

Авторефер.

Б 36

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
УКРАИНСКОЙ ССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ  
ИМЕНИ М. В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

БЕВЗ Владимир Ильич

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ВЫПЕЧКИ  
ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ В СОВРЕМЕННЫХ  
ХЛЕБОПЕКАРНЫХ ПЕЧАХ ТУННЕЛЬНОГО ТИПА

Специальность 05.13.07 – автоматическое управление и регули-  
рование, управление технологическими  
процессами (промышленность)

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

Одесса – 1981

Работа выполнена в Киевском ордена Трудового Красного Знамени технологическом институте пищевой промышленности.

Научный руководитель - кандидат технических наук,  
профессор Д.И.СКОБЛО

Официальные оппоненты - доктор технических наук,  
профессор П.Н.ПЛАТОНОВ,

кандидат технических наук,  
И.Ф.ПРОКОПЕНКО.

Ведущее предприятие - Украинский научно-исследовательский институт продовольственного машиностроения

Защита состоится " 30 " апреля 1981 года в 14 часов на заседании специализированного совета Д 068.35.01 при Одесском технологическом институте пищевой промышленности имени М.В.Ломоносова, 270039, г.Одесса-39, ул.Свердлова, 112.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Одесского технологического института пищевой промышленности имени М.В.Ломоносова.

Автореферат разослан " 27 " февраля 1981 года.

Ученый секретарь  
специализированного совета,  
доцент

*af*  
А.Ф.ЗАГИБАЛОВ

ОНАХТ 13.04.11  
Автоматическая оптим



v013591

*V 013591*  
*С.В. 13591*  
Одесский технологический институт пищевой промышленности им. М. В. Ломоносова

**Б И Б Л И О Т Е К А**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Пищевая промышленность вносит большой вклад в решения поставленной КПСС задачи по повышению материального и культурного уровня жизни советского народа. Важнейшим аспектом решения этой задачи является увеличение выпуска и повышение качества продуктов питания и среди них особое место отводится производству хлебобулочных изделий.

Увеличение выпуска хлебобулочных изделий возможно за счет наращивания производственных мощностей, модернизации существующего оборудования, повышения его производительности и эффективности. Одним из путей решения проблемы повышения эффективности эксплуатации установленных агрегатов является оснащение их автоматическими системами управления технологическими процессами, которые призваны для выявления и реализации скрытых резервов снижения расходных коэффициентов по сырью и энергии, повышения производительности оборудования, что в конечном итоге ведет к увеличению прибыли предприятия.

В значительной мере качество продукции и технико-экономические показатели всего предприятия зависят от работы хлебопекарных печей. Процесс выпечки при производстве хлебобулочных изделий является основным потребителем тепла, около половины которого приходится на потери от упека, достигающие  $6 + 12\%$  к массе теста. Уменьшение потерь от упека приведет к экономии хлебных ресурсов страны.

Несмотря на многочисленные исследования и существующие разработки систем автоматизации хлебопекарных печей, задача интенсификации и оптимизации процесса выпечки решена не полностью. Поэтому исследование процесса выпечки в промышленной хлебопекарной печи с целью выявления его закономерностей, разработки математического описания, определение оптимального режима выпечки и реализация его

с помощью автоматической системы управления является актуальной.

Цель исследований – разработка теоретических основ и технических средств при создании системы автоматической оптимизации процесса выпечки, которая является звеном АСУТП производства хлебобулочных изделий на комплексно-механизированной линии. В соответствии с целью поставлены следующие основные задачи:

- исследование и анализ технико-экономических показателей функционирования хлебопекарных печей с целью выявления резервов их улучшения;
- выбор и обоснование критерия оптимальности, определение на его основе целевой функции управления;
- получение математического описания процесса выпечки в производственной хлебопекарной печи;
- обоснование структуры системы оптимального управления процессом выпечки хлебобулочных изделий в тоннельной хлебопекарной печи;
- разработка алгоритма оптимального управления работой хлебопекарной печи;
- разработка методов и средств контроля технологических параметров производства хлеба;
- создание системы управления, реализующей разработанный алгоритм оптимального управления;
- проверка эффективности алгоритма в производственных условиях;
- реализация алгоритма оптимального управления на базе существующих систем автоматизации хлебопекарных печей.

Научная новизна. Новизна проведенных исследований заключается в разработке методики решения задачи оптимизации работы хлебо-

пекарной печи.

Научный вклад в решение данной проблемы заключается:

- в обосновании критерия оптимальности работы хлебопекарной печи, который вытекает из общей задачи управления производством и определяет эффективность функционирования агрегата как разность в стоимости произведенной продукции и затрат на осуществление процесса выпечки;
- в разработке и апробации методики идентификации статических характеристик хлебопекарной печи в условиях их временного дрейфа и неортогональности матрицы планирования эксперимента;
- в разработке алгоритма автоматической оптимизации процесса выпечки по экономическому критерию, в основе которого лежит решение задачи нелинейного программирования;
- в синтезе структуры системы автоматической оптимизации процесса выпечки, которая реализована в функциональной схеме автоматизации тоннельной хлебопекарной печи.

Практическая ценность. На основании проведенных исследований разработана система автоматической оптимизации работы промышленной хлебопекарной печи. Испытания разработанной системы показали целесообразность построения АСУТП хлебопекарного производства по децентрализованному принципу с использованием микро-ЭВМ в контуре управления.

