от 60 до 70 %. Частота вращения - от 1500 до 2500 мин⁻¹, объем смеси в камере изменяли от 2 до 3 литров.

В результате обработки данных эксперимента получена математическая модель, связывающая выходную мощность смесителя с исследуемыми факторами в натуральных переменных:

$$N = 353,191 + 0,001 n W + 0,291 W V \quad (II)$$

Также получены зависимости удельной работы от потребляемой мощности.

Анализ данных показал, что при увеличении частоты вращения рабочего органа смесителя от $25,0 \text{ об}^{-1}$ до $41,7 \text{ об}^{-1}$ энергозатраты повышаются, затем стабилизируются и постепенно начинают возрастать снова.

Очевидно, что при величине частоты $33,3 \text{ об}^{-1}$ застойные зоны между лопастями исчезают, масса захватывается по всему объему рабочей камеры.

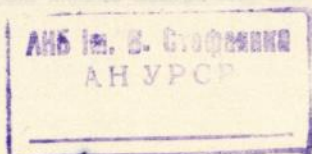
Рациональные режимы работы смесителя достигаются при частоте вращения рабочего органа $33,3 - 41,7 \text{ об}^{-1}$ и влажности опары $65-70 \%$. При этом значение удельной работы при замесе на 1 г опары приближается к 20 Дж , что считается оптимальным для интенсивного замеса полуфабриката в свете современных теоретических разработок.

В пятой главе приведены сведения о практической реализации работы, исследовании смесителя в производственных условиях и рекомендации по его внедрению. Разработана и внедрена машинно-аппаратурная схема участка тестоприготовления в производственных условиях хлебозавода.

Переход от лабораторных к производственным испытаниям осуществлялся в соответствии с теорией подобия и выполненными расчетами. Установка для приготовления жидкой пшеничной опары смонтирована на линии производства азербайджанского чурека массой $0,7 \text{ кг}$ из пшеничной муки I сорта на Шамхорском хлебозаводе.

Промышленная установка включает высокоскоростной смеситель для жидкой опары рабочим объемом 100 л , дозатор муки, автоматический водомерный бачок, дозатор дрожжевой суспензии, сборник замешенной опары на 300 л , шестеренные насосы, четыре емкости для брожения жидкой опары по 550 л каждая, расходную емкость готовой жидкой опары, тестомесильную машину с подкатными дежами, дозаторы опары и солевого раствора.

Смеситель состоит из цилиндрической емкости с крышкой марки МЭС-219, имеющей закругленное днище, а также рабочего месильного органа на вертикальном валу, который смещен относительно центра емкости на $1/3$ радиуса. Конфигурация рабочего органа смесителя принята по результатам лабораторных исследований в виде пятилопастной пластины с бортами в форме желобов, отогнутых под углом 6° выше горизонтали и плоскостью, отогнутой на 10° вниз от горизонтальной оси для закручивания струй смеси



при вращении ротора, что защищено авторским свидетельством № I450801. В крышке смесителя расположены патрубки для подачи муки и жидких компонентов, а в днище камеры имеется выходное отверстие с электромагнитным клапаном для слива полуфабриката.

Смеситель находится на площадке, на уровне 1300 мм от пола. Установка снабжена реле времени, что позволяет наблюдать за продолжительностью замеса. Рабочий орган приводится во вращение от привода, включающего электродвигатель мощностью 1,5 кВт и клиноременную передачу, расположенную над смесителем. Под смесителем находится сборник марки ХЕ-48 для замешенной опары емкостью 300 л. При замесе дозируются ингредиенты, включается месильный орган, дрожжевая суспензия дозируется за 15 сек до конца замеса. Продолжительность замеса 120 с, влажность опары 65-70 %. Из сборника шестеренным насосом опара перекачивается в четыре бродильные емкости типа ХЕ-47 объемом 500 л каждая, где бродит в течение 3 часов. Готовая опара насосом подается в расходную емкость ХЕ-48, а затем самотеком поступает в дозатор опары. На замес теста, кроме жидкой опары, в тестомесильную машину Т1-ХТс-А идет мука и солевой раствор. Вброженное в дежах тесто подается на разделку в тестоделительную машину.

