

208
771
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР
КИЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Специализированный совет Д.068.17.04

На правах рукописи

ЛИТОВЧЕНКО Игорь Николаевич

УДК 664.653.05

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ЗАМЕСА
И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕСТОМЕСИЛЬНЫХ МАШИН
ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

Специальность 05.18.12 - Процессы и аппараты
пищевых производств

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

Киев - 1984

Работа выполнена на кафедре "Машины и аппараты хлебопекарного, макаронного и кондитерского производств" Киевского ордена Трудового Красного Знамени технологического института пищевой промышленности.

Научный руководитель - доктор технических наук,
профессор А.Т.Лисовенко

Официальные оппоненты - доктор технических наук,
профессор И.М.Федоткин
- кандидат технических наук,
доцент В.В.Рекославский

Ведущее предприятие - Молдавское производственное об"единение хлебопекарной промышленности

Защита состоится "18" декабря 1984 года в 14 час.
на заседании специализированного совета Д 068.17.04 Киевского
ордена Трудового Красного Знамени технологического института пищевой промышленности по адресу:

252017, Киев - 17, ул. Владимирская, 68, ауд. A-311.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Киевского ордена Трудового Красного Знамени технологического института пищевой промышленности.

Автореферат разослан "16" ноября 1984 г.

Ученый секретарь
специализированного совета Д 068-17.04,
кандидат технических наук, доцент

В.М.Таран

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

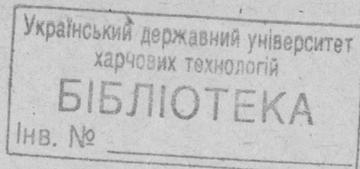
Актуальность темы. В решениях XXVI с"езда, майского /1982 г./ Пленума ЦК КПСС определены задачи, направленные на повышение эффективности общественного производства, ускорение научно-технического прогресса, улучшение качества продукции, рост производительности труда.

В хлебопекарной промышленности в связи с этим осуществляют комплексная механизация и автоматизация производства, позволяющие повысить интенсивность производственных процессов и их технико-экономические показатели.

В настоящее время на предприятиях отрасли находят применение тестомесильные машины интенсивного действия для периодического замеса теста для хлеба и булочных изделий. Предпочтение им отдается ввиду ряда преимуществ эксплуатации: точности дозирования сырья, удобства автоматизации процессов, легкости изменения рецептуры и ассортимента.

В последние годы была проделана большая работа по созданию теоретической базы процесса интенсивного замеса теста, изучены некоторые особенности его протекания. Однако, целый ряд вопросов еще не был разрешен, в частности, не изучены особенности энергетического баланса, расход энергии на различных стадиях замеса. Важным условием качественной работы тестомесильных машин является соответствие месильных органов и режимов их движения условиям замеса, определяемым производственными требованиями. В настоящее время для осуществления процесса периодического замеса используются рабочие органы различных типов и форм. Для каждого из них рекомендуются свои собственные показатели рациональной интенсивности обработки продукта. Поиск конструктивных решений основан зачастую на эмпирических методах, проводится без анализа протекания процессов на различных режимах при разной продолжительности стадий тестообразования.

Цель работы. Данная работа посвящена проблеме исследования путей интенсификации процесса замеса пшеничного теста и определения рациональных конструктивных решений рабочих органов тестомесильных машин периодического действия.



Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

- исследовать процесс потребления энергии при различных условиях замеса теста и определить влияние на него конструкции рабочих органов машины;
- определить закономерности нагрева теста в процессе замеса с целью снижения его величины;
- выработать методику определения влияния формы, размеров рабочих органов и режимов их движения на качество замеса опары и теста;
- разработать конструкцию тестомесильной машины периодического действия для интенсивного замеса теста и провести изучение особенностей ее работы для установления рациональных режимов ее эксплуатации.

Научная новизна. Исследован механизм расходования энергии при замесе теста. Установлены зависимости процесса диссипации механической энергии от геометрических параметров месильных органов, скорости их движения, структурно-механических свойств теста. Получены формулы, которые предложено использовать при конструкторских расчетах в ходе разработки смесителей интенсивного действия.

Разработана методика по определению работы, совершаемой в процессе замеса теста. Использование для этого ЭВМ позволяет получать большой набор числовых данных, при анализе которых устанавливаются практически приемлемые режимы и параметры работы.

Для созданного нового смесителя определено влияние интенсивного воздействия на структурно-механические свойства тестовой массы, на характер изменения величины подводимой энергии в ходе процесса. Получена зависимость скорости возрастания температуры продукта от геометрических и кинематических параметров тестомесильной установки и свойств теста.

Исследовано влияние обработки теста в новом смесителе на активность его созревания и свойства готовой продукции. Определены математические зависимости, позволяющие согласовать показатели качества хлеба и режимы работы тестомесильной машины.

Практическая ценность и реализация полученных результатов.
С помощью предложенной методики определения потребления энергии в процессе замеса можно производить анализ существующего тестомесильного оборудования и выдавать рекомендации для настройки его на рациональные режимы работы.

Проведенные исследования позволили разработать лабораторную установку и создать промышленный образец высокоинтенсивной тестомесильной машины, устройство и работа которой базируются на строго научной основе.

Определены, обоснованы и проверены оптимальные производственные режимы эксплуатации машины, которые позволяют сократить продолжительность тестоприготовления, повысить качество готовой продукции, улучшить условия труда обслуживающего персонала.