С целью информационного обеспечения системы автоматической оптимизации разработаны методы и средства автоматического контроля технологических параметров заготовок теста и хлеба в потоке.

Реализация и внедрение результатов работы. Разработанный алгоритм автоматической оптимизации передан Винницкому ПКТИ Минпищепрома УССР для разработки технорабочего проекта системы автоматической оптимизации работы хлебопекарной печи ПХК-50.

Модернизированная автоматическая система контроля качества подового хлеба и устройство контроля объема тестовых заготовок на поду печи внедрены на Броварском хлебозаводе.

Апробация работы. Основные положения и отдельные разделы диссертационной работы доложены и одобрены на:

- 37, 38, 40, 43, 44 отчетных научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава Киевского технологического института пищевой промышленности (1970-1979 г.г.);

- республиканском семинаре "Автоматизация технологических процессов в пищевой промышленности" (Киев 1975, 1979 годы);

- Всесоюзной конференции "Автоматизация определения показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции в пищевой промышленности" (Киев-1980).

Публикация результатов. Основные положения диссертационной работы отражены в II опубликованных работах общим объемом 2,1 печатных листа, получено положительное решение ВНИИПЗ на предполагаемое изобретение.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав с выводами, заключения и общих выводов, приложения. Основное содержание изложено на II4 страницах машинописного текста, содержит 32 рисунка. Список использованной литературы состоит из III наименований.

## СО Д Е Р Ж А Н И Е      Р А Б О Т Ы

В первой главе "Процесс выпечки хлебобулочных изделий в промышленных хлебопекарных печах как объект оптимизации" обоснована постановка задачи оптимизации работы хлебопекарных печей и выбран критерий оптимальности.

Организация процесса выпечки в значительной мере определяет качество производимой продукции и влияет на экономичность производства.

Режим выпечки должен быть организован так, чтобы количество сообщаемого заготовке тепла соответствовало ее теплопоглотительной способности. Если количество подаваемого тепла меньше теплопоглотительной способности теста-хлеба, то это ведет к нерациональному увеличению длительности выпечки, т.е. к потере производительности печи. Когда тепловой поток на заготовку превышает ее теплопоглотительную способность, то это приводит к излишне большим тепловым напряжениям на поверхности теста-хлеба, что ухудшает качество изделий, способствует образованию корки большой толщины. При этом возрастает упек изделий и увеличиваются потери тепла сходящими газами за счет снижения коэффициента теплообмена.

В настоящее время усилиями целого ряда исследователей разрабатываются и эксплуатируются несколько разновидностей систем автоматизации хлебопекарных печей. Однако существующие системы автоматизации обеспечивают лишь стабилизацию основных режимных параметров выпечки, а задание регуляторам определяет оператор на основании своей квалификации по субъективной оценке и производственной ситуации.

Как показали исследования, при таком способе управления выпечкой не обеспечивается стабильность качества производимой продукции и технико-экономических показателей эксплуатации оборудования. Отсюда следует необходимость совершенствования способов управления работой хлебопекарных печей с тем, чтобы обеспечивать протекание процесса выпечки в оптимальном режиме.

Условия эксплуатации печных агрегатов в значительной мере влияют на технико-экономические показатели работы предприятия, поэтому в качестве критерия оптимальности целесообразно использовать

показатель экономичности процесса выпечки, который определяет эффективность ведения процесса как разницу в стоимости произведенной продукции и затрат на осуществление данной технологической операции.

Прибыль от реализации продукции, выработанной на технологической линии за данный период времени, складывается из экономичности работы всех участков:

$$D_r = \int_{\tau_1}^{\tau_2} (\mathcal{E}_{xp} + \mathcal{E}_{зам} + \mathcal{E}_p + \mathcal{E}_g + \mathcal{E}_g) dt \quad (1)$$

где  $\mathcal{E}_{xp}, \mathcal{E}_{зам}, \mathcal{E}_p, \mathcal{E}_g, \mathcal{E}_g$  — экономичность участков хранения сырья, замеса теста, разделки, выпечки и хранения готовой продукции.

Из формулы (1), производя группировку затрат по участкам технологической линии, получаем критерии оптимальности для этих участков, если принять размеры затрат на остальных стадиях производства условно постоянными. Так, для хлебопекарной печи критерий будет иметь вид:

$$\mathcal{E}_g = \int_{\tau_1}^{\tau_2} \left[ \frac{n N_p g_x}{\tau_g} (\mathcal{C}_j - \mathcal{C}_c) - \frac{n N_p g_y}{\tau_g} \mathcal{C}_c - v_m \mathcal{C}_m - v_n \mathcal{C}_n \right] dt \quad (2)$$

где  $\tau_g$  — время выпечки изделий;

$\mathcal{C}_j$  — стоимость единицы продукции;

$\mathcal{C}_c$  — стоимость единицы сырья;

$n$  — число изделий в одном ряду (или на льялке);

$N_p$  — число рядов изделий на поду печи (или льялек рабочей ветви);

$g_x$  — масса изделия;

$g_y$  — размер упека изделий;

$v_m, v_n$  — расход топлива и пара на выпечку;

$\mathcal{C}_m, \mathcal{C}_n$  — стоимость единицы топлива и пара;

Если коррекцию параметров режима необходимо производить через

определенные интервалы времени  $\Delta\tau = \tau_2 - \tau_1$ , то в (2) можно отказаться от интегрирования предполагая, что значение критерия между двумя последующими коррекциями постоянно. Интервал коррекции параметров режима определяется из соотношения

$$\Delta\tau \approx \frac{\tau_0}{3} \quad (3)$$

Вторая глава "Разработка математической модели хлебопекарной печи как объекта оптимизации" посвящена идентификации процесса выпечки для целей управления.