Пульт управления установкой позволяет производить отдельные включения в ручном режиме всех имеющихся приводов. В автоматическом режиме порядок работы задается при помощи реле времени, которое дает возможность точно устанавливать длительность процесса замеса опары в зависимости от производственных факторов - рецептуры и состояния сырья.

Предусматривается совместная работа смесителя с дозирующими устройствами, что позволяет повысить точность дозировки сырья, автоматизировать процесс и улучшить качество полуфабрикатов и готовых изделий.

Исследования процесса замеса опары в производственных условиях позволили изучить особенности циркуляции смеси при изменении геометрических размеров рабочих органов и динамических характеристик движения массы в условиях замеса порций опары массой до 100 кг, определить положительный эффект замеса опары по сравнению с применяемыми в производстве машинами типа ХЗМ-300 для замеса жидких полуфабрикатов хлебопекарного

производства.

При оценке работы смесителя в производственных условиях определяли влияние его основных геометрических параметров на качество опары и готовых изделий. Расчетные значения критериев Re и Fz составили соответственно 9300 и 3262, частота вращения месильного органа $33,3 \frac{1}{\text{с}}$, продолжительность замеса 120 с.

Исследовались качественные показатели опары при отношениях диаметров емкости смесителя и рабочего органа $\frac{D}{d}$ в диапазоне 2,5 - 4,0 и высоты уровня опары к диаметру емкости $\frac{H}{D}$ в диапазоне 0,6 - 1,1. Из анализа полученных данных очевидно, что с увеличением отношений $\frac{D}{d} > 3$ и $\frac{H}{D} > 0,8$ показатели жидкой опары ухудшаются. Наилучшие качественные показатели опар соответствуют отношениям $\frac{D}{d} = 3$ и $\frac{H}{D} = 0,8$ ($D = 408$ мм, $d = 136$ мм, $H = 326$ мм).

Проведена серия опытов по определению влияния геометрических параметров смесителя на качество готовых изделий. При этом тесто готовили из больших жидких опар, выброженных в течение 180 мин. В тесто расчетной влажности 45 % вносили 1,3 % соли. Продолжительность брожения теста из пшеничной муки 2 сорта 60 мин, выпечки - 48 мин.

Производственные исследования показали, что при отношениях $\frac{D}{d} = 3$ и $\frac{H}{D} = 0,8$ качество готовых изделий соответствует стандарту. Влажность хлеба составила 44,4 %, кислотность - 2,2 град, пористость 71-72 %, что на 4-5 % превышает требования ГОСТ, удельный объем хлеба достиг 306 см^3 на 100 г хлеба.

Экспериментально определялась способность теста, замешенного на опаре влажностью 70 % и брожившей 180 мин, сопротивляться деформирующей нагрузке сжатия, которая отражает состояние и степень клейковинной основы массы.

Полученная картина изменения свойств теста при брожении позволила подтвердить пригодность рекомендуемого режима приготовления пшеничной опары.

Так как при увеличении продолжительности брожения теста происходит расслабление структуры и снижение структурно-механических свойств, период брожения теста рекомендовано ограничить 40-60 мин, что не снижает качественных показателей готовых изделий.

Таблица 4

Качественные показатели хлеба из пшеничной муки I сорта

Показатели, единицы	Показа- тели по стан- дарту	Продолжительность брожения опары, мин									
		120		150		180		210		240	
		45	60	45	60	45	60	45	60	45	60
Влажность, %	44	43,1		43,4		43,2		44		43,3	
Кислотность по вытяжке, град.	3,0	2,1	2,1	2,0	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2
Пористость хлеба, %											
формового	68	71	73	71	72	71	72	70	71	73	73
чурека азер- байдж.	65	-	-	-	-	73	74	73	74	75	75
Удельный объем хлеба, см ³ /100 г	-	280	296	291	301	302	308	308	387	312	

Было исследовано также в производственных условиях влияние качества приготовленной в смесителе жидкой опары на качество хлеба из пшеничной муки I сорта.

