

Автореферт
Ш 36

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

На правах рукописи

ШЕБИТЧЕНКО Валерий Григорьевич

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМОМ РАБОТЫ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ
/ НА ПРИМЕРЕ ПРОИЗВОДСТВА ЭМАЛЕЙ ДЛЯ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ /

05.13.07 - автоматическое управление и регулирование,
управление технологическими процессами
/ промышленность /

Держуется 19 80

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

ОДЕССА - 1980

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Работа выполнена на кафедре автоматизации производственных процессов Одесского технологического института пищевой промышленности им. М.В.Ломоносова.

Актуальность проблемы. Решениями партийных съездов определена долгосрочная стратегия КПСС на современном этапе экономического развития нашей страны - всемерное повышение эффективности общественного производства.

Первостепенным объективным условием, от которого зависит успешное решение этой задачи, является совершенство средств производства и его технологии, широкое внедрение в промышленность средств автоматизации и автоматических систем управления. Одновременно с расширением области применения автоматических систем повышаются требования к качеству их работы. Современное производство требует применения таких систем управления, которые должны удовлетворять не только определенным показателям, но быть оптимальными по отношению к критерию, характеризующему эффективность процесса или производства в целом. В связи с этим задача реализации эффективного /качественного/ управления является актуальной.

Несмотря на такую постановку задачи, качество управления некоторыми производственными процессами до настоящего времени остается неудовлетворительным. К таким относятся некоторые процессы переработки материалов, проходящие во вращающихся нагревательных печах /варка, плавка, спекание, обжиг, прокатка и пр./. Основными режимными параметрами таких процессов, определяющими их эффективность, являются температура, скорость и продолжительность нагрева перерабатываемого материала и управление технологическим агрегатом по заданной программе /углы поворотов, длительность выдержки в заданном положении, скорость и цикличность вращения барабана печи и пр./.

Наличие ряда общих принципов в подходе к вопросу автоматизации рассматриваемых процессов позволяет разрабатывать системы управления межотраслевого применения.

Цель настоящей работы заключается в решении комплекса вопросов по разработке и исследованию системы автоматического управления режимом работы нагревательных печей /на примере процесса производства эмалей для пищевой промышленности/.

Актуальность поставленной цели обоснована: а/широким использованием эмалевых покрытий как средства антикоррозионной защиты в пищевом и химическом машиностроении - в отраслях, создающих важнейшие элементы производительных сил - орудия труда, в значитель-

ОНАХТ 04.05.12
Разработка и исследо



v013476

руководители:

доктор технических наук,
профессор ПЛАТОНОВ П.Н.

кандидат технических наук,
доцент ДОЛГОВЯГ В.А.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук,
профессор КРИНЕЦКИЙ И.И.

кандидат технических наук,
доцент ТОДОРЦЕВ Ю.К.

Ведущее предприятие -

Полтавский завод химического машиностроения

Защита состоится "24" 04 1980 г. в 10¹⁵ час.
на заседании специализированного совета Д 068.35.01 Одесского технологического института пищевой промышленности им. М.В.Ломоносова. Адрес: 270039, Одесса-39, ул. Свердлова, 112, ОТИПП им. М.В.Ломоносова.

Скопией можно ознакомиться в библиотеке института.

Акт разослан

"15" 03 1980 г.

№ 0 13476 ✓

Одесский технологический институт пищевой промышленности им. М. В. Ломоносова

БИБЛИОТЕКА

А.Ф.ЗАГИБАЛОВ

12

ной степени определяющих уровень и темпы развития экономики нашей страны; б/отсутствием промышленной реализации качественного управления процессом варки эмалей.

Научная новизна. Обоснован комплекс технологических, экономических и санитарно-гигиенических требований, предъявляемых к качественному управлению нагревом эмалей в процессе варки. Исследован процесс варки эмалей как объект автоматизации и синтезирована его математическая модель. Обоснован и сформулирован критерий оптимального управления, предусматривающий максимальное быстродействие переходных процессов АСР. Разработаны алгоритмы и система оптимального по быстродействию управления нагревом эмалей. Разработан дискретный метод и система бесконтактного измерения температуры поверхности эмали. Разработаны средства регулирования газовой атмосферы в печи и программного управления нагревом эмалей.