Имеющиеся математические модели процесса выпечки, отражая те или иные особенности этого сложного явления, не соответствуют поставленной в данной работе задачи. Для целей оптимального управления режимом выпечки целесообразно получение необходимой информации путем экспериментального исследования конкретных объектов, чем дополнение существующих экспериментальных зависимостей, так как при большом числе допущений такое описание будет очень приближенным, а при учете большого числа факторов — очень сложным.

Для построения математической модели печи разработана методика исследования этого объекта, которая предусматривает определение статистических характеристик основных параметров процесса, определение структуры модели, проверку гипотезы отсутствия дрейфа коэффициентов модели и постановку планируемого эксперимента для определения коэффициентов в уравнениях статики объекта.

Исследование изменений выходных параметров выпечки показали, что они подвержены временному дрейфу, который можно считать аддитивным, т.е. со временем изменяется только величина свободного члена в математическом описании хлебопекарной печи.

Возмущения, действующие на процесс, обусловили особенность постановки эксперимента на печи. Неконтролируемые возмущения вызывают наличие временного дрейфа выходных параметров процесса выпеч-

ки. С целью исключения влияния дрейфа на коэффициенты модели матрица планирования была разбита на два блока.

Одним из основных возмущений, действующих на выпечку, является качество тестовых заготовок перед выпечкой. В значительной мере свойства тестовых заготовок можно оценить по величине их объема. Для оценки объема заготовки перед выпечкой разработано специальное устройство. Так как свойства заготовок изменяются случайным образом, то в результате эксперимента получаем неортогональную матрицу планирования.

Разработанная методика использована при математическом описании работы печи БН-25. На исследуемой печи был поставлен полный трехфакторный эксперимент с дублированием опытов в каждой из восьми точек плана.

Интервалы варьирования факторов представлены в таблице.

Таблица

Значения факторов	Наименования факторов		
	Продолжительность выпечки $T_c$ , мин.	Расход газа на выпечку $G_r$ , м <sup>3</sup> /ч	Площадь проницаемости заготовки теста $F_3$ , см <sup>2</sup>
1. Основной уровень	48	20,5	56,5
2. Интервал варьирования	3	2	5,5
3. Верхний уровень	51	22,5	62
4. Нижний уровень	45	18,5	51

В процессе эксперимента регистрировались параметры готовности изделий на выходе из печи — температура центра мякиша, окраска верхней корки и величина упега, а также параметры состояния объекта — температура среды пекарной камеры, давление пара на входе в устройство увлажнения и производительность печного агрегата.

Особенность обработки данных эксперимента состояла в необхо-

димости ортогонализации матрицы планирования эксперимента. В дальнейшем определены коэффициенты модели, определены их значимости и проверена адекватность модели исследуемому процессу производилась по известным правилам.

В результате получена следующая модель статики печи БН-25, адекватно описывающая процесс выпечки хлеба Кишиневского:

$$t_{\text{ц}} = 21,50 T_{\text{в}} + 0,257 G_{\text{р}} + 0,083 F_{\text{з}} + 69,15, \text{ } ^\circ\text{C}; \quad (4)$$

$$K = -13,36 T_{\text{в}} - 0,303 G_{\text{р}} + 21,86, \text{ ед.шк.}; \quad (5)$$

$$g_{\text{у}} = 0,18 T_{\text{в}} + 0,002 G_{\text{р}} - 0,10, \text{ кг/ед}; \quad (6)$$

$$t_{\text{пк}} = 103,0 T_{\text{в}} + 5,26 G_{\text{р}} + 41,45, \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (7)$$

где  $t_{\text{ц}}$  - температура центра мякиша,  $^\circ\text{C}$ ;

$K$  - окраска верхней корки, ед.шк.;

$g_{\text{у}}$  - величина упека, кг/ед.;

$t_{\text{пк}}$  - температура среды пекарной камеры,  $^\circ\text{C}$ .

Третья глава "Разработка алгоритма оптимизации процесса выпечки по критерию экономической эффективности" посвящена созданию алгоритма оптимизации, проверки его эффективности на математической модели печи и обоснованию структуры системы автоматической оптимизации процесса выпечки, которая реализует разработанный алгоритм.

Алгоритм оптимального управления, который направлен на достижение заданной цели управления в условиях, действующих на процесс возмущений, и наложенных на параметры состояния объекта ограничений, состоит из трех основных этапов:

а) контроль и оценка параметров состояния объекта на данном этапе;

б) определение оптимальных значений параметров состояния, обеспечивающих экстремум принятого критерия оптимальности;

в) реализация рассчитанного режима на объекте.