Апробация работы. Результаты исследований доложены, обсуждены и одобрены на 47...50 научных конференциях КТИПП в 1981...1984 годах. Опытный образец промышленной тестомесильной машины испытан в производственных условиях на хлебозаводе № 3 г. Кишинева.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 5 печатных работ, получено авторское свидетельство и положительное решение на изобретение.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы из 164 наименований, в том числе 53 иностранных.

Основная часть диссертации изложена на 173 страницах машинописного текста, включая 29 рисунков и 13 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава I. Интенсивный замес теста и устройства для его осуществления /Литературный обзор/

В главе рассмотрены и обобщены современные представления об особенностях протекания замеса теста, о процессах, происходящих в нем на различных стадиях обработки.

Из обзора литературных источников можно заключить, что замес теста нельзя в общем случае свести к простому смешиванию сыпучих и жидких компонентов. Он является сложным процессом, при

котором из составляющих смеси образуется гомогенная упруго-пластичная, капиллярно-пористая масса. В ходе замеса эта масса должна получить определенную оптимальную механическую проработку, насытиться воздухом; в результате набухания крахмала и белковых комплексов муки в ней образуется особая структура, в которой с определенной очередностью должны совершаться физические, коллоидные, микробиологические и ферментативные процессы.

Описано влияние интенсивного механического воздействия на ход замеса и свойства теста. Показано, что параметры интенсивности и длительности являются теми величинами, изменяя которые можно управлять протеканием процесса замеса, воздействовать на активность брожения теста. Отмечено, что значительное влияние оказывает также и механизм интенсивного воздействия, конструктивные особенности рабочих органов: форма, размеры, характер движения.

Анализ схем и работы отечественных и зарубежных тестомесильных машин интенсивного действия для периодического замеса теста показал разнообразие подходов к вопросу осуществления процесса замеса и позволил определить основные направления поиска конструктивных решений.

Глава 2. Задачи, методики и объекты исследования

В соответствии с целью настоящей работы в ней были поставлены следующие задачи:

1. Исследовать процесс потребления энергии на различных этапах замеса. Количественно определить величину энергии, расходуемой на нагрев теста при его механической обработке.

2. Исследовать влияние конструктивных параметров тестомесильной машины на ход замеса опары и теста. С помощью ЭВМ проверить рациональность устройства рабочих органов.

3. Исследовать влияние на качество теста и готовой продукции: интенсивности механической обработки, характера движения массы в машине, частоты вращения месильных органов, длительности процесса замеса, температурных режимов.

4. На основе лабораторных исследований создать и испытать промышленный образец тестомесильной машины.

Для изучения протекания процесса замеса теста в лабораторных условиях была разработана и изготовлена опытная установка. Процесс исследования ее работы включал в себя замес хлебного теста на различных режимах: с изменением в широких пределах частоты вращения месильных органов, длительности обработки, геометрических параметров лопаток. Изменялась также влажность замешиваемого теста.

Электрическая мощность привода вращения месильных органов регистрировалась в ходе опытов при помощи самопишущего ваттметра типа И 379. В производственных условиях использование этого прибора совместно с трансформатором тока типа И 54 М позволяло измерять мощность до 12 кВт. Для регистрации изменения температуры тестовой массы в процессе замеса применялись медь-константановые микротермопары, запись показаний осуществлялась с помощью потенциометра КСП-4.

Интенсивность замеса и удельная работа определялись расчетным методом.

Практическая пригодность применяемых режимов замеса контролировалась по изменению свойств теста в процессе созревания, а также по качественным показателям готовой продукции.

Опыты осуществлялись в следующем порядке. Тесто после замеса помещалось в термостат для брожения. В ходе его производились измерения влажности, титруемой кислотности и объема теста, изменения структурно-механических свойств, подъемной силы, объема выделяющегося углекислого газа.

В ходе созревания теста периодически отбирались образцы, которые подвергались делению на куски массой 0,45 кг, формованию, расстойке в термостате, выпечке в лабораторной печи ЦНИИХП П-6-56 при температуре 220 ... 230°C.

После охлаждения хлеба, через 15...18 часов, производились комплексные исследования качества готовой продукции: органолептических свойств, влажности и титруемой кислотности мякиша, пористости хлеба, удельного объема образцов.

Влажность полуфабрикатов и хлеба определялась при помощи прибора ВНИИХП В4. Газовыделяющая способность теста контролировалась по количеству выделившегося в процессе брожения углекислого газа на приборе АГ-1М. Титруемая кислотность определялась титрованием 0,1 н раствором едкого натра в присутствии фенолфталеина.

Структурно-механические свойства теста определялись по его способности оказывать сопротивление деформирующей нагрузке сжатия. Измерения производились на приборе ИДК-1.

Пористость хлеба контролировалась стандартным методом при помощи прибора Журавлева.

Глава 3. Исследование процессов, происходящих при работе опытной тестомесильной машины интенсивного действия

В главе произведен теоретический анализ процесса расхода энергии, подводимой к тестомесильной машине в ходе ее работы. В общем виде энергобаланс можно представить в виде работы, совершаемой в ходе замеса:

$$A = (A_1 + A_2 + A_3^{TP} + A_4) \cdot \eta \quad [\text{Дж}] \quad (1)$$

где A_1 - работа, совершаемая для приведения в движение массы теста и сообщения ей кинетической энергии. При торможении массы эта энергия переходит в теплоту;

A_2 - работа, совершаемая в начале замеса для преодоления моментов инерции частей привода машины;

A_3^{TP} - работа, совершаемая для преодоления сил внутреннего трения в вязкой тестовой массе при механическом перемешивании. Затрачиваемая при этом энергия выделяется в виде теплоты;

A_4 - работа, совершаемая на молекулярные энергетические превращения внутри тестовой массы;

η - коэффициент полезного действия передаточных устройств машины, учитывающий потери на трение.