Практическая ценность работы заключается в том, что в ней разработана и реализована в промышленности система "Расплав" для автоматического управления режимом работы нагревательных печей. Система обеспечила проведение процесса варки эмалей с высокими технико-экономическими показателями и позволила получить экономическую эффективность от ее внедрения на четырех печах около 130 тыс. рублей в год. Разработанные в процессе выполнения настоящей работы средства контроля теплового состояния перерабатываемого сырья, регулирования газовой атмосферы и программного управления могут применяться при автоматизации других теплоэнергетических процессов.

Внедрение результатов работы. В настоящее время система "Расплав" в течении ряда лет успешно эксплуатируется на четырех печах в цехе приготовления эмалей Полтавского завода "Химмаш". Она рекомендована к дальнейшему внедрению. Система "Расплав" экспортирована в Народную Республику Болгарию.

Апробация работы. Материалы диссертационной работы докладывались и обсуждались на Всесоюзных и Республиканских совещаниях, конференциях и семинарах: семинар - "Времязадающие и коммутирующие устройства дискретной техники повышенной эффективности"/г. Киев, 1974г./, Всесоюзное научно-техническое совещание по эмали и эмалированию металлов /г. Харьков, 1974г./, IУ научно-техническая конференция молодых исследователей и конструкторов /г. Ленинград, 1975г./, конференция - "Проблемы повышения эффективности электронных приборов" /г. Киев, 1977г./, II Всесоюзная научно-техническая конференция "Молодые исследователи и конструкторы - химическому

машиностроению"/г. Северодонецк, 1979г./, семинар - "Времязадающие и коммутирующие устройства дискретной техники повышенной эффективности"/г. Киев, 1979г./, Диссертация обсуждалась на кафедре автоматизации производственных процессов ОТИП им. М.В. Ломоносова, где получила положительную оценку.

Публикации. По результатам настоящего исследования опубликовано семь работ и получено одно авторское свидетельство.

На Международной выставке "Химия-77" система "Расплав", разработанная на основе настоящего исследования, отмечена Почетным дипломом Торговой Палаты СССР.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, библиографии из 148 наименований и 6-ти приложений. Изложена на 162 страницах, включает 126 страниц машинописного текста, 57 иллюстраций и 9 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность избранной темы исследования.

В первой главе, которая является вводной, обоснован комплекс технологических, экономических и санитарно-гигиенических требований, предъявляемых к качественному управлению нагревом эмалей в процессе варки и сформулированы задачи исследования.

При производстве эмалей процесс варки является доминирующим по энергопотреблению, сложности физико-химических процессов, а также по степени влияния на технико-экономические показатели производства в целом. Из всех известных технологических агрегатов для варки эмалей в отечественной промышленности наибольшее применение нашли вращающиеся нагревательные печи на газообразном топливе с внутренним обогревом и весом загрузки шихты /500+2000/кг. Процесс варки представлен параметрической схемой, полученной на основе опыта эксплуатации и литературных данных. Основными режимными параметрами представленной структуры являются температура эмали, газовая атмосфера в печи, продолжительность процесса и управление печью по заданной программе. Выходные параметры определены согласно ОСТ 26-01-198-70.

На основе работ советских и зарубежных исследователей проведен анализ влияния основных режимных параметров процесса варки на свойства эмалей. Путем постановки пассивного эксперимента получены статистические оценки изменений переменных параметров при ручном режиме управления, анализ которых указывает, что широкий раз-

брос выходных параметров является следствием нарушения режима работы нагревательных печей.

Проанализировано состояние автоматизации процесса варки. Несмотря на накопившийся опыт использования вращающихся нагревательных печей в качестве технологических агрегатов в процессе производства эмалей, уровень их автоматизации не соответствует возросшим требованиям производства. Отставание автоматизации указанного участка производства от современного уровня объясняется, главным образом, как трудностями осуществления непрерывного автоматического контроля основных выходных параметров, неприспособленностью отдельных элементов автоматики к конкретным условиям, так и неизученностью процесса варки эмалей как объекта автоматизации.