Параметры, характеризующие процесс выпечки в производственных условиях, подвержены воздействию большого числа факторов различной природы, поэтому их изменение описывается случайной функцией времени.

$$Y(\tau) = X(\tau) + Z(\tau), \quad (8)$$

где  $X(\tau)$  - случайная функция дрейфа;

$Z(\tau)$  - случайная функция, имеющая характер белого шума, ее разброс характеризует точность производственного процесса.

Функция  $X(\tau)$  определяется колебаниями свойств сырья и отклонениями технологических режимов на различных агрегатах.

Для оценки параметров тестовых заготовок и выпеченных изделий были применены методы текущего контроля качества штучной продукции. На основании этих методов разработана на кафедре автоматизации КТИПП автоматизированная информационная измерительная система контроля качества подового хлеба (АИИСКХ) и устройство для определения объема тестовой заготовки на поду печи. Контролируемые параметры готовых изделий (пропеченность, окраска верхней корки, объем и масса), а также объем тестовых заготовок определяются через заданные промежутки времени путем усреднения данных по выборке.

Процесс выпечки характеризуется существенным влиянием на его ход возмущений при наличии значительного транспортного запаздывания, поэтому для оптимизации работы хлебопекарной печи необходимо использовать безпоисковую систему с моделью.

Параметры оптимального режима работы хлебопекарной печи определяются в результате решения следующей задачи нелинейного программирования:

$$Э_в = \frac{n N_p g_x}{\tau_в} (C_j - C_c) - \frac{n N_p g_y}{\tau_в} C_c - V_m C_m - V_n C_n \quad (9)$$

$Э_в \rightarrow \max$   
при ограничениях:

$$t_4 = \sum_{i=1}^3 a_{4i} f_{4i}(x_i) + \Delta t_4(\tau); \quad (10)$$

$$t_4^{\min} \leq t_4 \leq t_4^{\max}; \quad (11)$$

$$K = \sum_{i=1}^3 a_{2i} f_{2i}(x_i) + \Delta K(\tau); \quad (12)$$

$$K^{\min} \leq K \leq K^{\max} \quad (13)$$

$$g_y = \sum_{i=1}^3 a_{3i} f_{3i}(x_i) + \Delta g_y(\tau); \quad (14)$$

$$g_y \leq [g_y] \quad (15)$$

$$t_{пк} = \sum_{i=1}^n a_{4i} f_{4i}(x_i) + \Delta t_{пк}(\tau); \quad (16)$$

$$t_{пк} \leq t_{пк}^{\max} \quad (17)$$

$$x_1^{\min} \leq x_1 \leq x_1^{\max} \quad (18)$$

$$x_2^{\min} \leq x_2 \leq x_2^{\max} \quad (19)$$

$$x_3^{\min} \leq x_3 \leq x_3^{\max} \quad (20)$$

где  $f_{ji}(x_i)$  - функции, определяющие зависимость выходных параметров от управляющих воздействий и контролируемых возмущений;

$\Delta t_4(\tau), \Delta K(\tau), \Delta g_y(\tau)$ , - коэффициенты временного дрейфа;

$t_4^{\min}, t_4^{\max}, K^{\min}, K^{\max}, t_{пк}^{\max}$  - граничные значения температуры центра мякша, окраски верхней корки и температуры среды пекарной камеры, определяемые технологическим регламентом ведения процесса выпечки;

$[g_y]$  - номинальное значение потерь от упека;

$x_1^{\min}, x_1^{\max}, x_2^{\min}, x_2^{\max}, x_3^{\min}, x_3^{\max}$  - границы изменения управляющих воздействий: времени выпечки, расхода топлива и пара.

В результате формализации процесса поиска оптимального режима мы пришли к одношаговой задаче принятия решения. Особенностью такой задачи является то, что в результате ее решения определяется не величина и характер управляющего воздействия, а непосредственно значение переменных состояния объекта, которые обеспечивают

экстремум принятого критерия. В данном случае систему управления целесообразно строить по двухуровневому принципу. Первый уровень при этом составляют локальные регуляторы стабилизации основных параметров, а задание этим регуляторам определяет оптимизатор, составляющий второй уровень.

Адаптация математического описания заключается в определении коэффициентов временного дрейфа, которые получаются путем алгебраического сложения текущих значений выходных параметров объекта и модели.

Алгоритм оптимального управления процессом выпечки по критерию экономичности реализуется с помощью следующей структурной схемы (рис.1).