Если обозначить суммарную работу, результатом которой является повышение температуры теста, как A_3 , то для нее за время одного оборота месильного вала энергетический баланс предстанет следующим образом:

$$A_3 = A_1 + A_3^{TP} + A_4 \quad [\text{Дж/об.}] \quad (2)$$

Слагаемые A_1 и A_3^{TP} выражают величину диссипации механической энергии. Это явление описывается уравнением:

$$A_3 = dK + \int_w E \cdot dw \cdot d\tau \quad [\text{Дж/об.}] \quad (3)$$

Из него видно, что одна часть работы идет на увеличение кинетической энергии K массы, другая часть, численно равная E , отнесенная к единице объема W , за единицу времени τ , переходит в теплоту.

Для получения расчетных зависимостей принята схема тестомесильной машины в ее наиболее общем представлении: вертикальный вращающийся вал с двумя лопатками, помещенный в цилиндрический сосуд /рис. I/. В дальнейшем полученные результаты можно трансформировать для конкретных конструкций машин.

Получена функциональная зависимость работы A_1 и работы A_3 от геометрических, кинематических параметров месильных органов, а также от структурно-механических свойств теста:

$$A_1 = \frac{8}{3} \pi^3 a p n^2 [(R_2^4 - R_1^4) \ell + 2 R_2^3 f b \sin \alpha] \quad [\text{Дж/об.}] \quad (4)$$

$$A_3 = 4 \pi^3 a m n \left[\frac{R_2^4 - R_1^4}{\ell} + 2 \frac{R_2^3 b \sin \alpha}{f} \right] \quad [\text{Дж/об.}] \quad (5)$$

Формулы учитывают работу, совершаемую в пограничном слое теста, движущегося под действием месильных лопаток: сверху и снизу от их боковой поверхности, а также у торцов.

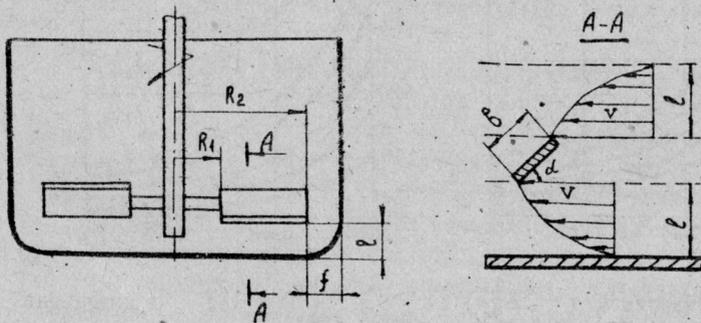


Рис. I Схема тестомесильной машины

Формулы (4) и (5) применимы с момента образования в месильной емкости однородной тестовой массы.

Вязкость M изменяет свое значение в зависимости от градиента скорости деформации массы:

$$\mu = f\left(\frac{dv}{de}\right) \quad [\text{Па.с}] \quad (6)$$

Эта особенность объясняется специфическими реологическими свойствами теста, как неньютоновской жидкости.

Была исследована зависимость расхода энергии от геометрических параметров машины: длины лопатки и зазора между ней и поверхностью месильной емкости, а также от кинематического параметра - частоты вращения вала. На машинном языке PL1 составлена программа для ЭВМ ЕС-1022 расчета работы A_3 и мощности P , позволяющая производить одновременный перебор всех возможных комбинаций двух выбранных переменных с вычислением формул энергетического баланса (I).

Результаты расчетов представлены на графиках рис. 2 и 3.

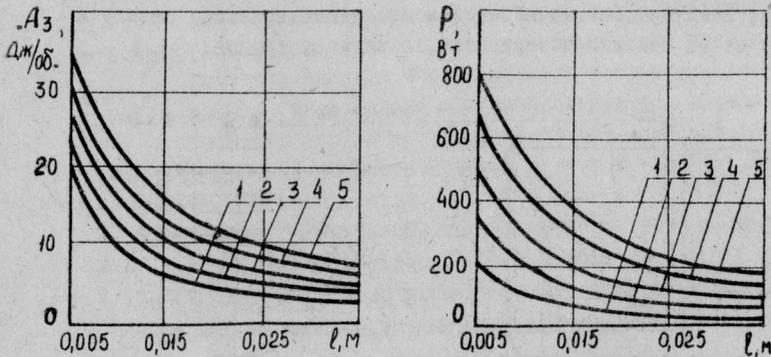


Рис. 2 Зависимости $A_3 = f(l)$ и $P = f(l)$ в диапазоне частот вращения вала $[n, \text{с}^{-1}]$: 1- 6,67; 2- 8,33; 3- 10,00; 4- 11,67; 5- 13,33

Использование данного метода в ходе исследований позволяет определять конструктивные параметры тестомесильных машин, при которых они работают в условиях оптимального энергопотребления.