Определенные трудности проблемного характера, возникающие при автоматизации процесса, объясняются отсутствием надежных способов контроля теплового состояния эмалей. До проведения настоящего исследования для контроля температуры эмалей в процессе варки применялись, в основном, термопары, установленные в боковой части нагревательной печи. Для передачи термо-э.д.с. применялись токосъемные троллейные устройства.

Условия повышенной влажности и температуры окружающей среды, выделение пыли и агрессивных фторосодержащих соединений, наличие интенсивных электрических помех в цеховой сети — все это ограничивает применение троллейных устройств и термопар при автоматизации процесса варки эмалей. Кроме этого, в литературных источниках и заводской практике не обнаружено положительных данных об опыте промышленной эксплуатации систем регулирования газовой атмосферы в процессе варки эмалей, а также устройств программного управления процессом.

В этих условиях создание эффективной системы автоматического управления процессом варки эмалей является актуальной задачей.

В качестве основных задач диссертационной работы определены следующие: исследование процесса варки эмалей как объекта управления и синтез математической модели процесса; обоснование и выбор критерия оптимальности; синтез алгоритма и системы оптимального управления процессом; упрощение алгоритма оптимального управления; реализация управления в промышленности.

Практическая реализация управления является самостоятельной, технически сложной задачей, для решения которой необходимо разработать средства: автоматического измерения температуры эмалей в

процессе варки; регулирования газовой атмосферы в печи; программного управления технологическим процессом.

Вторая глава посвящена разработке математической модели, алгоритма и системы управления процессом варки эмалей. С целью создания модели процесса рассмотрен теплообмен в печи. В основу составления модели положены уравнения теплового баланса для эмали, футеровки и газовой среды. Для упрощения математического описания приняты следующие допущения:

- в рабочем пространстве печи теплопередача между футеровкой, эмалью и газовой средой учитывается только излучением;
- распределение температуры по толщине слоя эмали в процессе вращения печи принято равномерным.

Математическое описание теплообмена процесса варки эмалей представлено системой линейных дифференциальных уравнений

$$1) \frac{\partial \varphi_1}{\partial \mu} - \frac{\partial \varphi_1}{\partial \xi} = 0,536 (\varphi_3 - \varphi_1) + 0,92 (\varphi_2 - \varphi_1) = 0,0398;$$

$$2) \frac{\partial \varphi_2}{\partial \mu} = 0,178 (\varphi_3 - \varphi_2) + 0,043 (\varphi_1 - \varphi_2); \quad (1)$$

$$3) 0,0284 \frac{\partial \varphi_3}{\partial \mu} - \frac{\partial \varphi_3}{\partial \xi} = 0,598 (\varphi_2 - \varphi_3) + 0,093 (\varphi_1 - \varphi_3)$$

где: $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \mu, \xi$ — относительные переменные.

Для упрощения синтеза АСР с применением вычислительной техники математическая модель аппроксимирована системой уравнений в обыкновенных производных. Учитывая сравнительно небольшие размеры рабочего пространства печи, для синтеза системы управления тепловым режимом достаточно контролировать температуру эмали в процессе варки в одной точке объекта. Это позволило аппроксимировать систему уравнений / I / по одной координате полиномом третьей степени. Объект управления изучен экспериментально. Получены кривые разгона температуры эмали при ступенчатом возмущении по расходу топлива. Адекватность математической модели реальному процессу, проверенная путем сопоставления динамических характеристик процесса, полученных аналитически и экспериментально, подтверждает правомерность сделанных допущений при выводе уравнений теплообмена в печи.

Получена передаточная функция объекта управления при управляющем воздействии по каналу "расход топлива - температура эмали", которая имеет вид:

$$W(p) = \frac{(1 + 2,63p) \cdot 0,48}{1 + 6,03p + 15p^2} \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{м}^3/\text{час}} \quad (2)$$

Анализ статистических оценок отклонений переменных параметров процесса позволил сформулировать критерий оптимальности - максимальное быстродействие переходных процессов при варке эмалей.