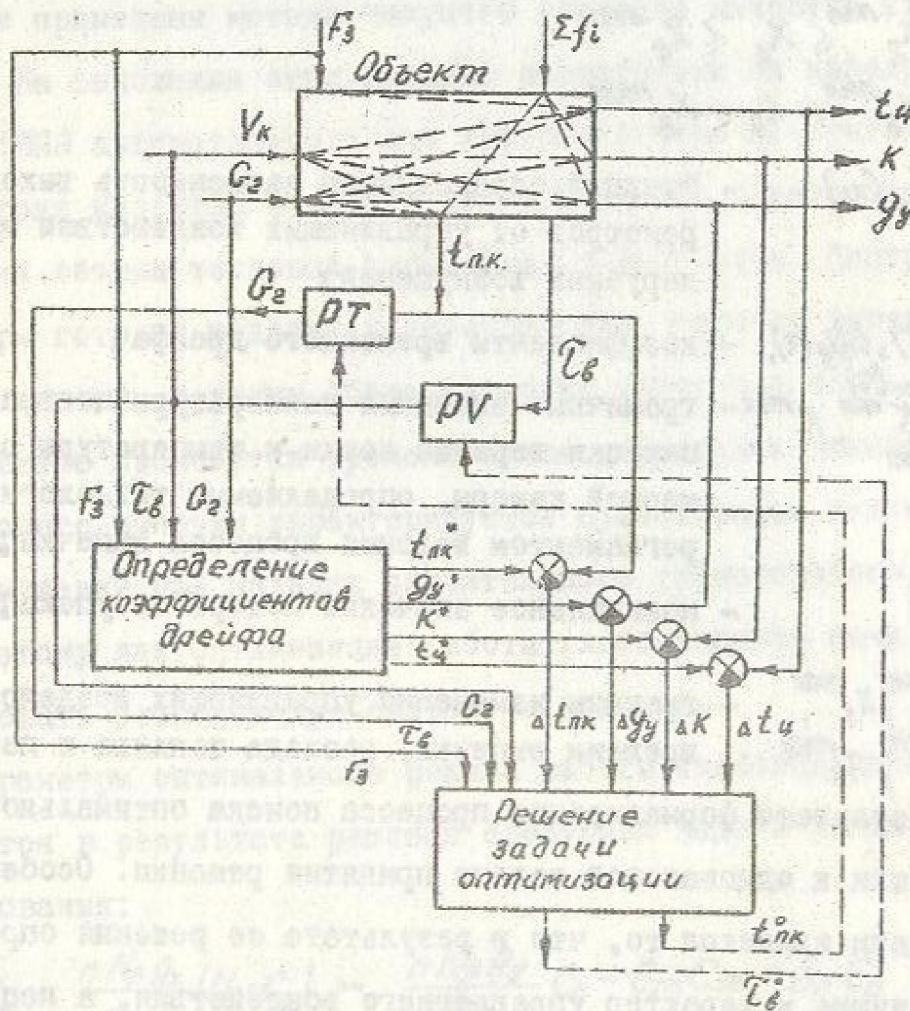


Рис.1. Структурная схема системы автоматической оптимизации процесса выпечки хлебобулочных изделий.

Для проверки эффективности разработанного алгоритма оптимизации было проведено моделирование вариантов управления для печи БН-25 на ЭЦВМ типа ЕС1022. Решение задачи нелинейного программирования производилось методом скользящего допуска по специально созданной программе. При моделировании среднее значения критерия оптимальности увеличивалось на 17-19% по сравнению со случайно выбранными вариантами эксплуатации печи.

Четвертая глава "Реализация результатов исследования" посвящена совершенствованию существующей системы автоматизации наиболее перспективной туннельной печи ПХК-50 и разработке средств информационного обеспечения этой системы для решения задачи оптимизации.

С целью всесторонней проверки алгоритма автоматической оптимизации процесса выпечки по критерию его экономичности на печи БН-25 Броварского хлебозавода проведены испытания действующего макета системы автоматической оптимизации.

Решения задачи нелинейного программирования, составляющей основу алгоритма, производилось с помощью аналого-цифровой вычислительной машины "Экстрема-1", которая включена в цепь управления и для чего дополнена блоком автоматического пуска и остановки по сигналу блока синхронизации системы.

Для исследуемой печи задача нелинейного программирования после замены времени выпечки  $T_0$  массовой нагрузкой конвейера  $M$  имеет следующий вид:

$$Z_0 = 0,333 M + 0,033 M^2 - 0,008 M G_r - 0,019 G_r, \text{ руб/ч} \quad (21)$$

$$Z_0 \rightarrow \max$$

при ограничениях:

$$t_4 = -0,977 M + 0,257 G_r + 0,083 F_3 + 0,34 + \Delta t_4(\tau) \quad (22)$$

$$K = 0,607 M - 0,303 G_r + 0,49 + \Delta K(\tau), \text{ ед. шк.} \quad (23)$$

$$g_y = -0,008M + 0,002G_r + 0,186 + \Delta g_y (\tau); \quad (24)$$

$$t_{пк} = -4,68M + 5,26G_r + 265,41 + \Delta t_{пк} (\tau); \quad (25)$$

$$16,5 \leq M \leq 18,7, \quad \text{кг/м}^2 \cdot \text{ч}; \quad (26)$$

$$18,5 \leq G_r \leq 22,5, \quad \text{м}^3/\text{ч}; \quad (27)$$

$$94,5 \leq t_c \leq 98, \quad ^\circ\text{C}; \quad (28)$$

$$4,0 \leq K \leq 6,0, \quad \text{ед.шк} \quad (29)$$

$$g_y \leq 0,08, \quad \text{кг/ед}; \quad (30)$$

$$t_{пк} \leq 250, \quad ^\circ\text{C} \quad (31)$$

Использование ЭВМ аналогового типа для решения данной задачи предпочтительно перед ЦВМ, так как при обеспечении требуемой точности решения АВМ имеют невысокую стоимость и связь их с объектом осуществляется через согласующие резисторы без дополнительных преобразователей. Так, в разработанной системе текущие значения параметров объекта вводились в ЦВМ с помощью встроенных во вторичные приборы согласующих резисторов, а вывод решения производился на автоматические потенциометры, которые имели реостатные задатчики для корректировки задания регуляторам скорости конвейера печи и температуры среды пекарной камеры.