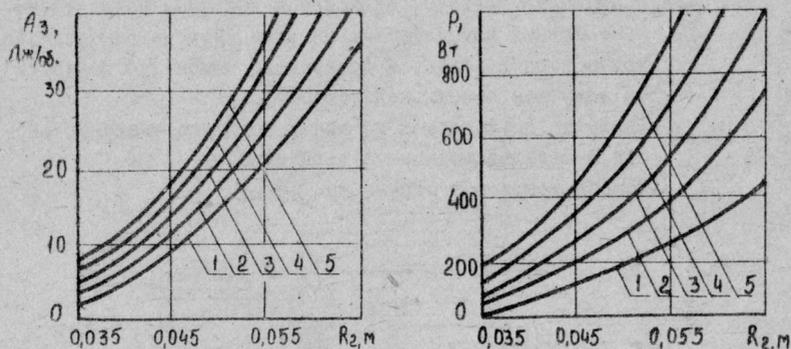


Рис. 3 Зависимости $A_3 = f(R_2)$ и $P_1 = f(R_2)$ в диапазоне частот вращения вала $[n, \text{с}^{-1}]$: 1- 6,67; 2- 8,33; 3- 10,00; 4- 11,67; 5- 13,33

Результаты расчетов и их анализ положены в основу разработки опытной тестомесильной машины, схема которой приведена на рис. 4. Она состоит из месильной емкости /изображенной в разрезе/, вертикального вала с набором месильных органов, их приводов, несущей рамы, пульта управления с приборами автоматической записи приводной мощности и изменения температуры в ходе замеса /на рисунке не показаны/.

Конструкция тестомесильной установки признана изобретением.

Для исследования особенностей протекания процесса замеса теста, а также поиска рациональных режимов его осуществления предусмотрена возможность изменения частоты вращения месильного вала от 5,0 до 12,5 с^{-1} , частоты вращения месильной емкости от 0,05 до 0,17 с^{-1} . Реле времени позволяет точно задавать длительность процесса в пределах 60...600 с.

С помощью лабораторной установки был практически проверен тепловой эффект процесса замеса теста. Баланс превращений тепловой энергии за все время обработки массы можно представить следующим образом:

$$Q_r + Q_3 = Q_{T+M} + Q_n \quad (7)$$

где Q_r - количество теплоты, выделяющейся в процессе гидратации муки;

- Q_3 - количество теплоты, являющееся конечным результатом превращений механической энергии. Для ее определения можно воспользоваться диаграммой изменения мощности на валу тестомесильной установки;
- $Q_{т.м}$ - теплота, поглощаемая за время процесса тестовой массой и металлическими частями машины;
- Q_n - потери теплоты в окружающую среду.

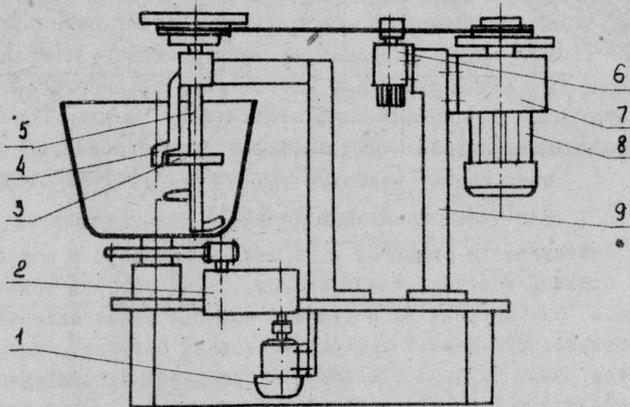


Рис.4 Схема лабораторной установки

1- электродвигатель; 2- вариатор; 3- отражательный диск; 4- неподвижная лопасть; 5- вертикальный вал; 6- регулятор частоты вращения вала; 7- муфта скольжения; 8- электродвигатель; 9-рама

Конечная величина повышения температуры, обусловленная всей совокупностью процессов перераспределения энергии, равна:

$$\Delta t_k = \Delta t_r + \Delta t_3 - \Delta t_n \quad (8)$$

Полученное путем непосредственного измерения значение Δt_k позволяет определить пересчетом численную величину совершенной в ходе замеса работы. Она совпадает с расчетами работы A_3 , производимыми по формуле (5) /погрешность 4%/. Также с величиной A_3 совпадает и значение работы, полученное через вычисление площади под кривой диаграммы мощности различных режимов замеса /погрешность 6,9%/, приведенной на рис.5.

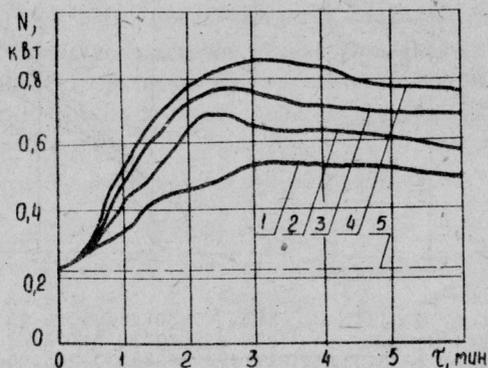


Рис. 5 Зависимость $N = f(\tau)$ для частоты вращения вала $10,0 \text{ с}^{-1}$ при влажности теста: 1- 45%; 2- 44%; 3- 43%; 4- 41%; 5- мощность холостого хода

На рис. 6 и 7 приведены зависимости скорости возрастания температуры тестовой массы от частоты вращения вала машины и от влажности теста. На графиках видны три участка с различным характером тепловыделения: в течение первой минуты - смешивание компонентов с неравномерной температурой; за вторую минуту - основной эффект определяется гидратацией муки; начиная с третьей минуты - теплота выделяется вследствие процессов внутреннего трения в массе теста.

Проверено воздействие месильных органов на свойства теста, на активность его брожения и качество готовой продукции. Именно по этим показателям можно судить о целесообразности использования новой машины в производстве.

Исследовалась скорость нарастания титруемой кислотности теста для различных режимов замеса, отличающихся градиентами скорости деформации смеси и активностью ее циркуляции. Результаты измерений представлены в таблице I.