Процесс варки эмалей как объект автоматического управления представлен последовательным соединением двух инерционных звеньев первого порядка $W_1(p)$ - исполнительный механизм, $W_2(p)$ - объект управления с постоянными времени T_1 и T_2 , причем $T_2 > T_1 > 0$

Передаточная функция такой структуры имеет вид:

$$W(p) = \frac{K}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)} \quad (3)$$

Выполнен синтез релейной системы регулирования, оптимальной по быстродействию. Оптимальные по быстродействию переходные процессы в такой системе заканчиваются не более, чем в два интервала, причем, на первом осуществляется максимальный разгон системы, а на втором - торможение.

Рассматриваемая релейная система описывается уравнениями динамики вида:

$$\left. \begin{aligned} T_{\varphi} \cdot \dot{\varphi} + \varphi &= -K_{\varphi} \mu + K_{\varphi} f(t), \\ T_{\mu} \cdot \dot{\mu} + \mu &= K_{\mu} \cdot \Phi(\xi), \\ \xi &= F(\xi, \dot{\xi}), \\ \xi &= g(t) - \varphi(t) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где: ξ - нелинейный закон управления; F - функция сигнала ошибки; $g(t)$ - задающий сигнал; $\varphi(t)$ - изменения регулируемой величины; $f(t)$ - возмущающие воздействия; μ - выходная координата исполнительного механизма; φ - регулируемая координата объекта; $\Phi(\xi) = \delta = \pm 1$ - характеристика релейного элемента.

Получено уравнение фазовых траекторий:

$$\dot{x} = U - \delta(\delta_0 - G_0) - \delta(\delta_0 - G_0) \left[1 - \frac{U}{\delta_0 - G_0} \right]^{1/2} \quad (5)$$

где: x, U - координаты фазовой плоскости; G_0 - допустимые ступенчатые воздействия; $\delta_0 = \delta = \Phi(\xi)$ - характеристика релейного элемента; $\delta = T_{\varphi}/T_{\mu} > 1$

Оптимальный алгоритм управления представлен соотношениями:

$$\begin{aligned} \xi &= x + (\text{sign } U) \left\{ |U| + \delta \left(1 + G_0 \text{sign } U \right) \left[1 - \left(1 + \frac{|U|}{1 - G_0 \text{sign } U} \right)^{1/2} \right] \right\} \quad (6) \\ \delta &= -\text{sign } \xi \end{aligned}$$

На рис. I представлена структурная схема регулятора, реализующего алгоритм управления / 6 /.

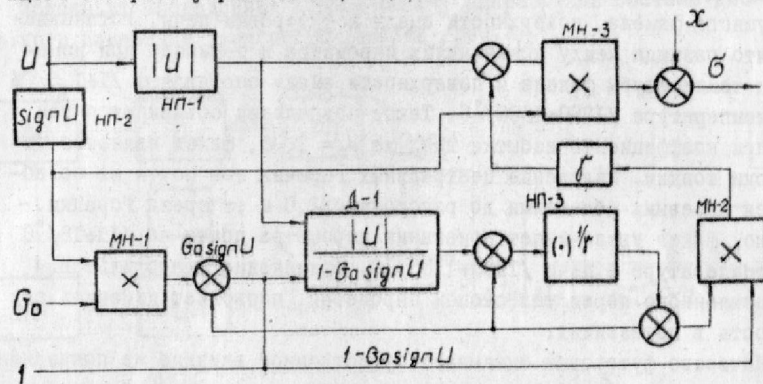


Рис. I. Структурная схема регулятора, реализующего оптимальный по быстродействию алгоритм управления

В третьей главе разрабатываются системы автоматического контроля температуры и регулирования газовой атмосферы в процессе варки эмалей. Конструкция вращающихся эмалеплавильных печей и используемое топливо позволяют измерять температуру эмалей бесконтактным способом - пирометром излучения.

Однако, процесс варки сопровождается выбросами из печи пыли, копоти и агрессивных фторосодержащих компонентов шихты, что ограничивает применение пирометра.

С целью предохранения пирометра от повреждения, загрязнения и нагрева, разработан теплозащитный экран, обеспечивающий охлаждение корпуса пирометра и отдув продуктов выброса из печи во время варки. При измерениях температуры эмали с применением экрана, отклонения в показаниях пирометра составляют $\pm 20^{\circ}\text{C}$ /против $\pm 50^{\circ}\text{C}$

без применения экрана/.