Производственная проверка алгоритма оптимизации подтвердила результаты моделирования. В оптимальном режиме производительность печи увеличивается на 5%, а размер потерь снижается на 0,7% к массе тестовой заготовки.

Информация о параметрах готовых изделий в УВМ поступала от АИИСКХ, модернизированный вариант которой был изготовлен в Винницком ПКТИ. В результате модернизации стоимость АИИСКХ уменьшена на 4,0 тыс.рублей. Качество тестовых заготовок контролировалось с помощью устройства для определения объема заготовки на поду печи (рис.2).

На основании разработанного алгоритма и по данным его провер-

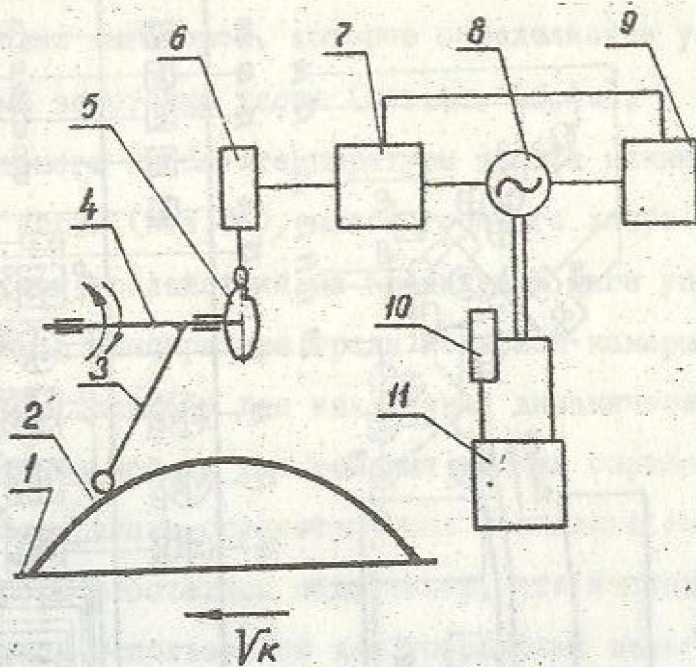


Рис. 2. Схема устройства для измерения объема тестовой на поду печи: 1-под печи; 2-тестовая заготовка; 3-дуп; 4-вал; 5-кулачок; 6-дифференциально-трансформаторная катушка; 7-вторичный прибор с интегратором; 8-реверсивный двигатель; 9-реле-счетчик импульсов; 10-накопительный резистор; 11-автоматический электронный конт.

ки произведено совершенствование функциональной схемы печи ПХК-50.

Функциональная схема (рис. 3) состоит из двух контуров регулирования температуры среды пекарной камеры, контура регулирования скорости конвейера печи и оптимизатора работы хлебопекарной печи (контур регулирования влажности среды пекарной камеры в начальной стадии выпечки и автоматика безопасности горения топлива на рис. 3 не показаны). При разработке полностью использована типовая схема автоматизации данной печи, которая дополнена регулятором скорости конвейера для возможности дистанционного изменения времени выпечки. Основной контур регулирования температуры среды пекарной камеры предназначен для обеспечения заданного теплового напряжения в начальной стадии процесса выпечки, что является решающим фактором организации прогрева тестовой заготовки. Задание регулятору температуры среды пекарной камеры в основной зоне определяет оптимизатор (поз. 9а). В оптимизатор поступает текущая информация о