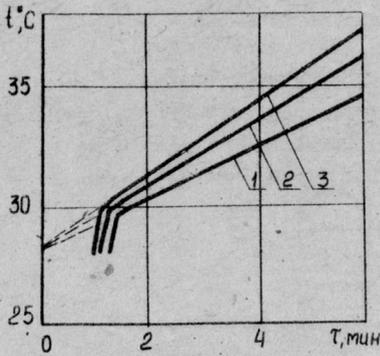


Рис. 6 Зависимость $t=f(\tau)$ при частоте вращения вала $[n, c^{-1}]$: 1- 6,67; 2- 8,33; 3- 10,00

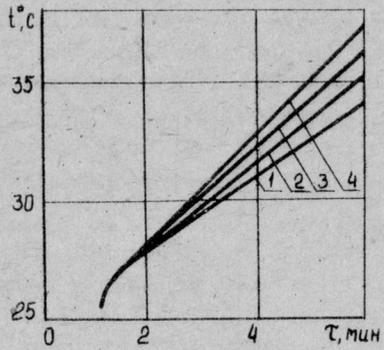


Рис. 7 Зависимость $t=f(\tau)$ при влажности теста $[W, \%]$: 1- 45; 2- 44; 3- 43; 4- 41

Таблица I
Изменение титруемой кислотности теста в зависимости от режимов замеса

| Режим | Частота вращения вала, c^{-1} | Длительность замеса, с | Титруемая кислотность, град. | | | |
|-------|---------------------------------|------------------------|-------------------------------------|-----|-----|-----|
| | | | Продолжительность брожения теста, ч | | | |
| | | | 0 | 1 | 2 | 3 |
| 1 | 8,33 | 180 | 2,0 | 2,2 | 2,7 | 2,8 |
| 2 | 8,33 | 210 | 2,0 | 2,5 | 2,9 | 3,0 |
| 3 | 8,33 | 240 | 2,1 | 2,7 | 2,9 | 3,1 |
| 4 | 10,00 | 180 | 2,1 | 2,6 | 3,0 | 3,3 |
| 5 | 10,00 | 210 | 2,1 | 2,7 | 3,0 | 3,3 |
| 6 | 10,00 | 240 | 2,2 | 2,9 | 3,1 | 3,4 |
| 7 | 11,67 | 180 | 2,0 | 2,5 | 2,8 | 3,0 |
| 8 | 11,67 | 210 | 2,1 | 2,7 | 2,9 | 3,3 |
| 9 | 11,67 | 240 | 2,2 | 2,8 | 3,2 | 3,4 |

Опыты показали, что основной положительный эффект интенсивного механического воздействия наблюдается при возрастании частоты вращения месильного вала от 8,33 до 10,00 с⁻¹. Оптимум длительности замеса находится около 180...240 с.

В этом же диапазоне параметров замеса получено и максимальное значение величины газообразования в ходе брожения.

Исследовалась зависимость структурно-механических свойств теста, определяемых степенью развития и укрепления клейковинного каркаса при механическом воздействии, от режимов замеса.

Результаты измерений представлены на рис. 8 и 9.

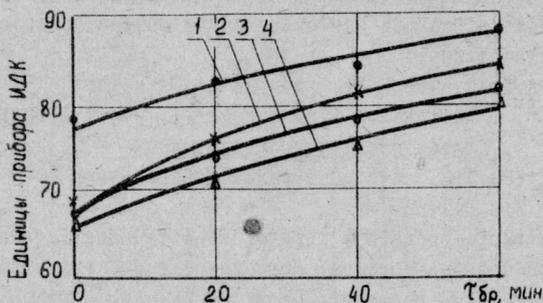


Рис.8 Изменение упругих свойств теста при брожении в зависимости от частоты вращения вала при замесе n_1 , с⁻¹:
1- 8,33; 2- 10,00; 3- 11,67; 4- 12,67

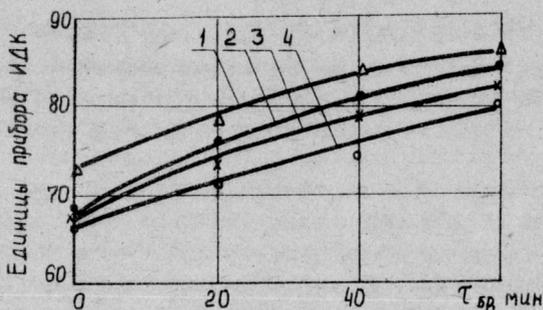


Рис.9 Изменение упругих свойств теста при брожении в зависимости от длительности замеса t , с :
1- 150; 2- 180; 3- 210; 4- 240

Увеличение интенсивности механической обработки приводит к возрастанию упругости теста после замеса. В ходе брожения структурно-механические свойства его остаются в пределах, благоприятных для дальнейших операций тестоведения.

Критериями оценки оптимальности параметров работы тестомесильной машины являются в первую очередь показатели качества готовой продукции. По величине усредненного удельного объема U выпекаемых образцов, наиболее полно отражающему влияние режимов и интенсивности замеса, судили о рациональных частоте вращения месильного вала и длительности замеса. При определении области изменения этих параметров были использованы математические методы исследования области оптимальных значений, а именно ротационное планирование, дающее наиболее точное математическое описание поверхности отклика.

Частота вращения вала X_1 изменялась в пределах $8,33 \dots 11,67 \text{ с}^{-1}$, с интервалом варьирования $1,67 \text{ с}^{-1}$ и средним уровнем $10,00 \text{ с}^{-1}$. Длительность процесса замеса X_2 изменялась в пределах $180 \dots 250 \text{ с}$ с интервалом варьирования 30 с и средним уровнем 210 с .