Для уменьшения уровня шумов от флуктуаций излучения поверхности эмали во время вращения печи, и от яркости факела, которые приводили к вибрациям контактной группы задатчика вторичного прибора, применены интегрирующие фильтры /RC цепочки/. Они обеспечили получение сигнала "норма"- "не норма" с выхода пороговых релейных элементов, включенных в цепь контактной группы задатчика температуры. Это позволило сохранить чувствительность и повысить эксплуатационную надежность системы измерения.

С целью определения погрешностей в показаниях пирометра были проведены экспериментальные измерения температуры по длине газозащитного факела, поверхности эмали и футеровки печи. Установлено, что разница между показаниями пирометра и термомпар при изменении температуры факела и поверхности эмали составляет /1+1,5/ % при температуре /1250+1300/°С. Такое совпадение объясняется тем, что при коэффициенте избытка воздуха $\lambda = 1.05$, факел является оптически тонким. Излучение центральных горячих зон почти не ослабляется краевыми областями до расстояния 2,0 м от среза горелки. Однако, факел увеличивает показания пирометра почти на /15+18/°С при температуре в печи /1250+1300/°С. Применение светофильтра, установленного перед телескопом пирометра, позволяет изменить эту разность в показаниях.

Качество футеровки оказывает существенное влияние на показания пирометра. Флуктуации показаний возрастают к концу срока службы футеровки из-за появления в ней трещин или разрушения. В связи с этим, при измерении температуры эмалей в процессе варки целесообразно визирование телескопа пирометра с установленным светофильтром на поверхность эмали.

С целью повышения эксплуатационной надежности измерительной системы разработан дискретный метод измерения температуры эмалей. Дискретизация непрерывно изменяющегося параметра /температуры эмали/ сводится к аппроксимации непрерывной функции параметра приближенной кривой, регистрируемой через равные промежутки времени. При этом допустимая погрешность аппроксимации определяется допустимой погрешностью измерений при циклическом опросе и погрешностью измерительного прибора. Частота измерений выбрана исходя из заданной величины среднеквадратической погрешности аппроксимации и известной оценки корреляционной функции и определяется из выражения:

$$\sigma_{\text{анп}}^2 = 2 [K_x^*(0) - K_x(t_0)] \quad (7)$$

где: $\sigma_{\text{анп}}^2$ - среднеквадратическая погрешность аппроксимации температуры эмали в текущий момент времени;

t_0 - искомый интервал времени между соседними измерениями;

$K_x^*(0), K_x(t_0)$ - оценки корреляционных функций.

Получена кривая изменения среднеквадратической погрешности по времени. Непосредственно из графика, учитывая технологические требования, предъявляемые к процессу, определено значение необходимого интервала между замерами $t_0 = 1,5$ минуты.

Используя проведенные исследования, разработана система дискретного измерения температуры эмалей /рис.2/.

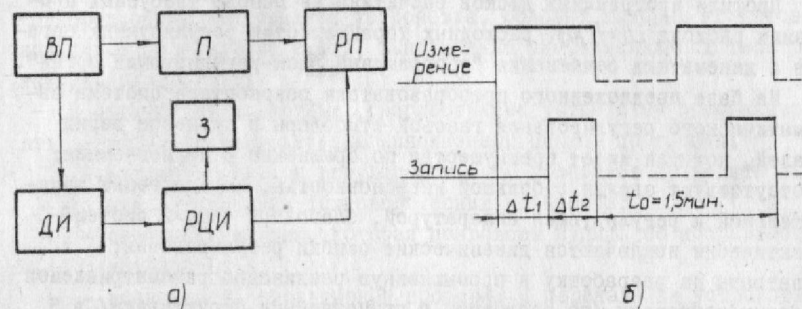


Рис.2. Система дискретного измерения температуры
а-блок-схема; б-циклограмма работы РЦИ

Периодическое измерение температуры во вращающейся печи ВП осуществляется пирометром П с помощью распределителя РЦИ, работающего по заданной программе. Для стабилизации интервалов отсчета t_0 применен датчик импульсов ДИ, синхронизирующий запуск РЦИ. Разница во времени $|\Delta t_1|$ /открытия заслонки З и включения балансирующего двигателя электронного потенциометра РП выбирается с учетом $\Delta t_1 > T_n$, где $T_n = 1,8$ секунд - постоянная времени телескопа.