с. 6. 13591

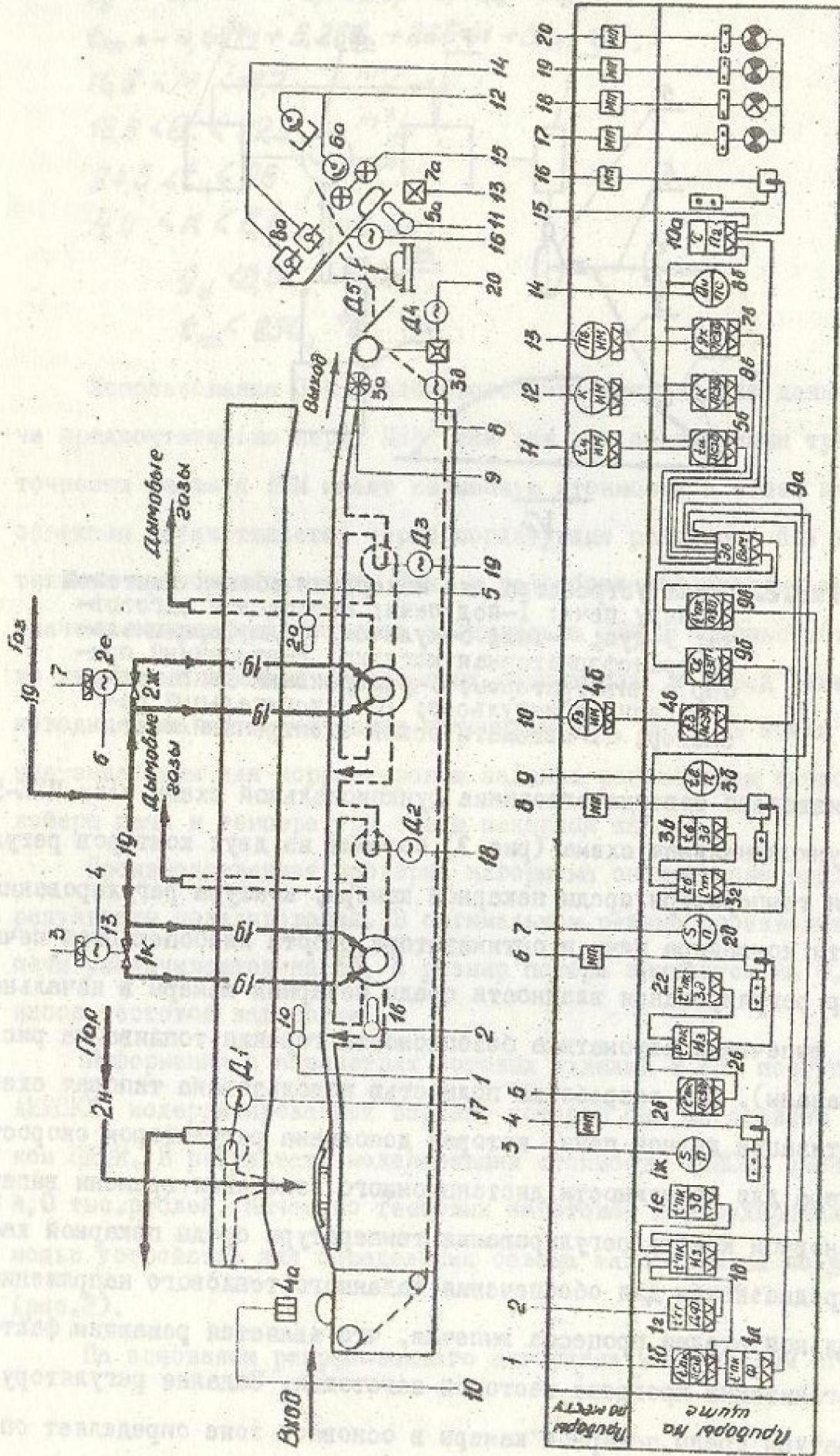


Рис. 3. Функциональная схема системы автоматической оптимизации печи, ПХК - 50

качестве тестовых заготовок, которое определяется устройством контроля объема заготовки теста (поз.4а, 4б, 4в), а также значения параметров готового хлеба: температуры центра мякиша (поз.5а), окраски верхней корки (поз.6а), массы горячего хлеба (поз.7а) и значения управляющих воздействий на предыдущем шаге управления.

Информация о температуре среды пекарной камеры вводится в УВМ через фильтр (поз.1л) для исключения динамических ошибок.

Ввод исходных данных для решения задачи определения параметров оптимального режима осуществляется с помощью встроенных во вторичные приборы реостатных задатчиков, что является существенным преимуществом используемой для управления малогабаритной аналоговой или аналого-цифровой вычислительной машины (например, "Экстрема-1").

Вывод полученного решения производится на потенциометры (поз.9б, 9в), которые имеют встроенные реостатные задатчики для автоматической установки задания регуляторам скорости конвейера (поз.3г) и температуры среды пекарной камеры (поз.1д).

Синхронизацию работы всех узлов осуществляет блок управления (поз.10а).

Алгоритм автоматической оптимизации процесса выпечки и его реализация в предложенной функциональной схеме приняты Винницким ПКТИ Минпищепрома УССР для модификации системы автоматизации печи ПХК-50 Броварского хлебозавода.

По результатам моделирования вариантов управления процессом выпечки по критерию экономичности работы хлебопекарной печи и по данным производственных испытаний действующего макета системы автоматической оптимизации процесса выпечки на Броварском хлебозаводе, разработана методика лабораторной работы по курсу АСУТП, которая утверждена на заседании кафедры автоматизации КТИП.

Расчет экономической эффективности внедрения разработанной

системы автоматической оптимизации процесса выпечки на печи ПХК-50 составляет 13,5 тыс.руб. в год за счет снижения потерь от упека и увеличения производительности печного агрегата.

### ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Существующие САУ процессом выпечки, осуществляющие управление по косвенным параметрам процесса - температуре и влажности среды пекарной камеры, - не обеспечивают стабильности технико-экономических показателей эксплуатации хлебопекарных печей и не удовлетворяют современным требованиям повышения качества производимой продукции.

2. Показано, что для оценки работы хлебопекарной печи целесообразно использовать экономический критерий, определяющий экономичность функционирования печного агрегата как разницу между стоимостью произведенной продукции и затрат, необходимых для осуществления процесса выпечки.

3. Установлено, что временной дрейф характеристик хлебопекарной печи вызван действием неконтролируемых возмущений. В условиях решения задачи управления дрейф можно считать аддитивным, т.е. его влияние сказывается только на величине свободного члена в математическом описании процесса.

4. Статистический анализ параметров процесса выпечки показал, что основной режим работы хлебопекарной печи статический.

5. Ввиду наличия в объекте значительного транспортного запаздывания при большом числе перекрестных связей, для оптимизации работы хлебопекарной печи необходимо использовать беспоисковую систему с моделью.

6. Для построения математического описания процесса выпечки в области рабочего режима целесообразно использовать экспериментальные методы. Разработанная методика исследования статического ре-

жима хлебопекарной печи позволяет получить математическую модель в условиях временного дрейфа характеристик при неортогональности матрицы планирования эксперимента.