Замешенное тесто бродило в термостате в течение 2 ч, после чего делилось на подовые образцы, формовалось, расстаивалось и выпекалось в одинаковых условиях. После охлаждения образцы взвешивались и измерялся их объем.

С учетом значимых коэффициентов регрессии получена адекватная математическая модель следующего вида /в кодированных переменных/:

$$U = 3,565 - 0,089 X_1 + 0,043 X_2 - 0,111 X_1^2 - 0,126 X_2^2$$

При переходе к действительным переменным получено значение оптимальных параметров работы тестомесильной установки: $n = 9,33 \text{ с}^{-1}$, $T = 215 \text{ с}$. Величина удельной работы в этом случае равна $17,5 \text{ Дж/г}$.

Экспериментальным путем получена зависимость характера потребления энергии на различных стадиях замеса от температуры тестовой массы. Повышение температуры приводит к понижению вязкости теста в процессе замеса - снижению количества потребляемой энергии. Однако, после окончания замеса упругость клейковинного каркаса возрастает, что можно объяснить усилением структурообразования и увеличением числа молекулярных связей внутри

массы теста. Для работы исследуемой тестомесильной установки, наиболее благоприятными с энергетической точки зрения являются режимы замеса, при которых конечная температура теста находится в пределах $32...34^{\circ}\text{C}$.

Исследовалось влияние интенсивности механического воздействия на тесто на различных стадиях его замеса. Смешивание компонентов производилось в течение 120 с при частоте вращения лопаток $10,00\text{ с}^{-1}$. Затем машина останавливалась, передаточное число редуктора привода месильных органов изменялось, и последние 90 с процесса проводились в трех различных случаях при трех различных частотах вращения лопаток: $6,67$; $10,00$; $12,5\text{ с}^{-1}$. На рис.10 показан характер изменения мощности на стадии пластификации.

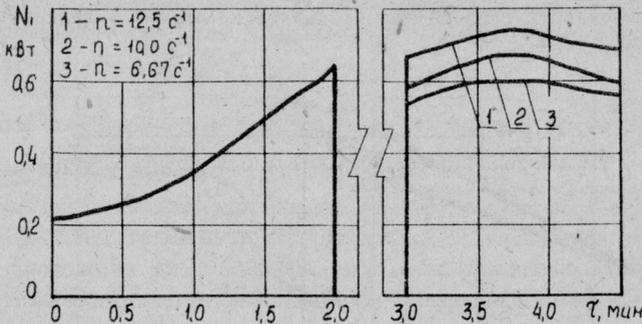


Рис.10 Зависимость $N = f(\tau)$ на стадии пластификации теста

Характер изменения мощности остается постоянным, изменяется максимальное значение исследуемого параметра. Влияние различной интенсивности замеса на стадии пластификации прослежено по активности брожения теста и качеству готовой продукции. Установлено, что положительный эффект, позволяющий сократить длительность созревания теста без ухудшения свойств хлеба, достигается при повышении частоты вращения лопаток до $12,5\text{ с}^{-1}$.

Исследовано влияние релаксации упругих свойств теста при паузе в ходе процесса замеса на характер энергопотребления и качество продукции. Смешивание компонентов осуществлялось в течение 90 с, длительность паузы была 60 с и 180 с, затем производилась пластификация в течение 120 с. Установлено, что при продол-

жительности паузы около 180 с свойства теста успевают значительно восстановиться, и возобновление замеса приводит к повышению расхода энергии и ухудшению качества продукта. Пауза в 60 с существенно не изменяет активность брожения теста.

Актуальным являлось исследование возможности совместного применения в процессе тестоприготовления интенсивного замеса жидкой опары и интенсивного замеса теста на новой тестомесильной установке. Это позволяет использовать положительные стороны каждого из способов, сократить производственный цикл, уменьшить расход сырья, улучшить условия труда обслуживающего персонала. В ходе опытов прослеживалось изменение показателей процесса замеса теста при замене в рецептуре воды жидкой опарой с влажностью около 70%.

На рис. II и I2 приведена зависимость изменения температуры теста и мощности привода для исследуемого случая и для замеса безопарного теста.

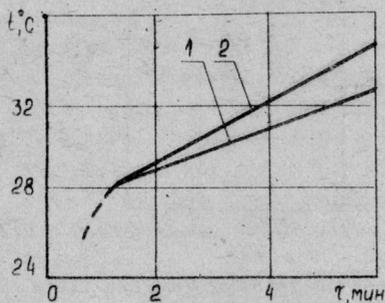


Рис. II Зависимость $t = f(\tau)$ при 1- опарном и 2- безопарном способе тестоприготовления



Рис. I2 Зависимость $N = f(\tau)$ при 1- опарном и 2- безопарном тестоприготовлении

Меньшая скорость роста температуры в ходе процесса замеса объясняется понижением вязкости обрабатываемой массы в связи с тем, что часть муки, находящаяся в жидкой опаре, уже обработана микроорганизмами, расслаблена и снижает общую вязкость продукта. Тесто отличается меньшей упругостью, кривая мощности не достигает уровня безопарного теста. Но общий расход энергии, несмотря на различие структурных свойств теста, примерно одинаков: 64000 Дж - для опарного теста, 65500 Дж - для безопарного.

Сходство энергопотребления, но различный тепловой эффект процесса объясняется тем, что в первом случае значительное количество энергии расходуется на начальной стадии замеса, когда вязкость массы мала и тепловыделение незначительно. Доказана возможность использования для замеса теста на жидкой опаре следующего режима работы установки: частота вращения лопаток $10,00 \text{ с}^{-1}$, длительность замеса 210 с. Продолжительность брожения теста в этом случае сокращается до 40 мин.