Время $|\Delta t_2|$ /включения цепи балансирующего двигателя потенциометра выбирается с учетом $\Delta t_2 > t_1$, где t_1 - время прохождения указателем шкалы в диапазоне измерения температуры.

Применение предложенных средств защиты пирометра и разработка дискретного метода измерения явилось решающим фактором практически надежного применения пирометров для контроля температуры эмалей в процессе варки.

Предложена система регулирования газовой атмосферы в печи с помощью преобразователя "механическое перемещение - расходы газовых сред", реализующего зависимость $U_i = f(\mu)$, где U_i - расходы газовых сред; μ - механическое перемещение.

Техническая реализация предложенного устройства применительно к процессу варки эмалей состоит из трубопроводов с регулирующими органами, исполнительного механизма, перемещающего штангу с закрепленными на ней двумя программными дисками, которые, перемещаясь, изменяют положения μ регулирующих органов по программе.

Профили программных дисков рассчитаны на основе требуемых программ расхода $U_i = f(\mu)$, расходных характеристик регулирующих органов и кинематики сочленения "программный диск-регулирующий орган".

На базе предложенного преобразователя разработана система автоматического регулирования газовой атмосферы в процессе варки эмалей, которая имеет преимущества по сравнению с применяемыми: - отсутствуют звенья с большой инерционностью, определяемые измерительной и регулирующей аппаратурой, благодаря чему в системе практически исключаются динамические ошибки регулирования; - затраты на разработку и промышленную реализацию рассматриваемой системы сокращены /по сравнению с применяемыми структурами/ в 5 раз, а количество единиц измерительной и регулирующей аппаратуры в 3 раза.

При расходе топлива в пределах $50 + 100$ м³/час исследование газовой атмосферы по длине печи. Система обеспечивает поддержание газовой атмосферы в процессе варки эмалей с коэффициентом избытка воздуха $\lambda = 1,05$ и удовлетворяет технологическим требованиям производства эмалей.

В четвертой главе разрабатываются программные устройства с повышенной эксплуатационной надежностью.

Основными требованиями, предъявляемыми к современным программным устройствам, являются: надежность, срок службы, помехозащищенность, удобство эксплуатации, ремонтпригодность.

Исходя из этих требований, в качестве элементной базы для программных устройств выбраны тиратроны тлеющего разряда. Свойство самоиндикации рабочего состояния тиратронов имеет большое значе-

ние с точки зрения надежности, удобства и удешевления эксплуатации, как средство повышения ремонтпригодности аппаратуры, коэффициента ее готовности за счет сокращения времени поиска неисправностей без применения, в большинстве случаев, сложной контрольно-измерительной аппаратуры. Указанные свойства тиратронов ставят их вне конкуренции перед другими элементами автоматики при построении устройств программного управления.

Проведен сопоставительный анализ устройств, выполненных на различной элементной базе. Показано, что пересчетные устройства, выполненные на тиратронах тлеющего разряда дают выигрыш в элементах: по сравнению с двоично-десятичными - в 6,2 раза, а по сравнению с декадами на ФИМЭ - в 1,3 раза. Экономия элементов в пересчетных устройствах с цифровой индикацией достигается благодаря возможности непосредственного подключения к ним цифровых индикаторов без дополнительных затрат элементов на согласование и дешифрацию.

Предложены программные устройства, основой которых являются кольцевые пересчетные схемы, выполненные на безнакальных тиратронах /триодах/.