Контролем олужил хлеб производственной выпечки, приготовленной на жидкой опаре, замешенной в заварочной машине ХЗМ-300, при продолжительности брожения опары 240 мин, продолжительности брожения теста в дежах 60 мин.

Полученные характеристики готового хлеба приведены в таблице 4.

Хлеб имел эластичный, хорошо разрыхленный мякиш. При этом показатели хлеба, приготовленного на опаре, бродившей 2,5 - 3,0 ч, и тесте, бродившем 45 мин, близки к контрольным.

Таким образом, была доказана целесообразность вести производственный процесс тестоведения при интенсивном замесе большой жидкой пшеничной опары в циркуляционном смесителе при сокращении продолжительности брожения теста до 45 мин благодаря ускорению биохимических и микробиологических процессов в бродящей массе.

Сокращение всего производственного цикла дает повышение выхода изделий за счет снижения затрат сухих веществ на брожение опары на 1,3 %, т.е. ведет к экономии хлебных ресурсов.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Интенсивный замес жидкой опары ускоряет биохимические и микробиологические процессы в бродящей массе. Предложенный смеситель позволяет в производственных условиях сократить на 30–60 мин период брожения большой жидкой опары. При этом достигается сокращение затрат сухих веществ муки на 1,3 % и, соответственно, повышение выхода готовых изделий, экономия хлебных ресурсов.

2. Определено влияние конфигурации ротора при интенсивном замесе на качество опары. В циркуляционном смесителе с рабочим органом в виде конуса с несколькими лопастями, имеющими борта в форме отогнутых желобов, жидкая опара имеет наибольшую газообразующую способность, наилучшую подъемную силу и другие показатели. Проведенные эксперименты позволяют рекомендовать этот ротор для внедрения в промышленность при интенсивном замесе жидких пшеничных опар.

3. На базе теоретических и экспериментальных исследований подтверждена рациональность конструкции рабочего органа смесителя в виде пластины с бортами в форме отогнутых желобов, который принят как объект для дальнейших экспериментов и промышленного внедрения. Силы, возникающие при вращении ротора, создают завихренность во всем объеме перемешиваемого материала и обеспечивают более интенсивное смесеобразование и высокие показатели качества жидких опар.

4. Определено влияние режимных и технологических параметров на нарастание кислотности, газообразование и изменение подъемной силы жидких опар.

5. Установлены рациональные режимы интенсивного замеса и приготовления жидких опар в высокооборотном смесителе. Частота вращения месильного органа рекомендована $33,3 \text{ с}^{-1}$, длительность замеса 120 с, продолжительность брожения опар – 180 мин при температуре $29 \pm 1^\circ\text{C}$.

6. Получена экспериментальная зависимость, подтверждающая, что жидкая опара при брожении по своим физико-механическим свойствам соответствует нелинейно-вязким неньютоновским жидкостям, а реологическая диаграмма $\tau - \dot{\gamma}$ имеет линейную зависимость. Зависимость касательного напряжения сдвига жидкой опары

в зависимости от температуры и объемной доли пузырьков углекислого газа описана в виде:

$$\tau = \mu_0 e^{(\alpha - \alpha_0) - \beta(\theta - \theta_0)}$$

7. Результаты исследования основных выходных параметров процесса приготовления жидких опар аппроксимированы на ЭВМ СМ-2 уравнениями в виде полиномов второго порядка и зависимости от продолжительности замеса и брожения, частоты вращения рабочего органа, влажности жидкой опары и её объема, начальной температуры опары и массы прессованных дрожжей в опаре. Данные моделирования позволяют рассчитать параметры процесса для любых технологических условий и конструктивных параметров смесителя в заданных диапазонах, а также определить оптимальные режимы ведения процесса.