Оптимальная величина удельной работы для случая замеса безопарного теста находится в пределах 18...20 Дж/г, причем качество хлеба превосходит контрольные показатели и параметры ГОСТа. Данная величина сугубо индивидуальная. Можно говорить о ее пригодности только применительно к созданной конструкции.

Проведенный комплекс исследований позволил сделать вывод о целесообразности создания промышленного образца тестомесильной машины.

Глава 4. Исследование процесса замеса теста в промышленной машине интенсивного действия

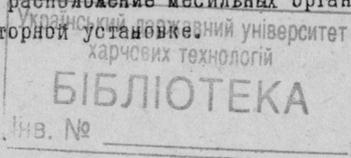
В целях уточнения рациональных конструктивных параметров и режимов работы промышленной тестомесильной машины предварительно был проведен их расчет на ЭВМ. Исходя из предполагаемого диапазона геометрических и кинематических параметров новой машины, вычислены формулы энергетического баланса.

Полученное поле числовых данных представлено в графической форме на рис. 13 и 14.

Из множества возможных режимов выбран один, позволяющий сохранить рациональное время обработки смеси, которое было исследовано и обосновано в предыдущей главе, исходя из оптимальной продолжительности стадий тестообразования. При этом скорость движения месильных лопаток не должна была превышать предела, за которым начинается разрушение клейковинной структуры.

Замес теста предусмотрено осуществлять в дежах тестомесильной машины Т1-ХТ2А. Длина и форма лопаток были скорректированы с размерами дежи.

Конструкция и расположение месильных органов на валу соответствовали лабораторной установке.



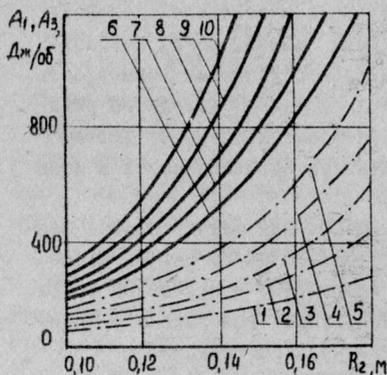


Рис.13 Зависимости $A_1=f(R_2)$ и $A_3=f(R_2)$ при частоте вращения вала $[\Omega, \text{с}^{-1}]$:
 1,6 - 6,67; 2,7 - 8,33;
 3,8 - 10,00; 4,9 - 11,67;
 5,10 - 13,33

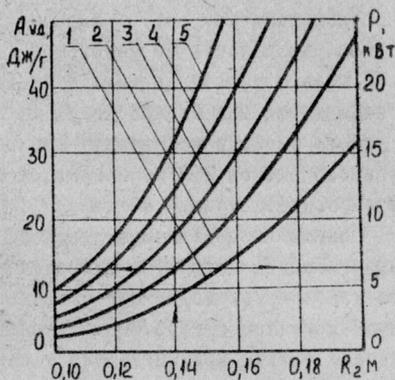


Рис.14 Зависимости $A_{ya}=f(R_2)$ и $P=f(R_2)$ при частоте вращения вала $[\Omega, \text{с}^{-1}]$: 1- 6,67; 2- 8,33; 3- 10,00; 4- 11,67; 5- 13,33

Исходя из комплекса приведенных требований, были установлены следующие параметры: частота вращения месильного вала $8,33\text{с}^{-1}$; длительность процесса около 210 с. В этом случае для замеса необходима мощность 6...7 кВт.

Опытный образец тестомесильной машины был спроектирован совместно с работниками п/о "Молдхлебпром" и изготовлен его Экспериментально-механическими мастерскими. Машина была смонтирована на хлебозаводе № 3 г.Кишинева.

Исследования процесса интенсивного замеса опары и теста были проведены по рецептурам, принятым на производстве.

Процессы циркуляции тестовой массы в деже промышленной установки сходны с исследованными лабораторными. Одинаковую форму имеют и кривые энергопотребления, представленные на рис.15; для сравнения приведены соответствующие кривые лабораторной машины.

Как показали данные исследования, рациональный интенсивный замес опары и теста на новой машине можно осуществить с расходом энергии, значительно меньшим, чем у ближайших подобных представителей тестомесильных машин. Экономия электроэнергии составляет 40...50%. Это достигнуто за счет уменьшения роста температуры тестовой массы в период замеса.

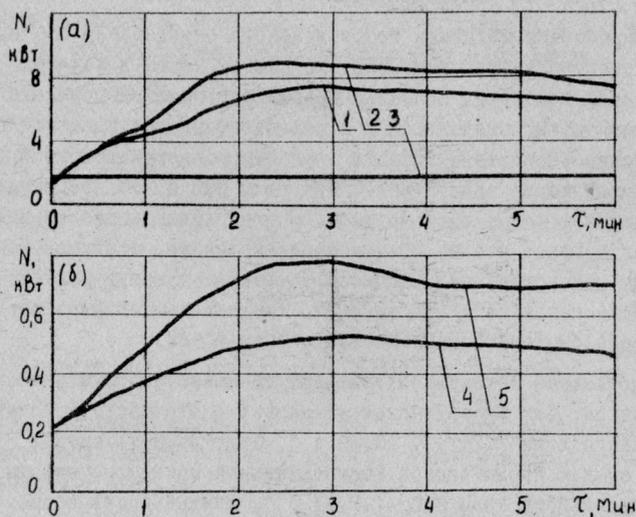


Рис.15 Зависимость $N = f(\tau)$ для /а/ - промышленной и /б/ - лабораторной машин при влажности теста [W, %]: 1,4 - 45; 2,5 - 43; 3 - мощность привода вращения дежи

Заводские испытания показали, что применение в производстве новой тестомесильной машины дает существенный положительный эффект. Он выражается в увеличении скорости нарастания титруемой кислотности полуфабрикатов в среднем на 75%, скорости повышения под"емной силы в среднем на 50% и скорости увеличения объема бродящей массы в среднем на 70%. Результаты приведены в сравнении с тестомесильной машиной ТИ-ХТ2А, эксплуатирующейся на заводе и являющейся одной из самых распространенных в отрасли.