В отличие от известных, разработанные устройства обеспечивают:

- цифровую сигнализацию выполненных циклов программы;
- широкий диапазон регулировок, что позволяет применять их при оптимизации технологических процессов;
- самосигнализацию, которая позволяет судить об исправности устройств;
- возможность оперативной проверки и переналадки устройств с помощью масштабирования программ;
- повышенную эксплуатационную надежность;

Применение этих устройств в производстве эмалей позволяет:

- повысить производительность нагревательных печей;
- улучшить качество выпускаемой продукции;
- достичь экономии энергоресурсов;
- улучшить санитарно-гигиенические условия труда в цехе.

Пятая глава посвящена реализации квазиоптимального по быстродействию управления нагревом эмалей и оценке его эффективности.

Так как практическая реализация строго оптимального управления является достаточно сложной в техническом отношении задачей, необходимо упрощение алгоритма оптимального управления. Это достигнуто путем синтеза квазиоптимального алгоритма, незначительно от-

личающегося по времени от строго оптимального, но имеющего простую реализацию. Произведена аппроксимация оптимальной функции управления / 6 /, имеющей небольшую кривизну прямой переключения вида $x + au = 0, a > 0$.

В этом случае оптимальный алгоритм упрощен и представлен в виде:

$$\begin{cases} b = x + (\text{sign } u) \left\{ |u| + \delta \left[1 - (1 + |u|)^{\frac{1}{\delta}} \right] \right\} \\ \delta = \text{sign } b \end{cases} \quad (8)$$

Квазиоптимальный по быстродействию алгоритм / 8 / позволяет упростить структуру регулятора и при этом обеспечить требуемое качество переходных процессов.

Разработана система "Расплав" для автоматического управления процессом нагрева эмалей. На рис.3 показаны переходные процессы, реализованные системой управления в промышленности.

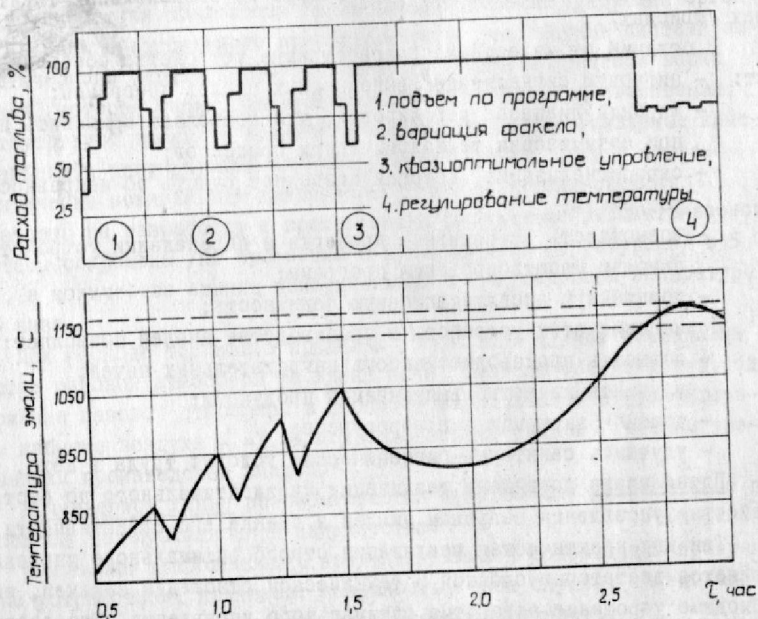


Рис.3. Режим нагрева эмалей, реализованный системой "Расплав"

Проверены качественные показатели процесса варки эмалей при ручном и автоматическом режимах управления. Показано, что в автоматическом режиме управления диапазон колебаний влажности для эмали марки 25 сократился в 2,1 раза, а для эмали СТ-17 - в 1,8 раза. Для эмали марки кислотостойкость не превышает 0,95%, а КТЛР и растекаемость находятся в пределах соответственно $345 \pm 355 / 10^{\frac{1}{4}}$ и $50 \pm 55 / \text{мм}$. Диапазон колебаний температуры эмалей сократился в 2,5 раза. Соответственно, среднеквадратическое отклонение снизилось до $26,5^{\circ}\text{C}$ против 93°C при ручном управлении.

На основе анализа статистических оценок процесса установлено, что при автоматическом управлении основные показатели, характеризующие качество эмалей, улучшились и не превышают допустимых по технологии значений.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

Одним из решающих направлений интенсификации технологических процессов, проходящих в нагревательных печах, является применение эффективных систем управления.