8. По результатам лабораторных и производственных исследований рекомендован и внедрен для интенсивного замеса жидких пшеничных опар в производственных условиях циркуляционный смеситель периодического действия с рабочим органом в виде конуса с лопастями, имеющими борта в форме отогнутых желобов, конструкция которого защищена авторским свидетельством. Годовой экономический эффект от внедрения в производство одной смесительной машины и результатов работы составляет 3,6 тыс. рублей (по данным 1990 г.).

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Амирасланова Н.И., Лисовенко А.Т., Сидоренко С.И. Математический анализ процессов течения жидкой опары в трубопроводах. - Укр НИИТИ, № 1186, УК, 1986, 15 с.
2. Амирасланова Н.И., Сидоренко С.И., Лисовенко А.Т. Влияние длительности интенсивного замеса жидкой опары на кинетику брожения. - Хлебопекарная и кондитерская промышленность, № 2, 1987, с.35-37.
3. Амирасланова Н.И., Сидоренко С.И., Лисовенко А.Т. Влияние конфигурации ротора при интенсивном замесе на характеристики жидких опар. - Хлебопекарная и кондитерская промышленность, 1987, № 10, с.37-38.
4. Амирасланова Н.И., Сидоренко С.И., Лисовенко А.Т. Влияние частоты вращения месильного органа на интенсивность замеса жидких полуфабрикатов. - Хлебопекарная и кондитерская промышленность, 1987, № 9, с.39-40.
5. Амирасланова Н.И., Сидоренко С.И., Лисовенко А.Т. Обоснование выбора рабочего органа смесителя при интенсивном замесе жидких полуфабрикатов. - Известия ВУЗов. Пищевая технология, 1988, № 2, с.92-95.
6. А.с. № 1450801. Устройство для замеса жидких опар. /Лисовенко А.Т., Сидоренко С.И., Амирасланова Н.И. Опубл. 15.01.89/ -Бюл. № 2.
7. Амирасланова Н.И., Сидоренко С.И. Выбор оптимальных кислотных параметров брожения жидких пшеничных опар. ВНИИТИ, 1990, № 5, с.134.
8. Амирасланова Н.И., Сидоренко С.И. и др. Оптимизиране на параметрите за приготвяне на рядко маяно тесто. - Хранителна промышленност, 1990, № 7-8, с.48-51 (Болгария).
9. Амирасланова Н.И., Сидоренко С.И. Влияние геометрических параметров смесителя на качество жидких опар и готовых изделий. Сборник научных работ межреспубликанской конференции по прогрессивной технологии и технике в пищевой промышленности. П выпуск, 1991, Аз ТИ, Гянджа, с.66-68.
10. Амирасланова Н.И., Сидоренко С.И. Оптимизиране на киселино-образуването в предфермент. - Хранителна промышленност: 1991, с.22-23 (Болгария).

11. Амирасланова Н.И., Сидоренко С.И. Оптимизация параметров интенсивного приготовления жидких пшеничных опар.

- Известия ВУЗов. Пищевая технология (в печати).

12. Амирасланова Н.И., Сидоренко С.И. Математическая модель энергозатрат при приготовлении жидких опар.

- Известия ВУЗов. Пищевая технология (в печати).

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ρ - плотность, V - объем, \vec{a} - вектор ускорения,
 \vec{G} - вектор силы инерции, τ - касательное напряжение сдвига,
 u_i, u_j - составляющие вектора скорости жидкости, δ_{ij} - символ Кронекера, ϵ_{ij} - компоненты тензора скорости деформации,
 P - давление, θ - температура опары, τ_z - продолжительность замеса, τ_{op} - продолжительность брожения, n - частота вращения рабочего органа, W - влажность опары, g_i - составляющая вектора силы тяжести, t - время, μ_1 - вязкость опары при пренебрежительно малой газонасыщенности, стремящейся $\ll 0$, x_i, x_j - декартовы прямоугольные координаты, F - критерий Фишера.

Амирасланова

Подписано в печать 14.10.92г. Формат 60x84/16
Бумага писчая. Усл. печ.л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № 1567
Отпечатано ЦУОП ГНПП "Плодвинконсерв" г.Киев,Саксаганского,1

AB 26.135