В результате использования новой тестомесильной машины стало возможным сократить продолжительность брожения полуфабрикатов на 1,0...1,5 ч. При одинаковой длительности созревания качество продукции получается значительно лучшим.

Годовой экономический эффект от внедрения новой машины составляет около 25,6 тыс.руб.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Разработана методика теоретического определения составляющих энергобаланса для интенсивного замеса теста в машинах периодического действия. Получена возможность количественного определения работы, приводящей к повышению температуры тестовой массы, а также ее составной части - работы, совершаемой на придание частицам теста кинетической энергии. Это позволяет осуществлять анализ конструктивного решения и параметров работы новых рабочих органов уже на стадии проектирования, что дает возможность повысить точность расчетов, а также улучшить технико-экономические показатели конструкции. Предложена методика расчета параметров тестомесильных машин с помощью ЭВМ.

2. Определена область оптимальных значений условий замеса тестовой массы. Для лабораторной установки - это частота вращения месильного вала $9,16 \dots 10,00 \text{ с}^{-1}$, длительность замеса $210 \dots 240 \text{ с}$, для промышленной тестомесильной машины - частота вращения месильного вала $8,00 \dots 8,33 \text{ с}^{-1}$, длительность обработки $180 \dots 240 \text{ с}$.

3. Установлена величина удельной работы, необходимой для получения оптимальных свойств опары и теста в производственных условиях. При интенсивном циркуляционном замесе эта величина находится в пределах $8 \dots 12 \text{ Дж/г}$ - для опары, $13 \dots 16 \text{ Дж/г}$ - для безопарного теста. За счет применения рабочих органов рациональной конструкции достигнуто снижение уровня удельной работы по сравнению с другими подобными типами тестомесильных машин, при сохранении хорошего качества продукции.

4. Увеличение активности брожения теста после интенсивного замеса в новой машине выражается в возрастании скорости накопления кислореагирующих веществ, увеличении количества выделяющегося углекислого газа. Процесс созревания сокращается для опары до $2,00 \dots 2,5$ часов, безопарного теста до $1,5 \dots 2,0$ часов.

5. Применение новой тестомесильной машины позволяет улучшить структурно-механические свойства теста: они получаются стабильными и удобными для проведения дальнейших операций тестоведения.

6. Предложенные режимы замеса обеспечивают конечную температуру теста в пределах, благоприятных для жизнедеятельности его микрофлоры.

7. Совместное применение интенсивных замеров жидкой опары и теста приводит к повышению активности созревания полуфабрикатов и сокращению длительности производственных циклов.

8. Использование новой тестомесильной машины в производстве позволило: повысить производительность труда на участке тестоприготовления, автоматизировать процесс замеса теста, улучшить условия труда обслуживающего персонала, высвободить производственные площади за счет уменьшения требуемого числа машин, повысить качество готовой продукции.

Экономическая эффективность применения машины составляет 25,6 тыс.руб. в год.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Лисовенко А.Т., Литовченко И.Н. Анализ работ машин для интенсивного замеса теста. - Хлебопекарная и кондитерская промышленность, 1982, № 1, с.25-26.

2. Литовченко И.Н., Лисовенко А.Т. Определение расхода энергии на нагрев теста при замесе. - Хлебопекарная и кондитерская промышленность, 1983, № 8, с.28-30.

3. Лисовенко А.Т., Литовченко И.Н., Лисовенко А.А. Современные тестомесильные машины для интенсивного замеса. - М.: ЦБТЭИ Центросоюза, 1983, № 4, - 20 с.

4. Лисовенко А.Т., Сиренко С.И., Литовченко И.Н., Боярчук В.А. Расчет математической модели тестомесильного процесса с помощью ЭВМ ЕС-1022. - Хлебопекарная и кондитерская промышленность, 1984, № 5, с.33-35.

5. Лисовенко А.Т., Литовченко И.Н., Лисовенко А.А. Современная техника для хлебопекарного производства. - М.: ЦБТЭИ Центросоюза, 1984, № 1. - 17 с.

6. А.с. № 1024043 /СССР/ Тестомесильная машина непрерывного действия. /Лисовенко А.Т., Литовченко И.Н., Дагаев Ю.А./.
Опубл. в Б.И., 1983, № 23.

7. Положительное решение по заявке № 3502788/28-13 от 28 ноября 1983 года на тестомесильную машину.

Условные обозначения

$A_{уд}$ - удельная работа на замес I г теста, Дж/г; α - число лопаток; b - высота лопатки, м; f - расстояние между лопаткой и стенкой дежи, м; l - расстояние между лопаткой и дном дежи, м; n - частота вращения месильных органов, s^{-1} ; R_1, R_2 - геометрические параметры лопаток, м; t - температура тестовой массы, $^{\circ}C$; v - скорость движения лопатки, м/с; α - угол наклона лопатки к горизонтальной плоскости, рад.; ρ - плотность теста, kg/m^3 ; $T_{бр}$ - длительность брожения полуфабрикатов, ч; $T_з$ - длительность процесса замеса, с.

M. A.