7. Показано, что задача определения оптимального режима процесса выпечки по критерию экономической эффективности сводится к решению задачи нелинейного программирования.

8. Моделирование вариантов управления на ЭЦВМ показало наличие неиспользованных резервов повышения эффективности эксплуатации хлебопекарных печей за счет увеличения их производительности, уменьшения потерь от упека и снижения расхода топлива на выпечку.

9. В результате синтеза структуры системы автоматической оптимизации работы хлебопекарной печи по критерию экономической эффективности показано, что систему целесообразно строить по двухуровневому принципу. Первый уровень при этом составляют существующие системы автоматизации, а второй — является оптимизатор, — основное звено которого составляет управляющая вычислительная машина.

10. Для адаптации математической модели, которая заключается в определении текущих значений коэффициентов временного дрейфа, можно использовать модель процесса выпечки. Коэффициенты дрейфа при этом определяются как разность между значениями выходных параметров объекта и модели.

11. Разработанный метод контроля объема заготовки теста перед выпечкой, благодаря своей аппаратурной простоте, может успешно эксплуатироваться при оптимизации процессов хлебопекарного производства.

12. Производственные испытания действующего макета системы автоматической оптимизации процесса выпечки на Броварском хлебозаводе показали высокую эффективность разработанного алгоритма оптимизации, который принят для модификации системы автоматизации хлебопекарной печи ПХК-50, разработанной Винницким ПКТИ Минпищепрома

УССР. Разработанная система автоматической оптимизации процесса выпечки является звеном АСУТП производства хлеба на комплексно-механизированной линии.

13. Решение задачи автоматической оптимизации процесса выпечки хлебобулочных изделий целесообразно использовать в вузах при изучении курса АСУТП по специальности 0639.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Бевз В.И., Скобло Д.И., Пивень Е.Н. Использование ЭВМ для управления работой хлебопекарной печи. В сб.: автоматизация определения показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции в пищевой промышленности., Киев: Знание, 1978, с.29.
2. Бевз В.И., Пивень Е.Н., Левченко А.И. Экономический критерий оптимальности процесса выпечки хлебобулочных изделий. Киев: КТИПП, 1979, 19 с. - Рукопись деп. в УкрНИИНТИ № 1678.
3. Бевз В.И. Автоматическая оптимизация работы хлебопекарной печи. Киев: КТИПП, 1979, 13 с. - Рукопись деп. в УкрНИИНТИ № 1433.
4. Определение объема хлебобулочных изделий в потоке. Пивень Е.Н., Бевз В.И., Карнаух А.А., Флон В.С. Научно-технический реферативный сборник. - Хлебопекарная и макаронная промышленность. - М: ЦНИИТЭИПищепром, 1975, 8 с.
5. Бевз В.И., Пивень Е.Н., Левченко А.И. Устройство для автоматического контроля объема тестовой заготовки в потоке. Научно-технический реферативный сборник. - Хлебопекарная и макаронная промышленность. М.: ЦНИИТЭИПищепром, 1979, вып.4, с.11-13.
6. Определение корреляционных зависимостей между технологическими параметрами хлебопекарной печи. - Бевз В.И., Пивень Е.Н., Скобло Д.И., Календро Е.Л. - Тезисы докладов 37-й научной конференции Киевского технологического института пищевой промышленности. Киев, 1971, с.167.

7. Бевз В.И., Пивень Е.Н., Бондарь А.А. Разработка математической модели процесса выпечки. - Тезисы докладов 38-й научной конференции Киевского технологического института пищевой промышленности. - Киев, 1972, с.126-127.
8. Холодный М.Т., Бевз В.И. Алгоритм поиска способов автоматического управления технологическими процессами. - Тезисы докладов 38-й научной конференции Киевского технологического института пищевой промышленности. - Киев, 1972, с.140.
9. Методы и средства автоматического определения основных показателей качества подового хлеба в производственных условиях /Карнаух А.А., Пивень Е.Н., Бондарь А.А., Бевз В.И. и др. - Тезисы семинара: Автоматизация технологических процессов в пищевой промышленности. - Киев: Знание, 1975, с.25-26.
10. Разработка и применение автоматизированной измерительной информационной системы для контроля качества подового хлеба (АИИСКХ). /Пивень Е.Н., Бондарь А.А., Карнаух А.А., Киченько В.Д., Бевз В.И. и др. - Тезисы семинара: Автоматизация технологических процессов в пищевой промышленности. - Киев: Знание, 1977, с.14-15.
11. Разработка и применение автоматизированной измерительной информационной системы для контроля качества подового хлеба в потоке /Пивень Е.Н., Бондарь А.А., Карнаух А.А., Киченько В.Д., Бевз В.И. и др. Научно-технический реферативный сборник. - Хлебопекарная и макаронная промышленность. - М.: ЦНИИТЭИПищепром, 1978, 3, с.13-21.
12. Устройство для отбора хлебопекарных изделий на контроль их качества с пода печи /Бевз В.И., Пивень Е.Н., Карнаух А.А., Левченко А.И. - (Решение ВНИИГПЭ о выдаче авторского свидетельства по заявке № 2587235/13 от 28.05.1980г.). 