Общие принципы в подходе к вопросу автоматизации процессов, проходящих во вращающихся нагревательных печах, позволили разработать систему управления межотраслевого применения.

Основные теоретические и практические результаты работы, которые решены применительно к процессу варки эмалей для пищевой промышленности состоят в следующем:

1. Обоснован комплекс технологических, экономических и санитарно-гигиенических требований, предъявляемых к качественному управлению процессом.

2. Синтезирована математическая модель процесса, которая позволяет оценить влияние режимных параметров на процесс, что необходимо для создания эффективной системы управления.

3. Обоснован и сформулирован критерий оптимального управления процессом, предусматривающий максимальное быстродействие переходного процесса АСР.

4. Разработан алгоритм и система оптимального по быстродействию управления нагревом эмалей.

5. Разработаны средства защиты пирометров от загрязнения и нагрева, что явилось решающим фактором практически надежного использования их в производстве эмалей.

6. Разработан дискретный метод измерения температуры эмалей, уменьшающий погрешности от газовой факелы и выбросов агрессивных компонентов эмалевой шихты из печи. Разработанная на основе предложенного метода система обеспечивает измерение температуры эмалей с точностью $\pm 2\%$.

7. Разработана система регулирования газовой атмосферы в печи с помощью преобразователя "перемещение - расходы газовых сред". Система обеспечивает поддержание газовой атмосферы в печи с коэффициентом избытка воздуха $\lambda = 1,05$.

8. Разработаны программные устройства с повышенной эксплуатационной надежностью для управления процессом по заданной программе.

9. Получен квазиоптимальный по быстродействию алгоритм управления нагревом эмалей.

10. Реализована квазиоптимальная по быстродействию система управления нагревом эмалей, позволяющая обеспечить необходимое качество переходных процессов.

11. Внедрение системы управления позволило улучшить технико-экономические показатели процесса варки и получить экономическую эффективность около 130 тыс. рублей в год.

12. Результаты внедрения системы управления подтвердили правильность принятых методов измерения и выбранных законов управления.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Ларионов Г.Г., Сохин В.Г., Шибитченко В.Г. Распределитель циклов измерения и регулирования технологических параметров. - В кн.: Временные задающие и коммутирующие устройства дискретной техники повышенной эффективности. Киев, Знание, 1974, с. 19-21.

2. Шибитченко В.Г. Контроль процесса плавки эмалей. - В кн.: Современные методы и приборы контроля производства эмалевых химических аппаратов. Серия ХМ-9. М., Цинтихимнефтемаш, 1976, с. 2-16.

3. Ларионов Г.Г., Шибитченко В.Г., Злоказов В.М. Теплозащитный экран со смотровым отверстием. Информационный листок № 0056-76. Серия Ю.20. - М.: Цинтихимнефтемаш, 1976. - 2с.

4. Ларионов Г.Г., Шибитченко В.Г. Вариатор факелы для эмалеплавильных печей. Информационный листок № 0055-76. Серия Ю.13. - М.: Цинтихимнефтемаш, 1976. - 3с.

5. Ларионов Г.Г., Шибитченко В.Г. Программное устройство с повышенной эксплуатационной надежностью. - Химическое и нефтяное

машиностроение, 1976, № 7, с. 38-39.

6. Ларионов Г.Г., Шибитченко В.Г. Система автоматического управления тепловым режимом вращающейся эмалеплавильной печи. - Химическое и нефтяное машиностроение, 1977, № 4, с. 40-41.

7. Сохин В.Г., Ларионов Г.Г., Шибитченко В.Г. Установка "Расплав". Информационный листок № 0076-77. Серия Ю-04. - М.: Цинтихимнефтемаш, 1977, - 3с.

8. А.с. 555268 /СССР/. Способ варки эмалей во вращающейся печи /Г.Г. Ларионов, В.Г. Шибитченко, Л.Н. Жуков, Л.Н. Кузин. - Заявл. 05.11.73, № 1976330/33; Опубл. в Б.И., 1977, № 15. МКИ F 27B 7/08.

К.О. 73476